

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELAZIĞ İLİNDE YER ALAN ŞEBEKEYE BAĞLI FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİSİ
SANTRALİNİN PERFORMANS ANALİZİ



ZEYNEP TANIŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK MAKİNALARI VE GÜÇ ELEKTRONİĞİ PROGRAMI

DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ NİHAN ALTINTAŞ

İSTANBUL, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELAZIĞ İLİNDE YER ALAN ŞEBEKEYE BAĞLI FOTOVOLTAİK
GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİNİN PERFORMANS ANALİZİ**

Zeynep TANIŞ tarafından hazırlanan tez çalışması 08.01.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Nihan ALTINTAŞ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri


Dr. Öğr. Üyesi Nihan ALTINTAŞ
Yıldız Teknik Üniversitesi



Dr. Öğr. Üyesi Bedri KEKEZOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi



Dr. Öğr. Üyesi Hakan AKÇA
İstanbul Gelişim Üniversitesi



ÖNSÖZ

Yüksek Lisans tezimin hazırlanmasında yardımlarını ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, teşvikleriyle her zaman yanımda olan ve yol gösteren kıymetli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Nihan ALTINTAŞ'a teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca her türlü desteğinden dolayı değerli amcam Nejmettin ÇETİNTAŞ'a ve tez çalışmalarım sırasında verdikleri katkılardan dolayı CW Enerji'ye teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi destekleri ile her zaman yanımda olan anneme, babama, kardeşlerime ve çalışmalarım sırasında bana gösterdiği sabır ve desteklerinden dolayı sevgili eşime teşekkürlerimi sunarım.

Ocak, 2019

Zeynep TANIŞ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xvi
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Hipotez	4
BÖLÜM 2	
GÜNEŞ ENERJİSİ.....	5
2.1 Güneş Kaynağı.....	5
2.1.1 Güneş Açıları ve Temel Tanımlar	5
2.1.2 Meteorolojik Verilerin Ölçülmesi ve Modellenmesi	7
2.2 Fotovoltaik Sistem.....	9
2.2.1 Güneş Pillerinin Elektriksel Özellikleri	10
2.2.2 FV Hücre, FV Modül ve FV Dizi.....	13
2.2.3 Işınım ve Sıcaklığın Etkisi	14
2.2.4 Gölgenin Etkisi	16
2.2.5 Modül Bozunumu.....	20
2.2.6 Optimum FV Modül Açısı.....	20
2.3 Fotovoltaik Sistem Tipleri	22
2.3.1 Şebekeden Bağımsız FV Sistem.....	23
2.3.2 Şebekeye Bağlı FV Sistem	23

2.3.3	Hibrit Sistem	24
2.4	Fotovoltaik Sistem Bileşenleri.....	24
2.4.1	Fotovoltaik Modül.....	25
2.4.2	İnverter	26
2.4.3	Trafo	27
2.4.4	Sayaç.....	27
2.4.5	Montaj Sistemi.....	28

BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOT	29	
3.1	Fotovoltaik Sistem Tasarımı.....	29
3.1.1	Fotovoltaik Modül.....	29
3.1.2	İnverter	30
3.1.3	Dizi Hesabı	30
3.1.4	DC Kabloların Seçimi	33
3.1.5	Sistem Bağlantısı	36
3.2	FV Sistemin Performansının Hesaplanması için Metodoloji	47
3.2.1	FV Modüllerden Enerji Üretimi.....	48
3.2.2	Sistem Verimi	48
3.2.3	Referans Verimi.....	48
3.2.4	Nihai Verim	50
3.2.5	Performans Oranı.....	50
3.2.6	Kapasite Faktörü	50
3.3	DeneySEL Yöntem ve Simülasyon Programı: PVsyst.....	50
3.3.1	Kullanıcı Arayüzü	51
3.3.2	Proje Tasarımı	52
3.3.3	Detaylı Kayıplar	55
3.3.4	PVsyst'te Meteorolojik Veriler	57

BÖLÜM 4

BULGULAR.....	59	
4.1	Santrale Ait Simülasyon Raporu.....	59
4.2	Işınım	64
4.3	Sıcaklık	64
4.4	Enerji Üretimi	65
4.5	Ölçülen ve Tahmin Edilen Enerji Üretimi Arasındaki Karşılaştırma	66
4.6	Ölçülen Veriler ile Simülasyon Sonuçları.....	67
4.7	Özgül Verim.....	67
4.8	Aylık Ortalama Günlük Nihai Verim	68
4.9	Aylık Ortalama Günlük Referans Verim	69
4.10	Aylık Performans Oranı	70
4.11	Santral Performans Düşüşü	70
4.12	Kapasite Faktörü	71
4.13	Sistem Verimliliği.....	72

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER	73
5.1 Sonuçlar	73
5.2 Öneriler.....	75
KAYNAKLAR.....	76
EK-A	
FV MODÜL KATALOG BİLGİLERİ	80
EK-B	
İNVERTER KATALOG BİLGİLERİ	82
EK-C	
NYK KABLO KATALOG BİLGİLERİ.....	84
EK-D	
NAYY KABLO KATALOG BİLGİLERİ.....	85
ÖZGEÇMİŞ.....	86

SİMGE LİSTESİ

A	FV Dizi Alanı
A_k	Kablo Kesiti
CF	Kapasite Faktörü
d_k	Kablo Uzunluğu
D_{yatay}	Yatay Yayılı Işınım
e	Gerilim Düşümü
E_{AC}	Üretilen Toplam Enerji
E_{dizi}	Dizi Çıkışındaki Etken Enerji
$E_{şebeke}$	Şebekeye Verilen Enerji
F_d	Düzeltilme Faktörü
FF	Doldurma Faktörü
F_t	Sıcaklık Faktörü
Getken	Etken Global Işınım
$G_{modül}$	FV Modül Yüzeyine Gelen Işınım
GS	Güneş Saati
G_{STC}	Referans Işınım
G_{yatay}	Yatay Düzleme Gelen Küresel Işınım
h	Saat
H_T	Belli Bir Düzleme Gelen Toplam Güneş Işınımı
$I_{70°C}$	70°C 'deki Kısa Devre Akımı
$I_{anadağıtımpano}$	Ana Dağıtım Panosunun Çıkış Akımı
I_d	Diyot Akımı
I_{inv}	İnverter Çıkış Akımı
I_k	Kablo Akım Taşıma Kapasitesi
I_{max}	Maksimum Akım
I_{mp}	Maksimum Güç Noktasındaki Akım Değeri
I_{pano}	Toplama Panosunun Çıkış Akımı
I_s	Doyma Akımı
I_{sc}	Kısa Devre Akımı
I_{TK}	Kablo Akım Taşıma Değeri
I_{top}	Toplam Akım
LC	FV Dizi Kayıpları
LS	İnverter Kayıpları
m	Hücre Sayısı

n	Yılın İlk Gününden İtibaren Hesaplanan Gün Sayısı
n_{seri}	Seri Olarak Bağlanabilecek Maksimum Modül Sayısı
ϕ	Enlem Açısı
P_{AC}	Toplam AC Kurulu Güç
$P_{\text{anadağıtımpano}}$	Ana Dağıtım Panosu Gücü
P_{DC}	Toplam DC Kurulu Güç
P_{in}	Giriş Gücü
P_{inv}	İnverter Nominal Gücü
P_{loss}	Omik Kayıp Güç
P_{max}	Maksimum Güç
P_{pano}	Toplama Panosu Gücü
PR	Performans Oranı
R	Direnç
r_{AL}	Alüminyum Özdirenci
r_{b}	Bakır Özdirenci
R_{p}	Paralel Direnç
R_{s}	Seri Direnç
S	Eş Zamanlı Güç
S_{gelen}	Güneşten Dik Gelen Işın
$S_{\text{modül}}$	Modül Üzerine Dik Düşen Işın
S_{yatay}	Yatay Düzleme Dik Gelen Işınım
T	Ortam Sıcaklığı
$T_{\text{katsayı Isc}}$	Kısa Devre Akımı Sıcaklık Katsayısı
$T_{\text{katsayı Voc}}$	Açık Devre Gerilimi Sıcaklık Katsayısı
T_{stc}	Standart Test Koşullarındaki Sıcaklık
U_{L}	Ortam Sıcaklığının En Düşük Değere Sahip Olduğu Anda Modül Üzerinde Oluşan Açık Devre Gerilimi
V	Hücre Gerilimi
V_{d}	Diyot Gerilimi
V_{dizi}	Dizi Gerilimi
$V_{\text{modül}}$	Modül Gerilimi
V_{mp}	Maksimum Güç Noktasında Gerilim Değeri
V_{oc}	Açık Devre Gerilimi
V_{top}	Toplam Gerilim
W_{p}	Watt-tepe Değeri
Y_{F}	Nihai Verim
Y_{f}	İnverter Çıkışı Üretilen Enerji
Y_{R}	Referans Verimi
α	Güneş Yükseklik Açısı
β	Eğim Açısı
γ	Yüzey Azimut Açısı
γ_{s}	Güneş Azimut Açısı
δ	Deklinasyon Açısı
Δt	Sıcaklık Farkı
ΔV	Gerilim Değişimi
η	Güneş Pilinin Verimliliği
η_{s}	Özgül Verim

η_{sys}	Sistem Verimliliği
ω	Saat Açısı
θ	Güneşin Geliş Açısı
θ_z	Zenit Açısı



KISALTMA LİSTESİ

AC	Alternatif Akım
DC	Doğru Akım
EMF	Elektromanyetik Kuvvet
FV	Fotovoltaik
MPP	Maksimum Güç Noktası
NOCT	Nominal Test Koşulları
NREL	Uluslararası Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı
STC	Standart Test Koşulları

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1. 1 Elazığ İlinde Yer Alan FV Sistemin Coğrafi Konumu	4
Şekil 2. 1 Güneş Işınlarnının Dağılımı	6
Şekil 2. 2 Güneş Açıları	6
Şekil 2. 3 Piranometre	8
Şekil 2. 4 Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistem Konfigürasyonu	10
Şekil 2. 5 n Ekleminden p Eklemine Elektron Akışı	11
Şekil 2. 6 FV Hücre Eşdeğer Devresi.....	11
Şekil 2. 7 FV Hücrenin Gerilim Değişimine Karşı Akım ve Güç Karakteristiği	12
Şekil 2. 8 R_p ve R_s Dirençli FV Hücre Eşdeğer Devresi	13
Şekil 2. 9 FV Hücre, FV Modül ve FV Dizi.....	14
Şekil 2. 10 Seri ve Paralel Bağlı Modüllerin Akım ve Gerilim Karakteristiği	14
Şekil 2. 11 Farklı Işınım Değerleri için Akım ve Gerilim Karakteristiği	16
Şekil 2. 12 Farklı Işınım Değerleri için Güç ve Gerilim Karakteristiği	17
Şekil 2. 13 Farklı Sıcaklık Değerleri için Akım ve Gerilim Karakteristiği	17
Şekil 2. 14 Farklı Sıcaklık Değerleri için Güç ve Gerilim Karakteristiği	18
Şekil 2. 15 n Tane Hücrenin Tamamen Gölgede Kalma Durumu	18
Şekil 2. 16 Üç Bypass Diyotu.....	19
Şekil 2. 17 Üç Bypass Diyotlu Gölgede Kalmış FV Modül	20
Şekil 2. 18 FV Modül Üzerindeki Işınım Şekilleri.....	21
Şekil 2. 19 Su Pompasına Güç Sağlamak için Kullanılan Basit FV Sistem(DC)	24
Şekil 2. 20 Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Sistem	25
Şekil 2. 21 Tek ve Çift Eksenli İzleme Sistemi	29
Şekil 3. 1 İnverter Bağlantısı Tek Hat Şeması	44
Şekil 3. 2 Saha Toplama Panosu Tek Hat Şeması.....	45
Şekil 3. 3 Saha Toplama Panosunun FV Modüller ile Birlikte Tek Hat Şeması	47
Şekil 3. 4 Ana Dağıtım Panosu Tek Hat Şeması.....	49
Şekil 3. 5 Trafo Tek Hat Şeması.....	50
Şekil 3. 6 Trafo Koruma Hücreleri Tek Hat Şeması	51
Şekil 3. 7 Elazığ İli Güneş Enerjisi Santrali Tek Hat Şeması.....	53
Şekil 3. 8 PVsyst Programı Arayüzü.....	56
Şekil 3. 9 Proje Tasarımı için Sistem Tanımlaması	57
Şekil 4. 1 Sisteme Ait Kayıp Diyagramı	65
Şekil 4. 2 İnverter Çıkışı Enerji Üretimi ve Kayıplar.....	66
Şekil 4. 3 Aylık Performans Oranı Değerleri	67
Şekil 4. 4 Ölçülen Aylık Ortalama Toplam Güneş Işınımı Verileri	68

Şekil 4. 5	Ölçülen Aylık Ortalama Sıcaklık Verileri	69
Şekil 4. 6	Elazığ İli FV Güneş Enerjisi Santralinin Aylık Enerji Üretimi	70
Şekil 4. 7	Tahmin Edilen ve Ölçülen Aylık Enerji Üretimi Karşılaştırması	71
Şekil 4. 8	Elazığ İli FV Güneş Enerjisi Santrali için Aylık Özgül Verim	72
Şekil 4. 9	Ölçülen ve Simüle Edilen Aylık Ortalama Günlük Nihai Verim Arasındaki Karşılaştırma	73
Şekil 4. 10	Ölçülen ve Simüle Edilen Aylık Ortalama Günlük Referans Verimi Arasındaki Karşılaştırma	74
Şekil 4. 11	Ölçülen ve Simüle Edilen Aylık Performans Oranı Karşılaştırması	74
Şekil 4. 12	Gelecek 20 Yıl için Tahmin Edilen Performans Oranı	75
Şekil 4. 13	Aylık Kapasite Faktörü Karşılaştırması	75
Şekil 4. 14	Aylık Ölçülen ve Simüle Edile Sistem Verimliliği Karşılaştırması	76



ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1	Standart Test Koşulları15
Çizelge 2. 2	Elazığ İli için Aylara Göre Optimum FV Modül Açısı22
Çizelge 2. 3	Farklı Fotovoltaik Teknolojilerin Avantaj ve Dezavantajları.....26
Çizelge 3. 1	FV Sistemde Kullanılan Modüle Ait Elektriksel Özellikler30
Çizelge 3. 2	FV Sistemde Kullanılan İnvertere Ait Özellikler.....31
Çizelge 3. 3	Elazığ İli için Ortalama Sıcaklık Değerleri35
Çizelge 3. 4	Solar Kablo Özellikleri37
Çizelge 3. 5	Tek Damarlı Kablolar için Düzeltme Faktörleri.....38
Çizelge 3. 6	Kabloda İzin Verilen veya Önerilen Çalışma Sıcaklığı Katsayı Değerleri ..38
Çizelge 3. 7	Farklı Hava Sıcaklıklarında Toprakta Kanala İçine Döşenmiş Kablolar için Düzeltme Faktörleri.....41
Çizelge 3. 8	Doğrudan Toprağa Gömülü Kablolar için Zayıflatma Kabloları.....41
Çizelge 4. 1	Hava Durumu ve Işınım Verileri.....64
Çizelge 4. 2	Enerji Üretimi ve Performans Oranı Değerleri64
Çizelge 4. 3	Elazığ İli FV Güneş Enerjisi Santrali için Ölçülen Yıllık Enerji Verimi Karşılaştırması.....71

ELAZIĞ İLİNDE YER ALAN ŞEBEKEYE BAĞLI FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİNİN PERFORMANS ANALİZİ

Zeynep TANIŞ

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Nihan ALTINTAŞ

Gelişmekte olan ülkelerin en fazla artan ihtiyaçlarından bir tanesi enerjidir. Halihazırda kullandıkları tükenmekte olan enerji kaynaklarına bağımlılıklarını azaltmak amacı ile alternatif arayışlarına girmektedirler. Günümüzde ve özellikle ülkemizde bu alternatiflerden en önemlisi kullanılabilir olanı yenilenebilir enerji kaynaklarıdır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından bir örnek olarak incelediğim çalışmamda, Elazığ ilinde yer alan 1.036,8 kWp kurulu güce sahip Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santrali'nin ölçülen ve simüle edilen verilerle hesaplanan performanslarının sonuçları ve tesisin tasarımı hakkında bilgiler sunulmaktadır. Fotovoltaik Güneş Enerji Santrali her biri güneşe 30°'lik sabit bir eğime sahip olan 192 diziden oluşmaktadır. Her bir dizi 20 adet fotovoltaik modülün seri bağlanmasıyla oluşmaktadır. Toplamda 3.840 adet 270Wp polikristal fotovoltaik modül kullanılmış olup, 24 adet 36 kW string inverterler ile şebekeye bağlantı gerçekleştirilmiştir.

Fotovoltaik Güneş Enerji Santrali'nin Ocak 2018 ile Temmuz 2018 arasındaki üretim değerleri simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Ölçülen dizi verimi, referans verimi ve nihai verimi sırasıyla 1,61-6,24 kWh/kWp/gün, 1,89-7,89 h/gün, 1,58-6,12 kWh/kWp/gün arasında değişmektedir. Performans oranı değeri %76,72-%112,13, kapasite faktörü değeri %6,58-%25,49 aralığında olup sistem kaybı değeri ise 0,03-1,15 kWh/kWp/gün aralığındadır. Fotovoltaik Güneş Enerji Santrali'nin yıllık ölçülen enerji verimi ise 961,15 kWh/kWp olarak bulunmuştur. Yıllık tahmini enerji verimi PVsyst simülasyon programı kullanılarak 919,15 kWh/kWp olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla,

tahmini enerji veriminde, ölçülen enerji verimi sonuçlarına göre %4,52'lik farkla gerçeğe yakın bir tahmin kabul edilebilecek performans gerçekleştirilmiştir. Bu durum, simülasyon sonuçlarının kurulu olan Fotovoltaik Güneş Enerji Santrali hakkında doğru ve güvenilir veriler sağladığını göstermektedir. Ölçülen verilerin simüle edilmiş verilerle karşılaştırılması enerji üretiminin yakından takibini sağlayacaktır. Aynı zamanda kurulacak Fotovoltaik Güneş Enerji Santrallerinin yeterli bakım planlarının oluşturulmasına ve performans tahminlerinin yapılmasında faydalı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Fotovoltaik, PVsyst, Güneş Enerjisi Santrali, Simülasyon, Performans, Tasarım



**PERFORMANCE ANALYSIS OF GRID CONNECTED PHOTOVOLTAIC SOLAR
POWER PLANT IN ELAZIĞ**

Zeynep TANIŞ

Department of Electrical Engineering

MSc. Thesis

Adviser:Asist. Prof. Dr. Nihan ALTINTAŞ

One of the most growing needs of developing countries is energy. In order to reduce their dependence on the energy resources they are currently using, they are seeking an alternative. Today and especially in our country, these alternatives are the most important and usable are renewable energy sources.

As an example of renewable energy sources, in my study, the results of the photovoltaic solar power plant with the installed power of 1,036.8 kWp in Elazığ are analyzed with measured and simulated data and the design of the plant is presented. The Photovoltaic Solar Power Plant consists of 192 strings, each with a constant slope of 30 ° to the south. Each series consists of 20 pieces photovoltaic modules connected in series. A total of 3,840 pieces of 270 Wp polycrystalline photovoltaic modules have been used, and 24 pieces of 36 kW string inverters have been connected to the grid.

The production values of the photovoltaic solar power plant between January 2018 and July 2018 were compared with the simulation results. The measured strings yield, reference yield and final yield are respectively 1.61-6.24 kWh/kWp/day, 1.89-7.89 h/day, 1.58-6.12 kWh/kWp/day, respectively. The performance rate is 76.72% - 11.13%, the capacity factor is between 6.58% and 25.49% and the system loss value is between 0.03-1.15 kWh/kWp/day. The annual measured energy efficiency of the photovoltaic solar power plant was found to be 961.15 kWh/kWp. The estimated annual energy efficiency was calculated as 919.15 kWh/kWp using the PVsyst

simulation program. Therefore, the estimated energy efficiency was realized with a realistic estimate of 4.52% according to the measured energy efficiency results. This shows that the simulation results provide accurate and reliable data on the installed Photovoltaic Solar Power Plant. Comparison of the measured data with simulated data will provide a close follow-up of energy production. At the same time, it will be useful to establish adequate maintenance plans of Fotovoltaic Solar Power Plants and to make performance estimates.

Keywords: Renewable Energy, Photovoltaic, PVsyst, Solar Power Plant, Simulation, Performance, Design



1.1 Literatür Özeti

Bu bölümde, PVsyst programı kullanılarak gerçekleştirilen bir FV Güneş Enerjisi Santrali'nin performans ve ön fizibilite analizi ile ilgili önceki çalışmalara ilişkin literatür taraması yapılmıştır.

Paras Karki ve arkadaşları (2012): Kathmandu ve Berlin'de şebekeye bağlı fotovoltaik sistemin PVsyst programı kullanılarak karşılaştırmalı bir performans çalışması sunulmuştur. 60 kWp'lik bir FV sistem simüle edilerek iki şehirde benzer parametreler ve FV dizisi tarafından üretilen enerji miktarı ve aynı zamanda şebekeye verilen enerji de analiz edilmiştir. Enerji üretiminin dışında çeşitli olası kayıplarda hesaplanmıştır [1].

Mona Al Ali ve arkadaşları (2013): Abu Dabi'de kurulu şebekeye bağlı FV sistemi PVsyst programı kullanılarak analiz edilmiş ve performans parametreleri aylık ve günlük olarak ayrı ayrı değerlendirilmiştir. FV sistem için enerji üretimi, nihai verim, performans oranı, sistem ve inverter verimleri, kapasite faktörü ve enerji geri ödeme süresi değerlendirilmiştir [2].

Vikrant Sharma ve arkadaşları (2013): Hindistan'ın Khatkar-Kalan şehrinde kurulu olan 190kWp güneş FV sistemin performans analizi hesaplanmıştır. Hindistan'daki FV sistem dünya çapında farklı yerlerde kurulu diğer sistemlerle enerji verimi, nihai verim, sistem verimliliği ve performans oranı bakımından karşılaştırılmıştır [3].

Tao Ma ve arkadaşları(2014): FV modüllerinin/stringlerinin/dizilerinin performans parametrelerini belirlemek için Matlab programında teorik bir model geliştirilmiştir. Önerilen modelin fizibilitesi, önceden tahmin edilen sonuçları diğer yazılım ve

modellerle karşılaştırılarak gösterilmiştir. Matlab simülasyon modelinin doğruluğu, simülasyon sonuçları ile Hong Kong'daki şebekeye bağlı FV sistem ile karşılaştırılarak gerçekleştirilmiştir [4].

Y.M.Irwan ve arkadaşları (2015): PVsyst programı kullanılarak stand-alone fotovoltaik sistemin değerlendirilmesi sunulmuştur. Stand-alone FV sistemi ile bir binadaki odanın aydınlatma ihtiyacı karşılanmıştır. Yük talebini karşılamak için, her bir güç değeri 64W olan 10 adet FV modül ile 8 adet 160 Ah kapasitesinde akü kullanılmıştır [5].

D.Okello ve arkadaşları (2015): Güney Afrika'da yer alan Nelsan Mondea Metropolitan Üniversitesi'nde yer alan 3,2 kWp kurulu güce sahip şebekeye bağlı bir fotovoltaik sistemin ölçülen ve simüle edilen değerler ile performansı analiz edilip, karşılaştırılmıştır. Sistemin performansı, ölçülen ve PVsyst programında yer alan iklim veri setleri kullanılarak hesaplanmıştır. Ölçülen ve simüle edilen aylık enerji verimi arasında iyi bir karşılaştırma yapmak için, PVsyst programına sahada ölçülen hava verileri eklenerek simülasyon gerçekleştirilmiştir [6].

Shahzad Ahsan ve arkadaşları (2016): Hindistan'da yer alan 1 kW kurulu güce sahip FV sistem üzerine çalışılmıştır. Sistemin performansı ve tasarlanan sistem için maliyet analizi PVsyst programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Aynı zamanda FV sistem tarafından üretilen enerji, kullanıcı tarafından sağlanan ve ihtiyaç duyulan enerjinin karşılaştırması da hesaplanmıştır [7].

M.Malvoni ve arkadaşları (2016): Üç adet meteorolojik veri kümesiyle dizi düzlemindeki güneş ışınımını hesaplamak için farklı transpozisyon modelleri uygulanarak POA ışınması, modül sıcaklığı ve FV enerji çıkışı açısından tahmin doğruluğu araştırılmıştır. Akdeniz ikliminde yer alan FV sistem için tahminler PVsyst programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir [8].

Maria Malvoni ve arkadaşları (2017): Salento Üniversitesi kampüsündeki FV sistemin ölçülen ve simüle edilen enerji üretimleri karşılaştırılmış, bu analiz ile FV sistemin bozunumu ve güvenilirliği araştırılmıştır [9].

Sreenoth Sukumaran ve arkadaşları (2017): Tamamen güneş enerjili havalimanının etkinliğini incelenmiştir. Bu doğrultuda Cochin Havalimanı'nda bulunan 12 MWp kurulu güce sahip şebekeye bağlı FV sistemi, Eylül 2015 ile Ağustos 2016 tarihleri arasında

yıllık olarak izlenip, performansı aylık ve günlük bazda değerlendirilmiştir. Enerji üretim değerleri PVsyst ve SolarGIS programı simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır [10].

Daniela Mewes ve arkadaşları (2017): Stocholm’de yer alan Royal Enstitü ve Teknoloji kampüsündeki mevcut binalar üzerinde uygun alanı bulmak için araştırma yapılmıştır. Gölgelelendirmeye sebep olan faktörler ortadan kaldırılarak kullanılabilir mevcut kampüs çatılarını belirlemek için bina değerlendirmeleri yapılmıştır. Kampüsün uygun alanlarına toplam enerji üretimini belirlemek için PVsyst programında iki ayrı bina için simülasyonlar yapıp, kayıplar değerlendirilmiştir [11].

A.Leggeri ve arkadaşları (2017): Salento Üniversitesi kampüsünde bulunan 960 kWp kurulu güce sahip FV sistemin performansı araştırılmıştır. Çalışmada, Mart 2012 tarihinden Eylül 2015 tarihine kadar değişen 43 aylık bir izleme dönemi dikkate alınmıştır. Akdeniz ikliminde şebekeye bağlı sistemin performans parametrelerinin ayrıntılı bir analizi sunulmuştur. Aynı zamanda FV sistem, elektrik maliyetinin düşürülmesi ve sistemlerin bulunduğu iklim koşullarının dikkate alınarak performansını arttırmayı amaçlayan gelecekteki araştırmaları desteklenmektedir [12].

Chong Li ve arkadaşları (2017): Çin Kuming’te yer alan bir ev için PVsyst programı yardımıyla hesaplan performans değerleri ile 2,02 kWp kurulu güce sahip şebekeden bağımsız FV sistemin ölçülen performansı karşılaştırılmıştır. Enerji üretimi, sistem kayıpları, dizi verimi, nihai verim, referans verimleri ve performans oranı 5 farklı takip sistem (sabit eğik düzlem, mevsimsel eğilim ayarı, yatay eksen izleme, dikey eksen izleme ve çift eksenli izleme) ile analiz edilmiştir [13].

1.2 Tezin Amacı

Elazığ ilinde yer alan mevcut şebekeye bağlı FV Güneş Enerjisi Santrali’nin tasarımlarını ve simülasyon çalışmalarını yapıp aynı zamanda performans analizini incelemektir. Performans analizi ile enerji üretiminin yakından takibini sağlayarak yeterli bakım planlarının oluşturulmasına yön göstermektir.

FV sistemden üretilen enerji, FV sistemin verimliliği ve bu iki ilişkinin zamanla nasıl değiştiği önemli iki maliyet konusudur. Dolayısıyla büyüyen FV endüstrisi ile bir

sistemin ömrü boyunca enerji üretimi hakkında doğru tahminler verebilmesi çok büyük bir yere sahiptir.

Bu yönüyle çalışma, FV endüstrisinde Türkiye ve incelediğimiz FV santralinin bulunduğu Elazığ ili için büyük önem taşımaktadır. Bu alanda yapılacak çalışmalara bir kaynak olabilmeyi amaçlamaktadır.

1.3 Hipotez

Bu tezde, Elazığ ilinde yer alan mevcut fotovoltaik (FV) sistemin tasarım hesaplamaları yapılarak performansı araştırılacak ve analiz edilecektir. Çalışmalar, FV Güneş Enerji Santrali'nden alınan ölçümler ve PVsyst simülasyon programından elde edilen simüle verilerle yapılacaktır. PVsyst programından elde edilen veri sonuçları Elazığ ilinde yer alan FV Güneş Enerji Santrali'nden ölçülen verilerle karşılaştırmak için kullanılacaktır. Bu durum sistem performansının değerlendirilmesini sağlayacaktır. Özetle çalışmada,

- Elazığ ilinde yer alan FV Güneş Enerji Santrali nasıl tasarlanır ve çalışır? FV sistem beklendiği gibi bir performans gösteriyor mu?
- Daha gelişmiş modellerin kullanımı ölçülen verilere kıyasla simülasyon sonuçlarının doğruluğunu artırıyor mu?
- Normal olmayan durumların tespiti için bir çözüm oluşturulabilir mi?

sorularına cevap aranacaktır.



Şekil 1.1 Elazığ ilinde Yer Alan FV Sistemin Coğrafi Konumu

BÖLÜM 2

GÜNEŞ ENERJİSİ

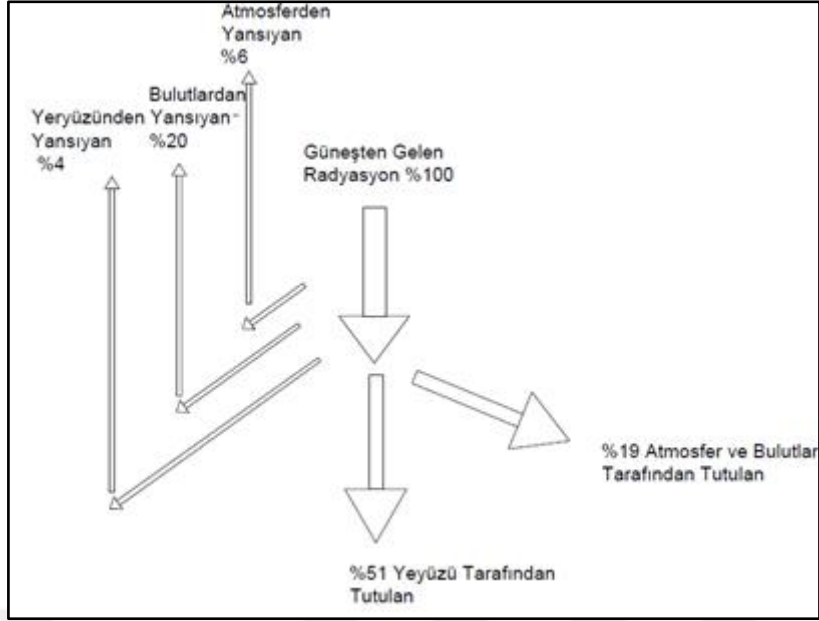
Bu bölümde FV sistemin bir elektrik jeneratörü olarak nasıl çalıştığını anlamak için gerekli teoriler sunulmaktadır. Bir FV sistemini verimli bir şekilde tasarlayabilmek için mevcut güneş ışığı hakkında bilgi gereklidir. FV sistemin çalışmasını tam olarak anlayabilmek için FV sistem bileşenleri de anlatılmaktadır.

Ardından ışınım, sıcaklık ve gölgeleme etkisi açıklanıp bunların FV hücresinin akım ve gerilim eğrisini nasıl etkilediğinden bahsedilmektedir. Bir FV sisteminin hücrelerden tam sisteme kadar olan yapılandırması sunulmaktadır.

2.1 Güneş Kaynağı

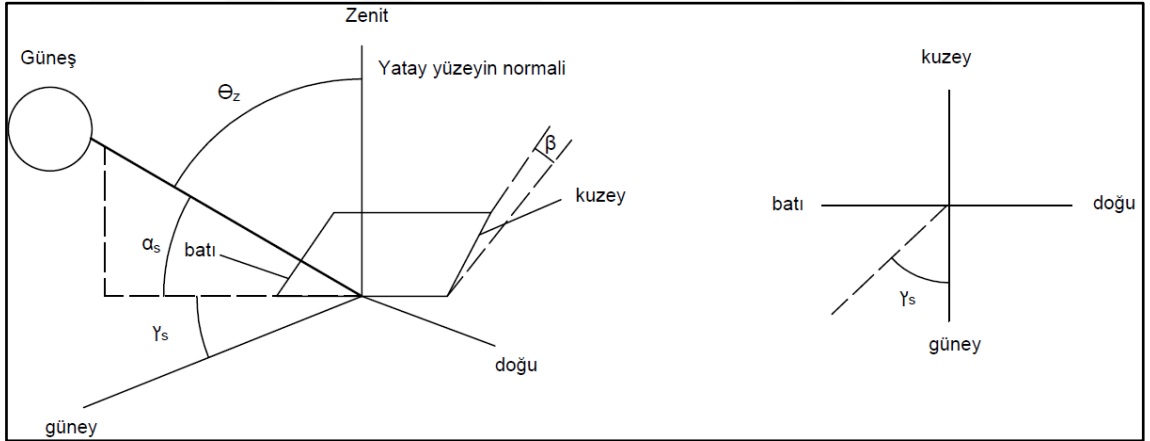
2.1.1 Güneş Açılı ve Temel Tanımlar

Güneş kaynağından çıkarak direk yer yüzüne gelen ışınım “direkt ışınım” denir. Güneş kaynağından çıktıktan sonra saçılıp yön değiştirerek yeryüzüne ulaşan ışınım “yayılı ışınım”, yeryüzünde bulanana elemanlardan yansıyan ışınım ise “yansıyan ışınım” denir. Direkt ışınım ve yayılı ışınımın toplamına “global güneş ışınımı” denir. Yeryüzüne dağılan güneş ışınlarının yayılışı Şekil 2.1’de gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Güneş Işınlarnın Dağılımı

Güneş geometrisi ile ilgili parametreler PVsyst programına dahil edilmiş olsa da, güneşin konumunun bir FV sisteminin performansını nasıl etkileyebileceğini anlamak için güneş parametrelerine değinilmektedir. Çeşitli güneş ışınlarının geometrik açıları Şekil 2.2’de gösterilmektedir [14].



Şekil 2.2 Güneş Açılı

Enlem Açısı (ϕ) = Ele alınan konumun enlemidir.

Deklasyon Açısı (δ) = Güneş ışınının ekvatorun düzlemiyle yapmış olduğu açıya denir. Diğer bir deyiş ile güneş ışının dünyaya geliş açısıdır. Deklasyon açısı 2.1 numaralı denklemde belirtildiği gibi, hesaplanacak gün sayısı olarak belirtilen n’ye göre değışkenlik göstermektedir.

$$\delta = 23,45 * \sin ((360(284 + n))/365) \quad (2.1)$$

Saat Açısı (ω) = Dünyanın kendi eksenini etrafında saatlik 15° dönmesiyle öğleden önce negatif öğleden sonra pozitif olmak üzere yerel meridyenin doğu veya batı yönünde açısal yer değiştirmesi olarak tanımlanır. Güneş saati olarak belirtilen GS'ye göre saat açısı formülü denklem 2.2'de belirtilmektedir.

$$\omega = 15 * (GS - 12) \quad (2.2)$$

Eğim Açısı (β) = Eğik yüzeyin yatay ile yapmış olduğu açıdır.

Yüzey Azimut Açısı (γ) = Eğik yüzeyden geçen normalin yatay düzleme izdüşümünün güneyle yapmış olduğu açıdır. Güney yönünden batı yönüne gidildikçe (+), doğu yönüne doğru gidildikçe (-) alınır.

Güneşin Geliş Açısı (θ) = Eğik düzleme gelen ışının yüzeyin normali ile arasında kalan açığa denir.

Zenit Açısı (θ_z) = Güneşin doğrultusuyla yatay yüzeyin normali arasında kalan açıdır.

$$\theta_z = 90 - \alpha \text{ olup,}$$

$$\theta_z = \cos^{-1} [\sin(\phi) \sin(\delta) + \cos(\phi) \cos(\delta) \cos(\omega)] \quad (2.3)$$

Güneş Yükseklik Açısı (α) = Direkt olarak gelen güneş ışınlarının yatay düzlemle yapmış olduğu açığa denir.

$$\alpha = 90 - \theta_z$$

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

Güneş Azimut Açısı (γ_s) = Direkt olarak gelen güneş ışınlarının yatayda izdüşümünün güney doğrultusuyla yapmış olduğu açıdır.

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

2.1.2 Meteorolojik Verilerin Ölçülmesi ve Modellenmesi

Dünyada güneş ışınım verileri iki farklı tipte elde edilmektedir.

- Yeryüzü ölçümleri
- Uydu verilerinin hesaplanması

Yeryüzündeki ölçümler ile sahip olunan güneş ışınım verileri:

Dünyada güneş ışınımının direk olarak ölçülmesi farklı ölçüm cihazları kullanılarak hesaplanabilir. Güneş ışınımını hesaplamada en çok kullanılan ölçüm cihazı piranometredir. Piranometre Şekil 2.3'de gösterilmektedir. Kolay montajı ve yüksek oranda veri depolama özelliğinden dolayı en çok tercih edilen cihazdır.



Şekil 2.3 Piranometre

Sonuçlarda çıkabilecek bazı problemler veri toplayan sensörlerin bozulmuş olması, yüzeyin kirliliği veya karla kaplanmış olması veyahut etraftaki binaların veya cisimlerin gölge etkisi yapması şeklinde sıralanabilir. Düzenli bakım yapıldığı takdirde ölçüm istasyonlarından alınan verilerin doğruluğu artar. Eksik yapılan bakım ve bazı ihmaller sonucu alınan kayıtların veri tabanına işlenmesi verilerin ne kadar sağlıklı olduğu konusunda belirsizliklere sebep olmaktadır.

Ölçüm istasyonlarıyla FV sistemin kurulacağı bölgenin birbirinden uzak olması durumunda bazı yaklaşımlarla güneş ışınım değerleri hesaplanmaya çalışılır. Ölçüm istasyonundan uzaklaştıkça elde edilen değerlerin güvenilirliği düşmeye başlar. Bununla birlikte çevrede yer alan diğer ölçüm istasyonlarından alınan veriler de değerlendirilerek yaklaşımlar yapılmaktadır [15].

Uydu verilerinden güneş ışınım değerlerinin hesaplanması:

Dünyada güneş ışınım değerlerini ölçmek için pek çok yöntem bulunmaktadır. Dünyadan yeryüzüne gelen ışığın kızıl ötesi ve görünür olan kısımlarını uydular ölçebilmektedir. Işıklar genel olarak bulutlardan ya da yeryüzünden yansıyıp uyduya

geldiğinden güneş ışınım hesaplamaları atmosferde absorbe edilen ve buluttan yansıyan kısımlar dikkate alınıp hesaplanmaktadır.

Farklı uydulardan alınan verilerle ölçümler oluşturulmaktadır. *Geostationary* bir uydu türü olup hava durumu verilerini toplamak için 15-30 dakika aralıklarla dünyanın fotoğrafını çekmektedir. Böylece yüksek veri kalitesi sağlanabilmektedir. *Polar-orbiting* adlı diğer bir uydu türü ise dünyaya daha yakın olduğundan fotoğraflanan yerler daha detaylı verilere sahiptir. Uydular sabit olmadığından gün içerisinde bir bölgeden birkaç fotoğraf çekebilmektedir. PVGIS programı tarafından kullanılan veriler genellikle *Geostationary* uydusu tarafından üretilen verilere dayanmaktadır. Uydular ile geniş alanlarda ışınım değerlerinin hesaplanması yer tipi ölçüm istasyonlarına göre daha avantajlıdır [15].

Uydu ile hesaplanan ölçümlerde,

- Karla kaplı alanlar uydular tarafından bulut olarak algılanmaktadır. Bu yüzden karla kaplı olan alanlar için belirsizlikler yaşanmaktadır.
- Dağlık bölgelerde yükseltileri algılama konusunda uydular sorun yaşamaktadır. Uydu ile yapılan ölçümlerde ışınım değerlerinin yükseklikle olan bağlantısı tam olarak ifade edilememektedir.

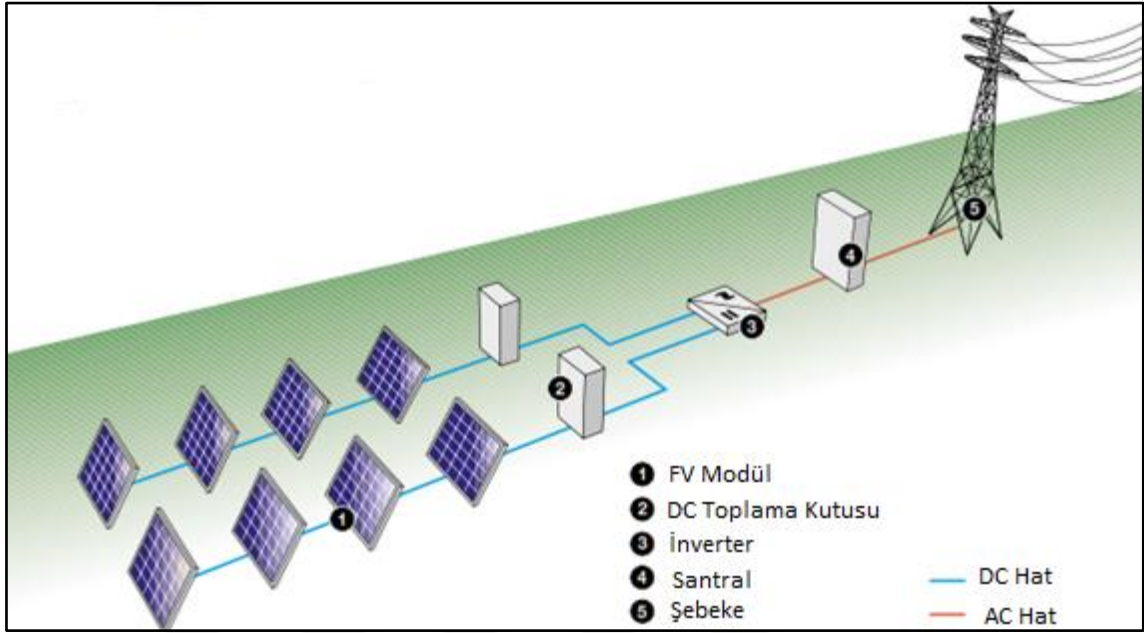
Bu problemlerden dolayı ortaya çıkabilecek hataları engellemek için uydu verileri ile yerde ölçüm alan istasyonların verilerinin karşılaştırması önemlidir.

2.2 Fotovoltaik Sistem

FV sistemler genellikle şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı sistemler olmak üzere ikiye ayrılır. Şebekeden bağımsız sistemler FV modüller, aküler, inverter, yük ve isteğe bağlı olarak jeneratörden oluşur. Şebekeden bağımsız sistemler, şebekeye bağlanma yeteneği olmayan tüketicilere enerji sağlar. Bu tezde çalışma, şebekeye bağlı FV sistemler üzerinde yapılacaktır.

Şekil 2.4, analiz edilecek olan şebekeye bağlı sistemi göstermektedir. FV modülleri tarafından üretilen doğru akım invertere aktarılır. İnverterler ise FV modüller tarafından üretilen doğru akımı alternatif akıma çevirir. Daha sonra üretilen enerji

şebekeye verilir. Üretilen enerji, öncelikle diziye çarpan güneş ışığına ve FV modüllerinin sayısına bağlıdır.

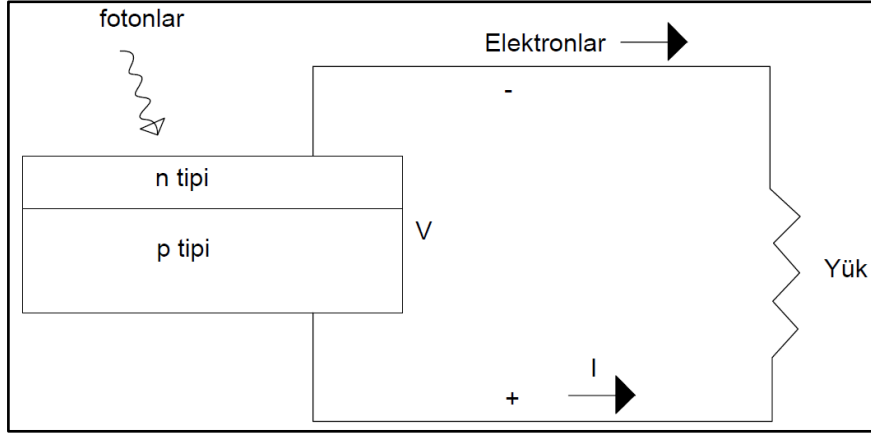


Şekil 2.4 Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemin Konfigürasyonu

2.2.1 Güneş Pillerinin Elektriksel Özellikleri

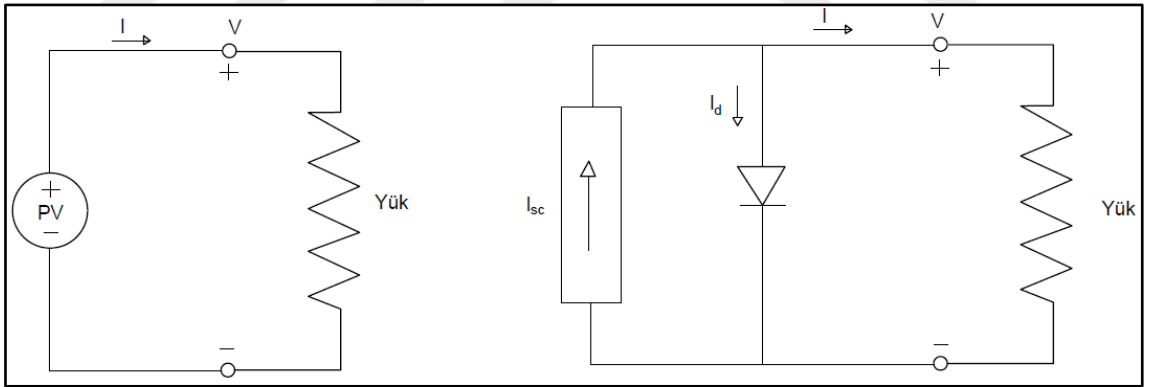
Yüzeylerine düşen güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren yapılara “güneş pili” ya da “fotovoltaik pil” denir. Fotovoltaik pillerin ilk ortaya çıkmasıyla güneş pillerinin verimi yaklaşık %5 civarında iken bu değer günümüzde %20'lere ulaşmıştır.

Güneş pillerinin yapısı p ve n eklemlerinden oluşan diyotlara benzer. Fotonlar tarafından koparılan elektronlar eklemlerde hareketlenir ve elektrik akımı oluşturur. Yarıiletken malzemeler n ya da p tipi olarak katkılandırıldıktan sonra güneş pili olarak kullanılır. Katkılanma yarıiletken içerisine istenilen katkı maddelerinin kontrollü bir şekilde eklenmesi yardımı ile yapılır. Yarı iletken eklemi, güneş pili olarak çalıştırmak için ilk önce eklem bölgesine ışık düşürülüp elektron-hol çiftleri oluşturulur. Daha sonra elektron-hol çiftlerinin elektrik alan yardımıyla birbirlerinden ayrılmasıyla güneş pillerinin uçlarından güç elde edilir [16]. Şekil 2.5'te, ışığın vurulduğu pn eklemi olan bir FV hücresi görülmektedir.



Şekil 2.5 n Ekleminden p Eklemine Elektron Akışı

Şekil 2.6, FV hücresi için basit bir eşdeğer devreyi göstermektedir. FV hücresi, ideal bir akım kaynağı ile paralel olan diyottan oluşur ve bu da FV hücrenin maruz kaldığı güneş ışınımına orantılı bir akım sağlar. Burada iki farklı durum oluşur. Birincisi kısa devre akımı, terminaller kısa devre edildiğinde akan I_{sc} ve ikincisi ise açık devre gerilimi, V_{oc} , açık devredeyken terminaller üzerinde oluşan gerilimdir. Kısa devre durumunda diyot gerilimi $V_d = 0$ olur. Bu durum, ideal akım kaynağındaki tüm akımın kısa devre terminallerinden geçtiği anlamına gelir.



Şekil 2.6 FV Hücre Eşdeğer Devresi

Kirchhoff'un mevcut kanuna göre, yük üzerinden geçen akım:

$$I = I_{sc} - I_d \quad (2.6)$$

Aşağıda verilen diyot denklemi yerine koyulduğunda yüke giden akım,

$$I_d = I_s * (e^{\frac{qV}{kT}} - 1) \quad (2.7)$$

$$I = I_{sc} - I_s * (e^{\frac{qV}{kT}} - 1) \quad (2.8)$$

olur. Burada; I_s doyma akımı olup hücre gerilimi ise V olarak belirtilmiştir. q olarak adlandırılan katsayı $1,6 \times 10^{-19}$ C olup, k katsayısı ise $1,38 \times 10^{-23}$ J/K olarak alınmıştır. Ortam sıcaklığı ise T ile gösterilmiştir.

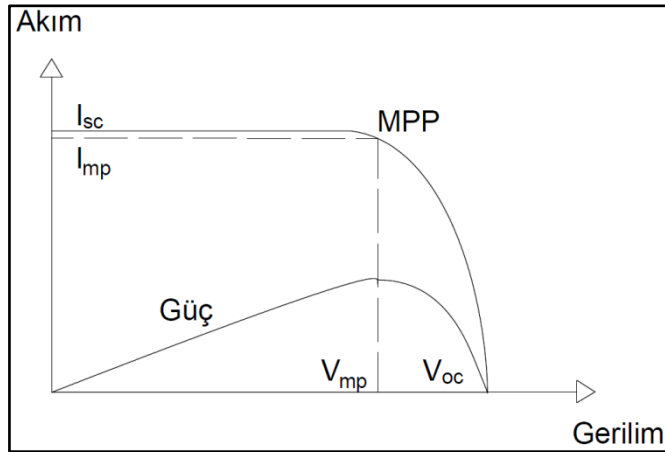
Şekil 2.7'de bir FV hücrenin akım-gerilim eğrisi gösterilip, çıkış gücü de belirtilmiştir. Maksimum Güç Noktasında (MPP), hücre akımı (I_{mp}) ve hücre gerilimi (V_{mp}) maksimumdur ve FV hücrenin maksimum güç çıkışı ($P_{max} = I_{mp} * V_{mp}$) şeklindedir. FF; doldurma faktörüdür ve genelde hücre performansını göstermede kullanılır, denklem 2.9'da tanımlanmıştır. Diğer anahtar parametreler ise kısa devre akımı olarak tanımlanan I_{sc} ve açık devre gerilimi olarak tanımlanan V_{oc} 'dir. Açık devre gerilimi V_{oc} denklem 2.10'da gösterilmiştir.

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{sc} * V_{oc}} = \frac{I_{mp} * V_{mp}}{I_{sc} * V_{oc}} \quad (2.9)$$

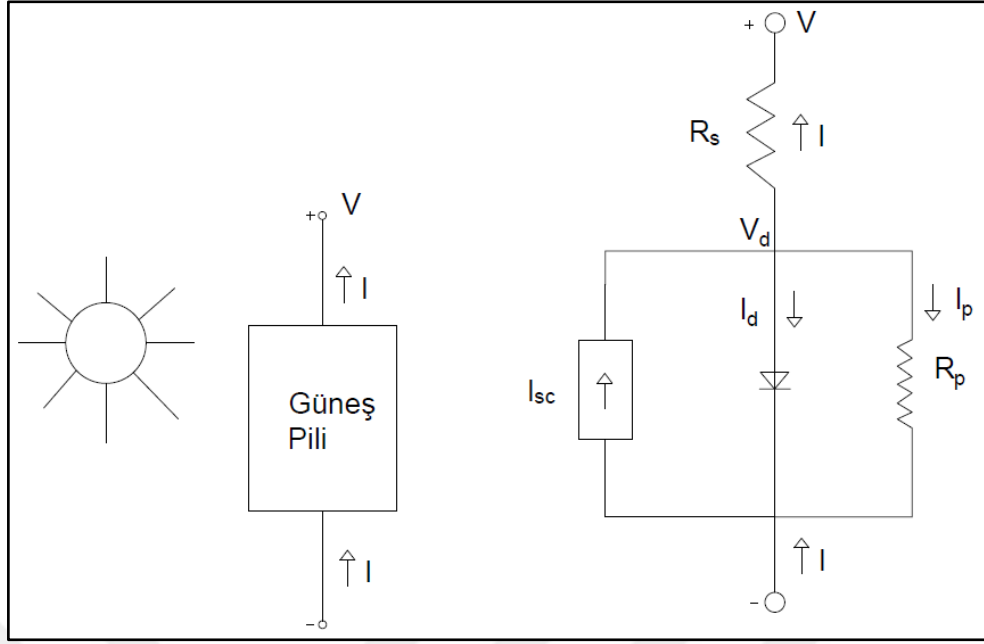
$$V_{oc} = \frac{kT}{q} * \ln \left(\frac{I_{sc}}{I_s} + 1 \right) \quad (2.10)$$

FV hücrenin daha doğru bir eşdeğer devresine sahip olmak için, Şekil 2.8'de gösterildiği gibi bir paralel direnç (R_p) ve seri direnç (R_s) eklenmiştir. R_p , yük taşıyıcıları yarı iletkenin elektrik kontrollerine doğru ilerlediğinde gerilim düşümünü temsil eder. R_s , hücreler arasındaki omik kayıpları temsil eder. Akım-gerilim eğrisi:

$$I = I_{sc} - I_s * \left(e^{\frac{q(V+I*R_s)}{kT}} - 1 \right) - \frac{V + I * R_s}{R_p} \quad (2.11)$$



Şekil 2.7 FV Hücrenin Gerilim Değişimine Karşı Akım ve Güç Karakteristiği



Şekil 2.8 R_p ve R_s Dirençli FV Hücre Eşdeğer Devresi

2.2.2 FV Hücre, FV Modül ve FV Dizi

FV hücresi, güneş ışığına çarptığında elektrik üreten FV sisteminin bir parçasıdır. Tek bir FV hücresi, bir silicon FV hücresi için 0,5 volt'ta yaklaşık 5 W üretir [16]. Tek bir hücre üzerindeki gerilim,

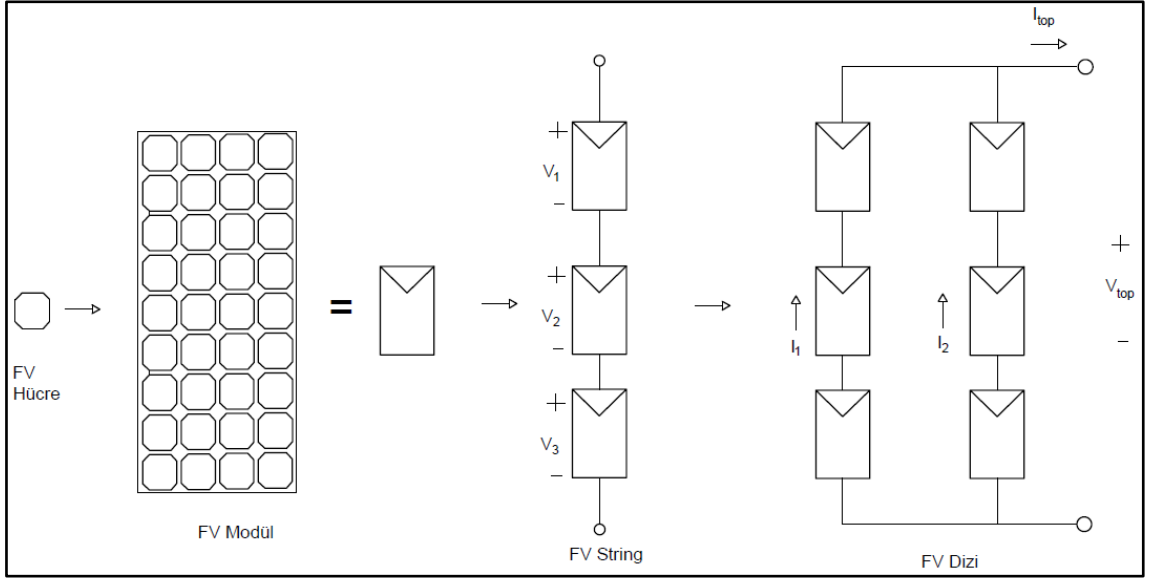
$$V = V_d - I * R_s \quad (2.12)$$

şeklinde olur.

FV uygulamalarında, bir modülü oluşturmak için hücreler birbirine seri bağlanır. Hücreler aynı akımı taşır ve verilen herhangi bir akımda serideki her bir hücrenin gerilimleri eklenir. Bir modülün gerilimi daha sonra Denklem 2.13'te gösterildiği gibi olur, burada m bir modüldeki hücrelerin sayısıdır [16].

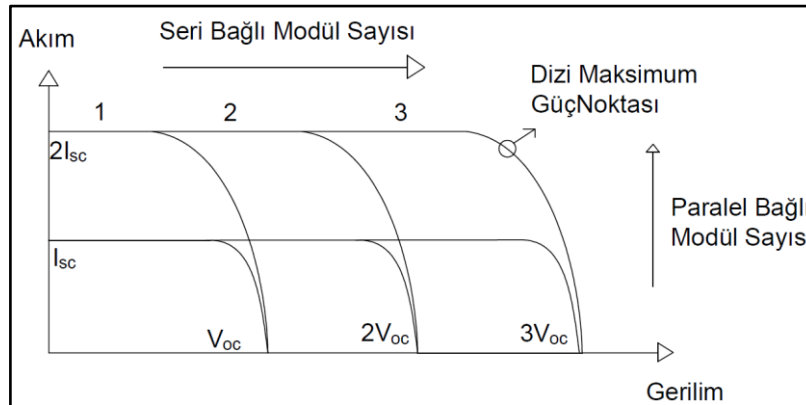
$$V_{\text{modül}} = m * V = m * (V_d - I * R_s) \quad (2.13)$$

Modüller, FV sisteminin çıkış gerilimini ve gücünü artırmak için seri olarak bağlanır. Buna FV dizisi denir. Seriyeye bağlı modül sayısı, istenen çıkış gerilimi ile belirlenir. İstenen akımı elde etmek için diziler paralel bağlanır. Dizeleri paralel olarak bağlarken, çıkış akımı her bir dizeden gelen akımların toplamı olacaktır. Seri ve paralel bağlı FV modüllerinin kombinasyonları bir FV dizisi olarak adlandırılır [17].



Şekil 2.9 FV Hücre, FV Modül ve FV Dizi. Dizi Çıkış Akımı $I_{top} = I_1 + I_2$. Dizi Çıkış Gerilimi $V_{top} = V_1 + V_2 + V_3$

Şekil 2.9'da, sırasıyla bir FV hücresi, birbirine seri bağlı otuzaltı hücrenin oluşturduğu bir FV modülü, seri bağlı üç modülün oluşturduğu bir FV dizisi görülmektedir. Dizinin çıkış voltajı V_{top} , serideki her modülün üzerindeki gerilimlerin toplamıdır ($V_{top} = V_1 + V_2 + V_3$). Dizinin çıkış akımı I_{top} , her bir diziden geçen akımların toplamıdır ($I_{top} = I_1 + I_2$). Bir dizideki akım en gölgeli modül tarafından kararlaştırılır ve bir modül içindeki akım en gölgeli hücre tarafından belirlenir. Şekil 2.10, modüller seri ve paralel olarak bağlandığında akım-gerilim eğrisinin nasıl değiştiğini gösterir.



Şekil 2.10 Seri ve Paralel Bağlı Modüllerin Akım ve Gerilim Karakteristiği

2.2.3 Işınım ve Sıcaklığın Etkisi

Bir güneş pilinin verimliliği aşağıdaki denklem ile ifade edilir.

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{\text{in}}} = \frac{FF * I_{sc} * V_{oc}}{P_{\text{in}}} \quad (2.14)$$

Bir güneş pilinin verimliliği güneş pilinin malzemesine ve türüne bağlıdır. Silikon güneş pili için verimlilik %15 ile %22 arasındadır.

FV modüllerini test ederken Standart Test Koşulları (STC) kullanılır. Çizelge 2.1'de Standart Test Koşulları tanımlanmıştır.

Çizelge 2.1 Standart Test Koşulları

Işınım	1000 W/m ²
Hava Kütleli	AM1,5
Hücre Sıcaklığı	25°C

FV hücreler nadiren standart test koşulları altında çalışır. Bir FV hücrenin akım-gerilimeğrisi doğrudan ışınım ve sıcaklığa bağlıdır. Gün içerisinde ışınım sıcaklıktan daha fazla değişebilir. Işınım yarı yarıya azaldığında, ortaya çıkan güç çıkışı da yarı yarıya azalır.

Bir FV hücrenin açık devre gerilimi ve verimliliği, denklem 2.10 ve 2.14'ten görülebileceği gibi sıcaklığa bağlıdır. Denklem 2.10'da sıcaklığın artması ile V_{oc} artar. Bu nedenle artan sıcaklık açık devre gerilimini azaltmaya ve azalan verime yol açar. FV hücreleri, aynı ışınım değeri ile sıcak koşullardansa soğukta daha iyi performans gösterirler [16].

Bir güneş pilinde güneş ışınımının sadece yaklaşık %10 ila %20'si güneş pili tarafından emilir. Kalan ışınımın bir kısmı güneş pilinin ısınması sonucu ısıya dönüşür [18].

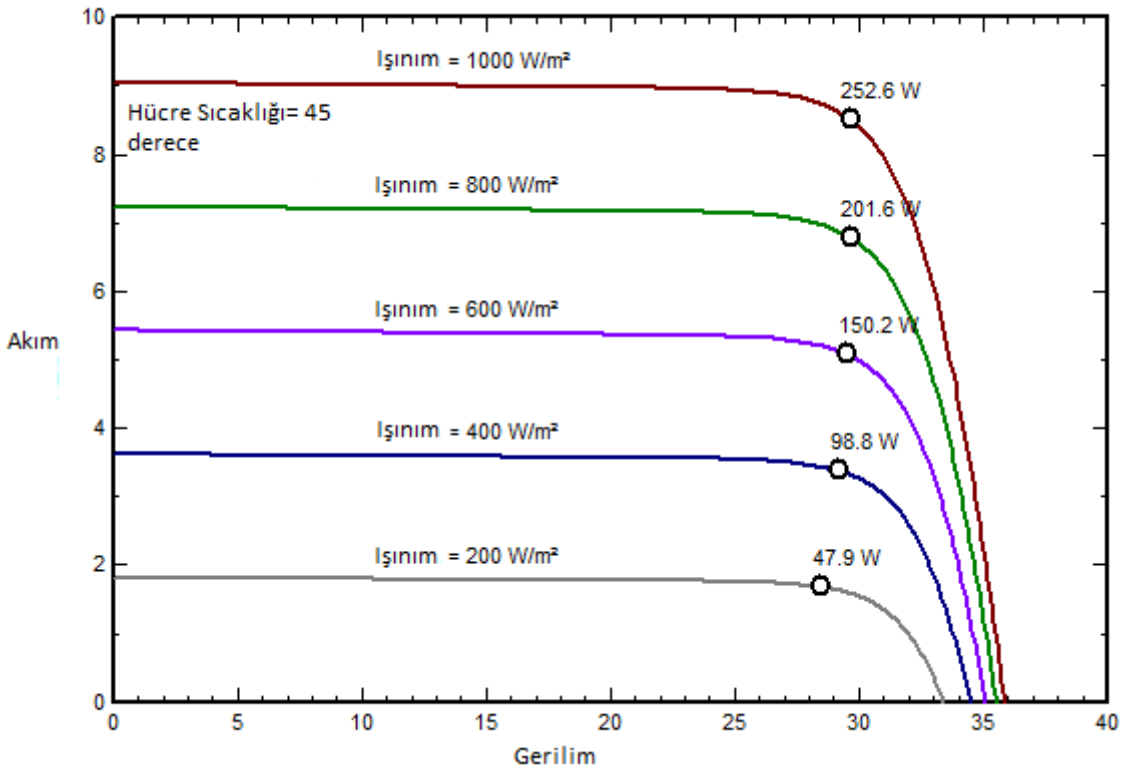
Güneş pili sıcaklığa bağlı olduğundan, akım-gerilim karakteristiği de değişen güneş pilinin sıcaklığıyla değişir. Bu aynı zamanda farklı ışınım seviyeleri için de geçerlidir. Çünkü güneş pili tarafından üretilen akım ışınım ile orantılıdır. Daha fazla ışınım daha fazla üretilen enerji anlamına gelir.

Güneş pilinin akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristiklerinin ışınımına bağlı değişimi Şekil 2.11 ve Şekil 2.12'de, sıcaklığa bağlı değişimi ise şekil 2.13 ile Şekil 2.14'te gösterilmiştir. Grafikler Elazığ ili Güneş Enerji Santrali'nde kullanılan CW-270Wp fotovoltaik modülüne göre çıkarılmıştır. Bu da PVsyst programı kullanılarak sağlanmıştır.

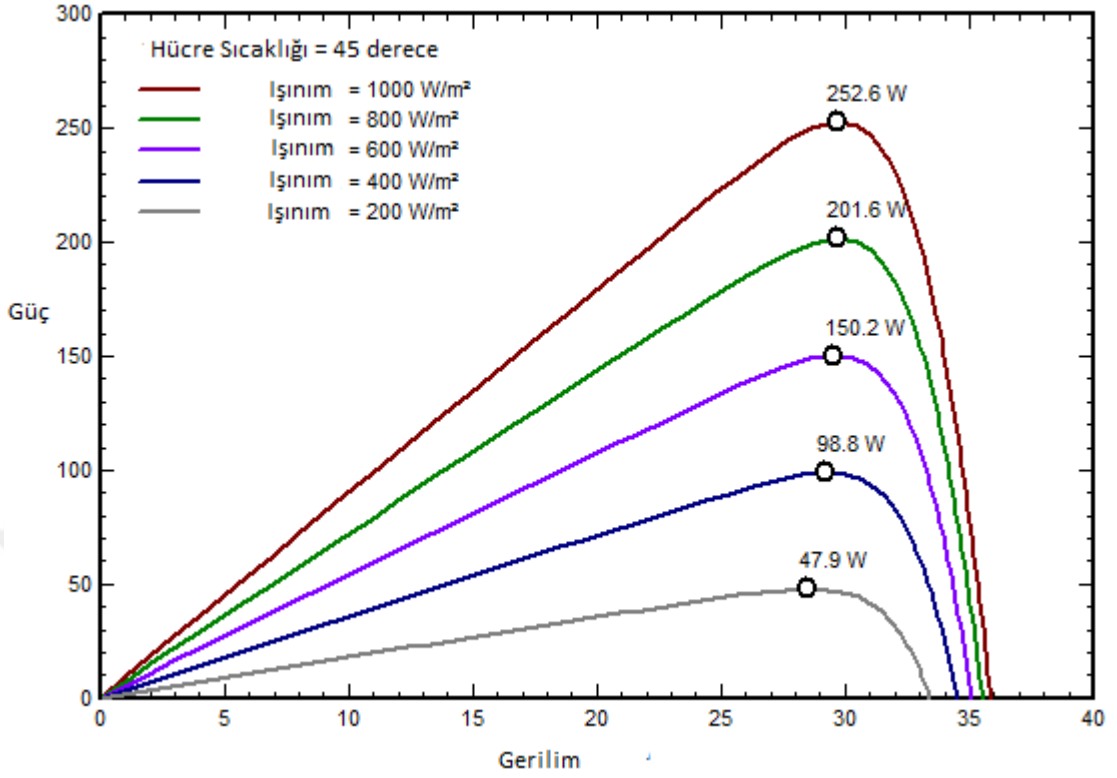
Şekillerdeki beyaz daireler maksimum güç noktası olarak temsil edilir. Burada maksimum güç noktasının artan sıcaklık ve azalan ışınım ile nasıl azaldığı görülür.

2.2.4 Gölgenin Etkisi

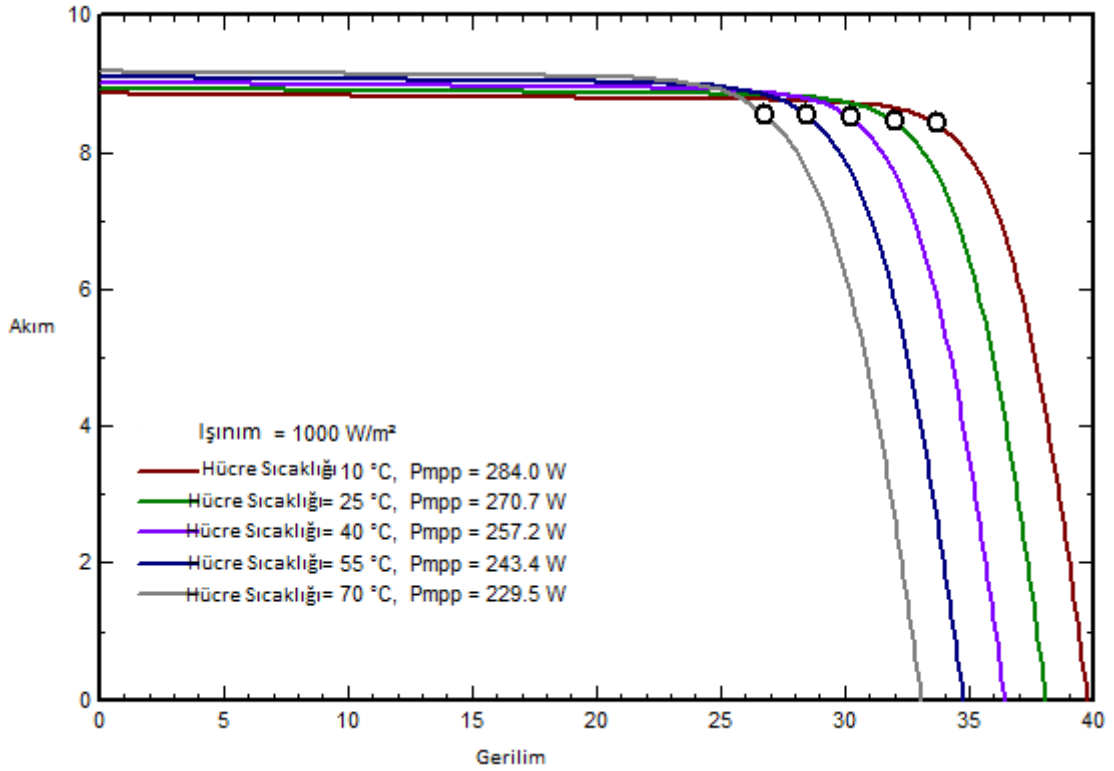
Bir modüldeki hücreler zarar gördüğünde ya da üzerine gölge düştüğünde diğer hücrelerle aynı akımı üretemezler. Bu durum hücre uyumsuzluğuna yol açar. Bir dizideki bir hücre gölgeli olduğunda bu hücre tarafından üretilen akım, modülün olası akım çıkışını sınırlar. Gölgenemeyen hücrelerdeki akım, akım çıkışından daha büyük olduğu için, hücre devresindeki diyot (Bkz. Şekil 2.8) ön tarafa doğru ilerler ve bir diyot akımı akar. Kısa devre durumunda, gerilim dengesini sağlamak için gölgeli hücredeki diyot ileri tarafa yönlendirilmiş diyota eşit büyüklükte ters çevrilmelidir. Hücrelerin uyumsuzlukları ayrıca açık devre gerilimini (V_{oc}) azaltacaktır, ancak büyük hücre dizilerinden (tipik olarak 36-60 hücre) oluşan bir modül için V_{oc} daha küçük bir azalış gösterir. Çıkış akımının sınırlanması modül için güç çıkışını azaltacaktır.



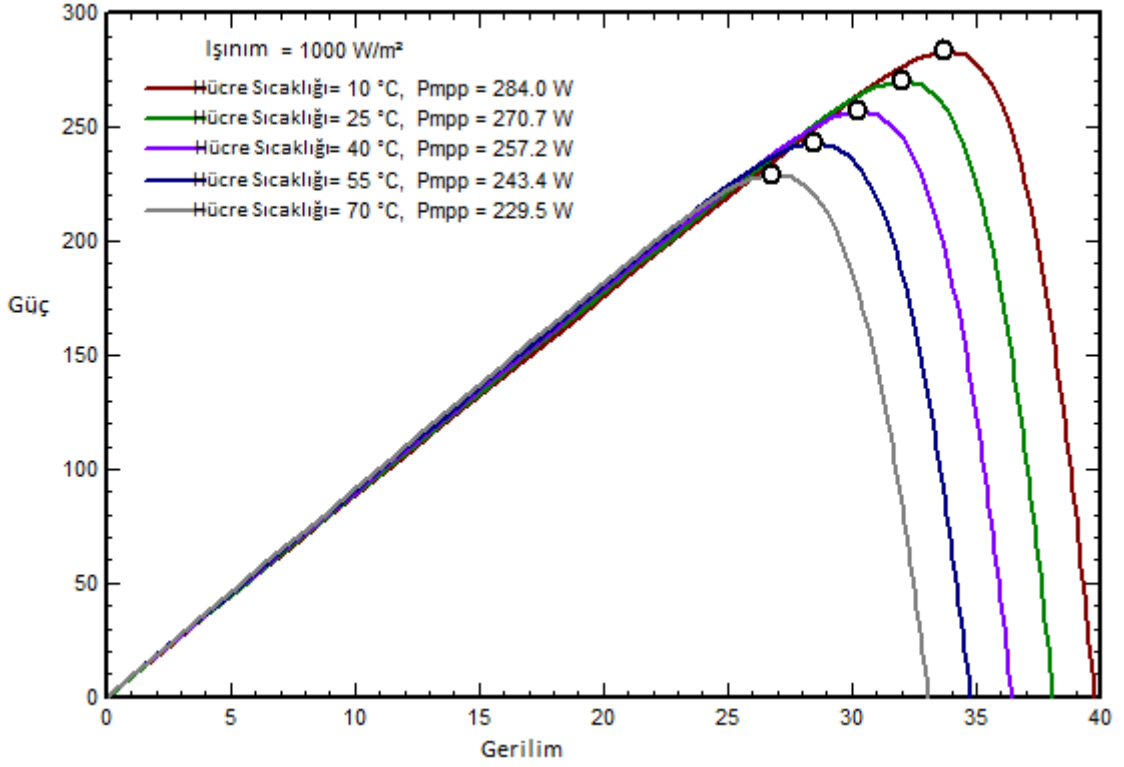
Şekil 2.11 Farklı Işınım Değerleri için Akım ve Gerilim Karakteristiği



Şekil 2.12 Farklı Işınım Değerleri için Güç ve Gerilim Karakteristiği



Şekil 2.13 Farklı Sıcaklık Değerleri için Akım ve Gerilim Karakteristiği

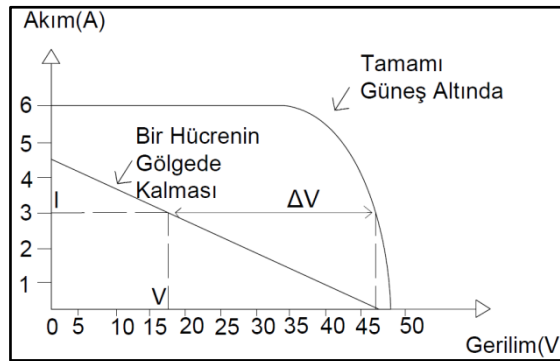


Şekil 2.14 Farklı Sıcaklık Değerleri için Güç ve Gerilim Karakteristiği

Şekil 2.15, bir modüldeki n tane hücrenin tamamının gölgeyle kaplanmış durumunu göstermektedir. Bir hücre tamamen gölgelendiğinde modüldeki akım, gölgeli hücrede R_p ve R_s boyunca akar ve bu da bir gerilim düşüşüne neden olur. Herhangi bir akımda, gerilim değişimi (ΔV) denklemi ,

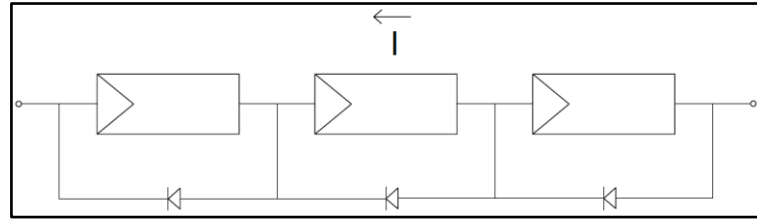
$$\Delta V = \frac{V}{\eta} + I * (R_p + R_s) \approx \frac{V}{\eta} + I * R_p \quad (2.15)$$

şeklindedir. Burada R_p 'nin R_s 'den çok daha büyük olduğu varsayılır.



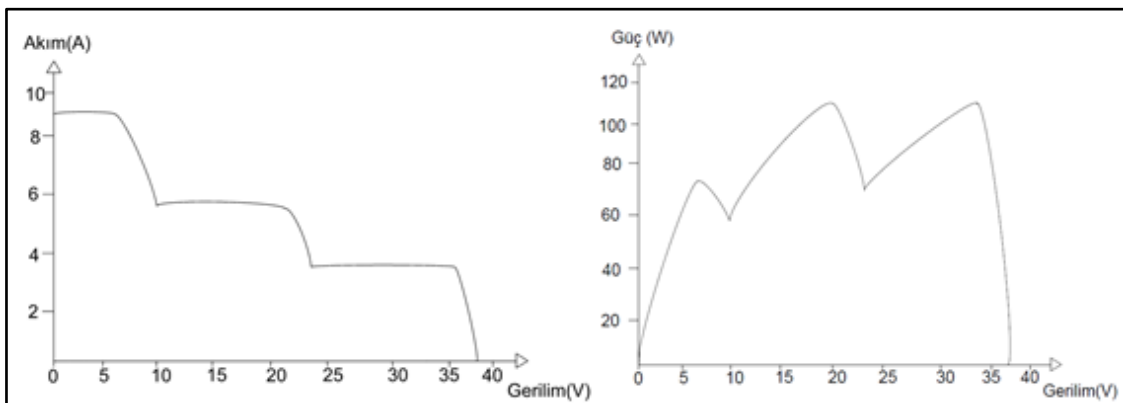
Şekil 2.15 m Tane Hücresinin Tamamen Gölgede Kalma Durumu

Güç çıkışının azalmasını önlemek için bypass diyotları kullanılır. Şekil 2.16, hücreye paralel olarak bağlanan üç bypass diyodunu göstermektedir. Gölgeleme durumunda gölgede kalan hücreler ile dizinin içindeki bypass diyot ileriye doğru eğilimlidir. Bir modülde her hücre için bypass diyotları kullanılabilir, ancak modül üreticileri genelde her hücre için bypass diyotu kullanmamaktadır. Bypass diyotlarının kullanılması sistem performansını daha da iyileştirecektir.



Şekil 2.16 Üç Bypass Diyotu

Aşağıda bir makaleden alınan örnek [19], hücrelerin gölgeleme sırasında bypass diyotlarının etkisini gösterir. Sistem değişken bir DC voltaj kaynağına bağlı olan bypass diyotların paralel bağlandığı, 20 seri bağlı hücreden oluşan üç diziden oluşur. Dolayısıyla üç bypass diyotlu 60 hücreli bir modülü sunmaktadır. İlk dizide $1000\text{W}/\text{m}^2$ uygulanan bir ışınım vardır. İkinci ve üçüncü dizide sırasıyla $600\text{W}/\text{m}^2$ ve $300\text{W}/\text{m}^2$ lik bir ışınım uygulanmıştır. Simülasyonun sonunda, Şekil 2.17 (a) ve 2.17 (b)'de gösterilen akım-gerilim ve güç-gerilim özellikleri çizilmiştir. Modüller kısmen gölgeleştirildiğinde akım-gerilim ve güç-gerilim eğrileri farklı birkaç maksimum güç noktasına sahip olur.



(a) Akım-Gerilim Eğrisi

(b) Güç-Gerilim Eğrisi

Şekil 2.17 Üç Bypass Diyotlu Gölgede Kalmış FV Modül

2.2.5 Modül Bozunumu

Çoğu elektrik üretim sisteminde, en önemli güvenlik konusu kaynağı hareketli parçalardır. FV jeneratörlerinin hareketli nesnesi yoktur, bu nedenle çalışma ömrü fotovoltaik modül malzemesine ve malzemelerin korozyona karşı dayanıklılığına bağlıdır. Bir modül satın alırken üretici 25 yıla kadar performans garantisi vermektedir. Bununla birlikte, modüller birkaç olumsuz durum ve bozunma mekanizmasına bağlı olarak daha az güç çıkışı verir. Bu mekanizmalar çoğunlukla su girişi veya sıcaklık ile ilgilidir [20].

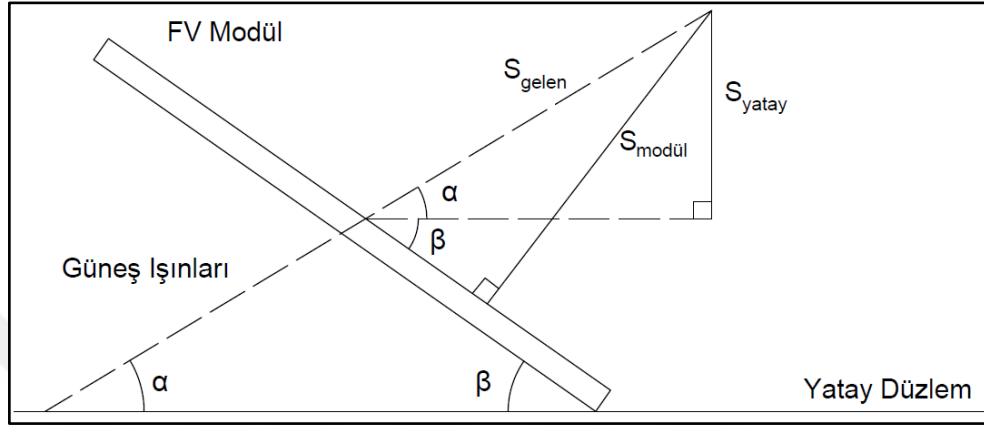
Sistemlerde kullanılan FV modüllerin bozunma oranı hakkında bilgi sahibi olmak, sistemin ömrü boyunca güç üretimi konusunda doğru tahminler elde etmesini sağlar. Bozunma oranı da finansal açıdan çok önemlidir, çünkü yüksek bozunma oranları daha az enerji üretimi sağlar. Bu durum da işletme ve bakım maliyetlerini yükseltip, gelecekteki nakit akışında azalışa sebep olur [21].

Tüm modüllerin zaman içinde performansı düşer, ancak bozunma oranı farklı olan modüller arasında bu büyüklük değişir. Bu yüzden düşük bozunma oranına sahip modüller tercih edilir. Bir modül seçtikten sonra bozunmaya karşı koruma sağlamak ve maksimum performans sağlamak için yapılabilecek birkaç küçük şey vardır. Modüller kurulumda dikkatli taşınmalı ve modüllerde mikro çatlakların oluşmasına engel olunmalıdır. Çünkü modülleri yanlış taşıma, artan ve hızlandırılmış bozunmaya yol açabilir. Düzenli temizlik ve bakım da önemlidir [22].

2.2.6 Optimum FV Modül Açısı

Bir FV dizisi tasarlarken ve kurarken montaj yöntemine karar verilmeli ve bazı hususlar dikkate alınmalıdır. En kolay yöntem diziyi yatay olarak yere veya düz bir çatıya monte etmektir. Böylece modüllere 0°'lik bir eğim açısı verilmiş olur. Gelen güneş ışınları modüllere dik ulaşmadığından ışıınımdan maksimum derecede faydanılmamış olunur. Bu durumda maksimum üretimden daha düşük bir üretim yapmamıza sebep olur. Bu durumu teorik olarak açıklarsak, gelen güneş ışınları Şekil 2.16'da görüldüğü gibi gelen ışın ile düzlem arasındaki normalin sinüsü ile orantılıdır. Gelen güneş ışınları, elektrik üretimine en çok katkı sağlayan bir bileşen olduğundan eğim açısının dikkate alınması önemlidir.

Sistemin kurulduğu yerin enlemine göre güneş ışınlarının geliş açısı değişir. Bu yüzden güneş ışınlarının FV modül yüzeyine dik gelecek şekilde ayarlamak gerekir. Bunun içinde yatay yüzeye dik gelen ışınım (S_{yatay}) ile güneşten dik gelen ışınları (S_{gelen}) bilmek gerekmektedir. Bu bilgiler doğrultusunda FV modül üzerine dik düşen ışınları ($S_{modül}$) hesaplayabiliriz [23].



Şekil 2.18 FV Modül Üzerindeki Işınım Şekilleri

Matematiksel bağıntılardan aşağıdaki yaklaşımlar yapılabilir;

$$S_{yatay} = S_{gelen} * \sin(\alpha) \quad (2.16)$$

$$S_{modül} = S_{gelen} * \sin(\alpha + \beta) \quad (2.17)$$

Burada α güneşin yükseliş açısı olup,

$$\alpha = 90 - \phi + \delta \quad (2.18)$$

Burada ϕ enlem olup, δ deklinasyon açısıdır.

$$\delta = 23,45 * \sin \left[\frac{360}{365} * (284 + n) \right] \quad (2.19)$$

Burada n yılın ilk gününden itibaren kaçınıcı günde bulunduğumuzu belirten değişkendir. Yukarıdaki eşitlikleri kullanarak,

$$S_{modül} = \frac{S_{yatay} * \sin(\alpha + \beta)}{\sin(\alpha)} \quad (2.20)$$

Elazığ ilinde optimum eğim açısı yılın belli zamanlarına göre değişir. Güneş ışınlarının geliş açısı ve dolayısıyla optimal eğim açısı yılın her ayına göre hesaplanabilir. Elazığ ili için en uygun eğim açısı sonucu Çizelge 2.2’de listelenmiştir. Sistem sabit eğim açısına sahipse, en yüksek enerji çıkışını hangi açıda gösterdiğine bakarak en uygun eğim açısı

bulunur. Eğim açısı çeşitli faktörlere göre optimize edilebilir. Örneğin yaz ayı, yılın en yüksek toplam enerji çıkışıdır. Bu durum göz önünde bulunarak yaz ayına göre modül açılarının ortalama değeri alınıp hesaplama yapılır.

Çizelge 2.2 Elazığ İli için Aylara Göre Optimum FV Modül Açısı

Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
59,33	51,7	40,83	29	19,62	15,32	17,23	24,96	36,19	48,01	57,32	61,46

Modüllerin eğim açısı güneşin konumuna göre gün içinde değişecek şekilde izleme sistemleri ile monte edilebilir. Böylece modül tarafından toplanan toplam ışınım artırılır, ancak izleme sistemleri maliyetli olacağından ekonomik olarak fizibilite çalışmalarının yapılması gerekir.

Genellikle toplam enerji çıkışına ek olarak modülüne eğim açısına karar verirken diğer parametrelerin de dikkate alınması gerekir. Sistem zaten eğimli bir çatı üstüne monte edilmişse başka bir eğim açısına ulaşmak için ek montaj maliyeti artırır. Artan performansın ek masrafları telafi etmek için yeterince iyi olması gerekir, ki bu çoğu zaman geçerli değildir. Birçok durumda bir binanın estetiği, FV dizisinin eğim açısı için bir rol oynar. Düz bir çatı için istenen, binaya bakarken FV dizisinin görünmez olmasıdır. Çatının eğim açısı büyük olasılıkla en uygun açıda olmaz. Bazı FV dizileri de binanın cephesine monte edilmiştir. Bu durumda doğuya, güneye ya da batıya bakan bir binanın tüm alanları enerji üretimi için kullanılabilir. Cephe üzerine monte edilmiş modüllerin eğim açısı 90° olduğundan bu da performansı oldukça düşürmektedir. Özet olarak projelerde maliyet en önemli etkidir. Bu yüzden optimum eğim açısı her zaman seçilmez.

2.3 Fotovoltaik Sistem Tipleri

FV sistemi, basit FV modüllerinden karmaşık olan FV modüllerine kadar değişebilir. Basit bir FV sistemi formunun bir örneği, su pompasının motorunun doğrudan güneş enerjisi ile beslendiği güneş enerjili su pompası olabilir. Genellikle böyle bir sistem için depolama birimi yoktur. Daha karmaşık bir form ise, bir ev için güç sağlayan FV sistemidir. Genel olarak üç temel FV Sistemi vardır:

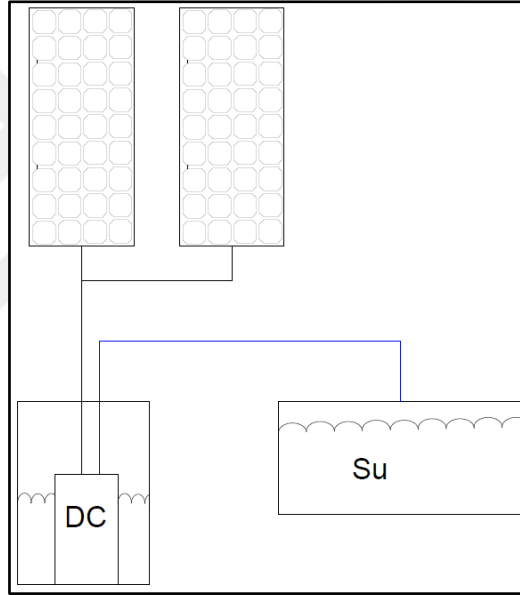
- Şebekeden Bağımsız FV Sistemi

- Şebekeye Bağlı FV Sistemi
- Hibrit FV Sistem [24]

Prensip, elemanlar ve işlev FV sistemlerinin tipleri için aynı kalır. Sistemler belirli enerji gereksinimlerini karşılamak için tasarlanmıştır. Çeşitli durumlar ana elemanların miktar ve tipi değiştirilerek yapılır.

2.3.1 Şebekeden Bağımsız FV Sistem

Şebekeden bağımsız FV sistem; FV modüller, yük, batarya ve invertörden oluşur. Şarj regülatörleri depolama sistemlerinde kullanılır. Bu sistem genellikle ulusal şebeke sistemine bağlı olmayan veya gücün düzensiz olduğu yerler için uygundur.



Şekil 2.19 Su Pompasına Güç Sağlamak için Kullanılan Basit FV Sistemi (DC)

2.3.2 Şebekeye Bağlı FV Sistem

Şebekeye bağlı FV sistemi invertörler aracılığıyla ulusal şebekeye bağlanan bağımsız FV sistemidir. Çoğu şebekeye bağlı sistemde üretilen enerji şebekeden kolayca çekildiği için depolama üniteleri yoktur. Üretilen elektrik miktarını hesaplamaya yardımcı olan bir ölçüm sistemi (sayaç) vardır.

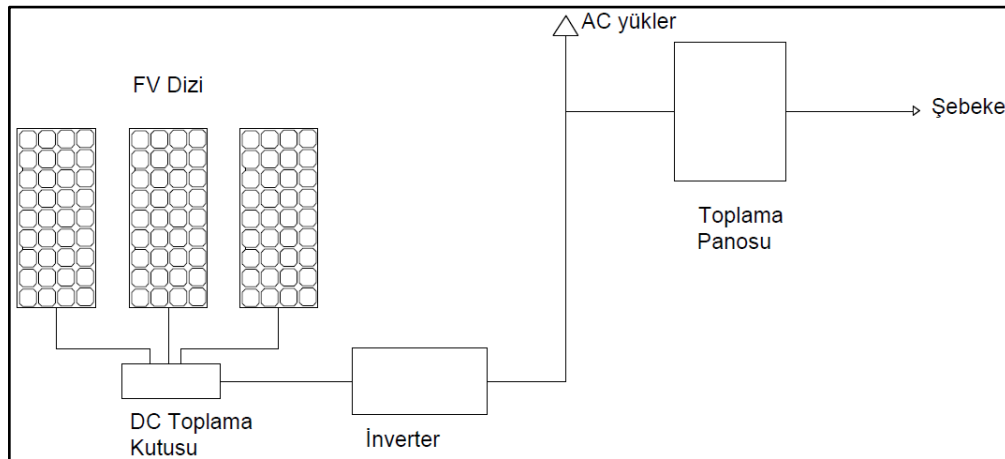
2.3.3 Hibrit Sistem

Hibrit sistemler güneş, rüzgar ve dizel enerjinin ikili veya üçlü kullanıldığı sistemlerdir. İkili ya da üçlü sistem uygulama yapılacak yerin iklim koşullarına ve imkanlarına göre seçilir. Bu tür uygulamalar genellikle yaz ve kış ayları boyunca enerjiye ihtiyacın olduğu ve enerji kesintisinin bir an bile olmaması gereken yerlerde kullanılır. Dolayısıyla yüksek güvenilirlik ve konfor sağlanır [24].

2.4 Fotovoltaik Sistem Bileşenleri

Günümüzde çok çeşitli farklı FV kurulumları, hibrit sistem, şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız sistem olmak üzere çeşitli şekillerde piyasada mevcuttur. FV sistemin ve başka bir enerji kaynağının (örneğin rüzgar ve hidroelektrik) bir kombinasyonu olarak hibrit sistemler giderek daha fazla ilgi çekmektedir.

Konfigürasyon ve kapasite ne olursa olsun herhangi bir FV sistemin çalışması fotovoltaik modüller, invertörler, transformatörler, şebeke sayaçları, performans izleme sistemi, montaj sistemi gibi önemli bileşenleri gerektirir. Şebekeye bağlı bir FV sisteminin basitleştirilmiş bir diyagramı aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 2.20 Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Sistem

Çalışmanın amacı şebekeye bağlı sistem olduğundan, temel işlevleri ve özellikleri ile tüm bileşenler aşağıdaki bölümlerde kısaca ele alınacaktır.

2.4.1 Fotovoltaik Modül

FV sistemin çekirdeği olan fotovoltaik modüller, fotovoltaik etki ile gelen güneş ışınlarından elektrik enerjisi üretir. Genellikle bir modülde seri olarak bağlanan, genellikle 60 veya 72 gibi çoklu güneş pilleri, ayrı metal kontaklara sahip iki bitişik yarı iletken tabakadan oluşur ve bu nedenle elektrotların fazlalığı ile elektronlar pozitif “p” katmanı ile negatif “n” katmanı yaratırlar. Konsantrasyondaki farklılığa bağlı olarak, elektronlar “n” den “p” alanına akarlar veya elektrik alan yaratırlar. Elektrik alan tarafından zorlanan serbest uyarılmış elektronlar, uzay yükü alanının dışında, aşırı enerjinin dağıtılacağı harici elektrik yüküne gider. Bir elektrik yükü bağlandığında güç devresi kapatılır; böylece elektronlar yük boyunca fotovoltaik hücrenin arka kontağına doğru akar ve daha sonra alan şarj bölgesine geri döner. Sonuç olarak, güneş pilleri sadece tek bir yönde akan doğru akım (DC) üretir ve daha sonra bir invertör tarafından alternatif akıma (AC) dönüştürülür.

Günümüzde silikon kristal veya ince film teknolojisi ile tek bağlantılı güneş pilleri ve çok bağlantılı güneş pilleri piyasada sunulmaktadır. Çok bağlantılı güneş hücrelerinin teorik olarak verimlilikleri daha yüksek olmasına rağmen, tek bağlantılı güneş pillerinin teorik maksimumlarının %33'üne kıyasla yaklaşık %87'si, karmaşık üretim süreci ve yüksek fiyat-performans oranı nedeniyle çok sınırlı kullanım alanına sahiptir.

Günümüzde bütün FV sistemlerde tek bağlantılı fotovoltaik modüller kullanılmaktadır [25]. FV modül teknolojisinin seçimi fiyat, verimlilik, kullanılabilirlik ve alana özgü göstergeler gibi faktörlerin karmaşıklığına bağlıdır. En yaygın kullanılan fotovoltaik teknolojiler silikon kristal ve ince film hücreleridir. Temel avantajlar ve dezavantajların özeti aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Çizelge 2.3 Farklı Fotovoltaik Teknolojilerin Avantaj ve Dezavantajları

PV Teknolojisi	Avantajlar	Dezavantajlar
<p>Monokristal Silikon (mono-Si) Pazar payının %36'sı</p> 	<p>*Verimlilik=%15-20 (günümüzde maksimum %21,5) *25 yıla kadar dayanıklılık *Alanın Verimli Kullanımı</p>	<p>*Yüksek maliyet *Sıcaklığa karşı aşırı hassasiyet (ortam sıcaklığı arttıkça performans önemli ölçüde azalır.) *Gölgelenme, kar ve kirliliğe karşı aşırı hassasiyet</p>
<p>Polikristal Silikon (p-Si) Pazar payının %55'i</p> 	<p>*Basit, düşük maliyet ve israfsız üretim süreci *Yüksek ortam sıcaklığına yüksek tolerans</p>	<p>*%13-16 verimlilik *Alanı verimsiz kullanma</p>
<p>İnce Film(TFSC) -Amorf Silikon(a-Si) -Kadmiyum Telluride(CdTe) -Bakır İndiyum Galyum -Selenide (CIS/CCIGS)</p> 	<p>*Düşük maliyet ve basit üretim süreci *Esnek konfigürasyonu ile farklı kurulum uygulamaları *Gölgeleme sorunu ve ortam sıcaklığı değişimleri için yüksek tolerans</p>	<p>*Düşük Verimlilik: %9-12 *Düşük alan verimliliği *Yüksek bozunma oranı</p>

Her FV teknolojisinin olumlu ve olumsuz yönleri farklı olduğu için potansiyel verimlilik ve fiyatları karşılaştırılarak herhangi bir FV kurulumu için en uygun seçenek olarak tek bir teknolojiyi seçmek zordur. Örneğin düşük verimliliğe rağmen ince film modüller, yer sorunu yoksa uygun bir seçenek olabilir. Uygun FV teknolojisinin seçimi, saha koşullarına ve sistemin maruz kalabileceği tüm olası sorunlara dayanmalıdır.

2.4.2 İnverter

İnverter, besleme giriş işlevini kullanan ve sistem çıkışının voltaj ve frekans değerleri açısından yerel şebeke ile uyumlu olması için FV dizisinden doğru akımı (DC) alternatif akıma (AC) dönüştüren kritik bir arabirim bileşenidir. İnverterler, bir FV sisteminin diğer bileşenleri olarak, sistem ve saha koşullarına göre seçilmelidir. Aşağıda inverter tiplerinin farklı FV sistemlerinde yaygın olarak kullanılan kullanım alanlarına değinilmektedir [26].

- 1) String İnvertör: Birden fazla dizi bir invertöre bağlanır. Gölgeleme sorunlarına karşı çok hassas olup aynı zamanda en ucuz sistemlerdir.

- 2) Merkezi İnvörtör: Birden fazla dizi DC toplama kutusu yardımıyla merkezi inverttere bağlanır. Merkezi invertörler modüllerde daha fazla dizileri destekler ve daha az bileşen bağlantısı gerektirir. Büyük FV sistemler için uygundurlar.
- 3) Mikroinvertörler: Bu invertör tipi her bir modüle ayrı ayrı bağlanır, yani FV modülde DC/AC dönüşümünü dağıtan ve performansını izleyen modül düzeyinde elektronik parçalardır. FV modüllerden birine gölge düştüğünde dizideki diğer FV modüller oluşan performans kayıplarından etkilenmezler.
- 4) Akü Temelli İnvörtörler: Akü şarj cihazı ve bir invertörden oluşan çift yönlü bir yapıya sahiptir. Bu invertörler aküleri şarj ederken, akü şarj durumunu izlemekte ve şebeke yükünden bağımsız olarak kritik yüklerin sürekli çalıştırılmasını, aynı zamanda dizi ve şebeke arasındaki enerjiyi yönetmektedir.

2.4.3 Trafo

Trafo, şebeke bağlı bir sistemdeki güç dağıtımında kritik bir bileşen olup, frekans ve güçte herhangi bir değişiklik yapmadan akım ve gerilimi değiştiren ve aynı zamanda hiçbir hareketli parçası olmayan bir elektrik makinesidir. Transformatörler ya gerilimi şebekeye yönlendirir ya da şebeke gerilimini bireysel yüklere indirir. Bir transformatörün çalışma prensibi elektromanyetik indüksiyona dayanır. Elektrik akımı birincil sargılardan (giriş) geçer ve belirli manyetik akı ile manyetik alan üretir. Manyetik akı, transformatör göbeğinden ikincil sargılara (çıkış) geçer ve elektromanyetik kuvvete (EMF) yardımıyla gerilim oluşur.

Trafo merkezleri yeraltına elektrik bağlantıları ile monte edilebilir, iç mekanada monte edilebilir veya tel örgülü çitle kapatılabilir. Soğutma tipine göre transformatörler kuru tip transformatörler ve yağlı tip transformatörler olmak üzere iki çeşittir [27].

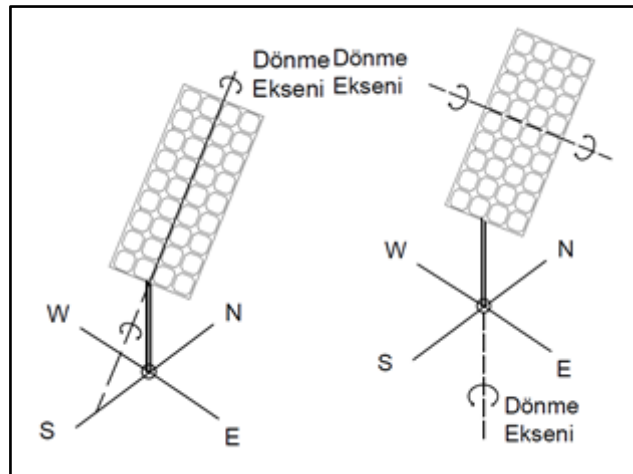
2.4.4 Sayaç

Sayaçlar, sistem tarafından ne kadar enerji kullanıldığını ve şebekeye ne kadar enerji verildiğini ölçer. Harcanan enerji üretilen enerjiyi aştığı zaman dilimlerinde, örneğin gece boyunca, otomatikmen şebekeden enerji sağlanır. Aksi takdirde üretilen enerji tüketilen enerjiden fazla olduğu zaman enerji akışı şebekeye doğru olur.

2.4.5 Montaj Sistemi

Bir FV sisteminin montaj tipi kurulum yapılacak alana bağlıdır. Sistemin kurulduğu arazi kayalık ise kullanılacak olan sistem beton ayak olmalıdır. Eğer sistemin kurulduğu arazi toprak ise kullanılacak olan sistem çakma ayak olmalıdır. Elazığ bölgesinde kurulan Güneş Enerjisi Santrali uygulamasında arazi yapısı toprak olduğundan çakma ayak sistem kullanılmıştır. Uygulanan FV sistem, zemine monte edilmiş bir sistem olduğundan çeşitli avantajları ve dezavantajları vardır. Zemine monte edilmiş sistemlerde topraklama bağlantısı fotovoltaik modüllerin hava tarafından doğal konveksiyon yoluyla aşırı ısınmasını önler. Ayrıca zemine monte sistemler güvenli bir şekilde monte edilir ve bakım çalışmaları kolayca yapılır. Montaj, eğim açısına göre optimize edilebilir. Fakat gölgelenmeyi önlemek amacıyla sehpalar arasında belli bir mesafe bırakılmalıdır. Bu da fazla alan gereksinime yol açacağından bir dezavantajdır [26].

Ayrıca, zemin montajında modüller güneşe her zaman baktığından ve maksimum ışınım miktarını aldığından, izleme sistemi ile daha avantajlı hale getirilebilir. Tek ve çift eksenli izleme en yaygın kullanılanlardır. Şekil 2.19'dan görülebileceği gibi tek eksenli izleyici, FV modüllerin güneşi doğudan batıya doğru takip etmesine izin verirken çift eksenli izleyici, güneşin doğu-batı hareketini açısal yüksekliği ile birlikte izleyebilmektedir.



Şekil 2.21 Tek ve Çift Eksenli İzleme Sistemi

MATERYAL VE METOT**3.1 Fotovoltaik Sistem Tasarımı**

Bu bölümde kurulumu gerçekleştirilen FV Güneş Enerji Santrali'nde kullanılan donanım elemanları ve bu elemanların teknik özellikleri incelenmiştir.

3.1.1 Fotovoltaik Modül

Bu çalışmada CW firmasının CWT270-60PP adlı 270Wp değerindeki polikristal güneş modülü kullanılmıştır. Kullanılan modüle ait elektriksel özellikler Çizelge 3.1'de gösterilmektedir. Modül bilgileri detaylı olarak Ek-A'da verilmiştir.

Çizelge 3.1 FV Sistemde Kullanılan Modüle Ait Elektriksel Özellikler

MODÜLE AİT ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER	
Maksimum Güç (P_{max})	270Wp
Maksimum Güç Gerilimi (V_{mp})	32,22 V
Maksimum Güç Akımı (I_{mp})	8,4 A
Açık Devre Gerilimi (V_{oc})	38,1 V
Kısa Devre Akımı (I_{sc})	8,94 A
I_{sc} Sıcaklık Katsayısı ($T_{katsayı I_{sc}}$)	0,06 %/°C
V_{oc} Sıcaklık Katsayısı ($T_{katsayı V_{oc}}$)	-0,34 %/°C
P_{max} Sıcaklık Katsayısı ($T_{katsayı P_{max}}$)	-0,44 %/°C

3.1.2 İverter

Bu çalışmada Huawei firmasının SUN2000-36KTL adlı 36 kW değerindeki string inverteri kullanılmıştır. Kullanılan FV modüle ait elektriksel özellikler Çizelge 3.2’de gösterilmektedir. İverter bilgileri detaylı olarak Ek-B’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 FV Sistemde Kullanılan İvertere Ait Elektriksel Özellikler

İNVERTER ÖZELLİKLERİ	
Maksimum DC Güç ($\cos\phi=1$)	40,8 kW
Maksimum Giriş Gerilimi	1000 V
MPP Voltaj Aralığı	480V-850V
MPP Sayısı	4
MPP Dizi Giriş Sayısı	A2-B2-C2-D2
Giriş Gerilimi	200V
Maksimum Giriş Akımı	4x22A
Nominal Güç (25°C/50°C, 50Hz)	36 kW
Maksimum Güç (25°C/50°C, 50Hz)	40 kW
Nominal AC frekans/gerilim	50 Hz/400V
Maksimum AC Akım	57,8 A

3.1.3 Dizi Hesabı

İlk olarak FV modülve inverterlerin özellikleri belirtilecek ve daha sonra kullanılacak FV modül sayısı ve konfigürasyonubelirlenecektir.

Hesaplamalar sistemin kurulduğu bölgenin özellikleri dikkate alınarak yapılacaktır. Hesaplamalarda kullanılanhava durumu verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğünün İl ve İlçeye ait istatistiki veriler bölümünden elde edilmiştir [28].

Çizelge 3.3’e göre Elazığ ili için en düşük sıcaklık -22,6°C iken en yüksek sıcaklık 42,2°C ‘dir.

Çizelge 3.3’de yer alan en düşük sıcaklık akşam saatlerinde alınan bir değerdir. Güneş enerji sisteminde akşam saatlerinde bir enerji akışı olmadığı için bu değer çok kritik bir değer değildir. Burada önemli olan ortalamanın üzerinde bir değer alarak hesapları güvenli yapabilmektir.

Çizelge 3.3 Elazığ İli için Ortalama Sıcaklık Değerleri

ELAZIĞ	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1938-2017)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	-1,0	0,5	5,4	11,9	17,1	22,7	27,1	26,9	22,0	14,8	7,4	1,8	13,1
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	2,8	4,8	10,7	17,7	23,5	29,6	34,1	34,1	29,3	21,43	12,6	5,5	18,8
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-4,0	-3,1	0,7	6,3	10,8	15,3	19,3	19,2	14,5	8,8	3,1	-1,3	7,5
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2,5	3,5	4,9	6,4	8,7	11,0	11,6	10,9	9,2	6,7	4,4	2,3	82,1
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12,1	11,5	12,4	12,3	10,9	4,0	1,1	0,7	2,2	7,2	9,1	11,6	95,1
Aylık Toplam Yağış Miktarı	40,4	42,4	53,7	63,8	51,2	11,6	2,3	0,8	7,9	40,6	48,7	43,3	406,7
Ortalama (mm)	Ölçüm Periyodu (1938-2017)												
En Yüksek Sıcaklık (°C)	12,4	18,6	26,4	32,2	34,4	38,6	42,2	41,3	37,8	32,1	24,3	24,6	42,2
En Düşük Sıcaklık (°C)	-22,6	-21,4	-17,0	-7,0	0,0	4,0	6,7	7,4	1,0	-2,2	-15,2	-22,6	-22,6

Ortam sıcaklığı en düşük değere sahip olduğunda FV modülün açık devre gerilim değeri en yüksek seviyede olur. Aşağıda modüllerin seri olarak bağlanabileceği maksimum modülsayısı hesaplanmaktadır. Hesaplanan U_L değeri ortam sıcaklığının en düşük değere sahip olduğu anda modül üzerinde oluşan açık devre gerilimidir.

$$\Delta t = T - T_{stc} \quad (3.1)$$

$$U_{L(\text{Modül düşük sıcaklık değeri: } -22,6^\circ \text{ C})} = \Delta t * T_{\text{katsayı } V_{oc}} * V_{oc} + V_{oc} \quad (3.2)$$

$$U_{L(\text{Modül düşük sıcaklık değeri: } -22,6^\circ \text{ C})} = (-22,6 - 25) * (-0,0034 * 38,1) \text{ V}/^\circ\text{C} + 38,1$$

$$U_{L(\text{Modül düşük sıcaklık değeri: } -22,6^\circ \text{ C})} = 44,27 \text{ V}$$

Her modülün sıcaklık katsayısı değişiklik göstermektedir. Çizelge 3.1'de açık devre geriliminin sıcaklık katsayı değeri ($T_{\text{katsayı } V_{oc}}$), $-0,34 \text{ } \%/^\circ\text{C}$ 'dir. Bu değer gerilim olarak değeri ise $-0,0034 \text{ } \%/^\circ\text{C}$ 'dir.

Modüllerin maksimum DC geriliminin, inverterin maksimum giriş gerilimini ve maksimum MPP gerilim değerini geçmemesi gerekmektedir. Çizelge 3.1 incelendiğinde inverterin maksimum DC gerilimi 1000 V 'tur. Seri olarak bağlanabilecek maksimum modül sayısı (n_{seri}),

$$n_{\text{seri}} = \frac{\text{Inverter Maksimum DC Giriş Gerilimi}}{U_{L(\text{Modül düşük sıcaklık değeri: } -22,6^\circ \text{ C})}} = \frac{1000 \text{ V}}{44,27 \text{ V}} = 22,5 \quad (3.3)$$

Hesaplamalara göre seri olarak maksimum 22 modül bağlanabileceği bulundu.

Ortam sıcaklığının en yüksek değere sahip olduğunda FV modüllerin açık devre gerilim değeri en düşük seviyede olur. Bir önceki işlemde seri olarak bağlanabilecek maksimum modül sayısı hesaplandı. Aşağıda belirtilen formül yardımıyla FV modülün minimum gerilim değerini hesaplayacağız. Hesaplanan V_{mp} değeri ortam sıcaklığının en yüksek olduğu zamanki modülün MPP gerilim gerilimidir.

$$U_{mp(\text{Modül yüksek sıcaklık değeri: } 75^\circ \text{ C})} = \Delta t * T_{\text{katsayı } V_{oc}} * V_{oc} + V_{mp} \quad (3.4)$$

$$U_{mp(\text{Modül yüksek sıcaklık değeri: } 75^\circ \text{ C})} = (80 - 25) * (-0,0034 * 38,1) \text{ V}/^\circ\text{C} + 32,22$$

$$U_{mp(\text{Modül yüksek sıcaklık değeri: } 75^\circ \text{ C})} = 25,1 \text{ V}$$

FV Güneş Enerjisi Santrali kurulumunda bir dizide 20 adet modül kullanılacağı belirtilmişti. Modül sıcaklığının bulunan ortam sıcaklıklarından daha fazla olacağı

unutulmamalıdır. Bu yüzden hesaplamalar yapılırken sıcaklık 80 °C olarak hesaplandı. Modüllerde oluşan minimum DC gerilim değerinin inverterin minimum MPP gerilim değerinin altına düşmemesi gerekmektedir.

Sistemin minimum DC giriş gerilimi = 20 * 25,1 V = 502 V olarak bulunur. İnverter minimum MPP gerilimi 480 V olduğundan sistem istenen sınırlar içindedir.

Oluşabilecek en yüksek akım, 70°C 'deki kısa devre akımıdır.

$$\Delta t * T_{\text{katsayı } I_{sc}} = (70 - 25) * 0,0006 = 0,027 \quad (3.5)$$

$$I_{70^{\circ}\text{C}} = I_{sc} * 1,027 \quad (3.6)$$

$$I_{70^{\circ}\text{C}} = 8,94 * 1,027$$

$$I_{70^{\circ}\text{C}} = 9,18 \text{ A} \quad (1 \text{ adet FV modülde oluşabilecek maksimum akım})$$

MPPT girişine 4 adet dizi bağlandığından ,

$$9,18 * 4 = 36,72 \text{ A} , \text{ MPPT girişlerinin zarar görmemesi için;}$$

Maksimum Giriş Akımı (MPPT) $\geq 36,72 \text{ A}$ olmalıdır.

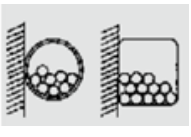
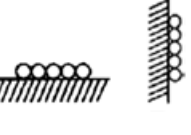
3.1.4 DC Kabloların Seçimi

FV sistemlerde solar kablolar seçilirken güç kayıpları, gerilim düşümleri ve kablunun akım taşıma kapasiteleri göz önünde bulundurularak seçim yapılmaktadır.

Çizelge 3.4 Solar Kablo Özellikleri

Solar Kablo Katalog Bilgileri						
Kablo Tipi	Kablo Kesiti (mm ²)	İletken Çapı (mm)	Taşıma Kapasitesi (A)	Direnç (20°C)(Ω/km)	Anma Gerilim(V)	Çalışma Sıcaklığı(°C)
FV1-F	2,5	1,9	41	8,21	1000	-40°C / +120°C
FV1-F	4	2,4	55	5,09	1000	-40°C / +120°C
FV1-F	6	2.9	70	3,39	1000	-40°C / +120°C
FV1-F	10	4,0	98	1,95	1000	-40°C / +120°C

Çizelge 3.5 Tek Damarlı Kablolar için Düzeltme Faktörleri

DÖŞEME ŞEKLİ	SİSTEM SAYISI															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	
	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,48	0,45	0,43	0,41	0,39	0,38	
	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,71	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	

Çizelge 3.6 Kabloda İzin Verilen veya Önerilen Çalışma Sıcaklığı Katsayı Değerleri

Ortam Sıcaklığı	Kabloda İzin Verilen veya Önerilen Çalışma Sıcaklığı					
	40 °C	60 °C	70 °C	80 °C	85 °C	90 °C
30 °C	1	1	1	1	1	1
35 °C	0,71	0,91	0,95	0,95	0,95	0,96
40 °C		0,82	0,89	0,89	0,95	0,91
45 °C		0,71	0,84	0,84	0,9	0,87
50 °C		0,58	0,77	0,77	0,85	0,82
55 °C		0,41	0,71	0,71		0,76
60 °C			0,63	0,63		0,71
65 °C			0,55	0,55		0,65
70 °C			0,45	0,45		0,58
75 °C						0,5
80 °C						0,41
85 °C						0,29

VDE 0100 Bölüm 712 (IEC 60364-7-712)'e göre; kablunun akım kapasitesi STC altında kısa devre akımının 1,25 katına eşit olduğu takdirde FV sistem için aşırı yük korumasına gerek kalmaz. Koruma sınıfı II modülleri kullanıldığında, tesisatın topraklanmış ve kısa devreye karşı güvenli yapılmış olması yeterlidir.

$$I_{\max} = 1,25 * I_{sc} \quad (3.7)$$

$$I_{\max} = 1,25 * 8,94$$

$$I_{\max} = 11,175 \text{ A}$$

Çizelge 3.4'te solar kabloya ait teknik özellikler gösterilmektedir. Bu bilgiler dahilinde FV sistemde kullanacağımız 6 mm² FV1-F kablosunun akım taşıma kapasitesi 70 A'dir [29]. Çizelge 3.5'de kablolar için yerleşim şekline göre düzeltme faktörleri belirtilmiştir. Uygulamada birçok kablo sık şekilde yanyana ve üstü üste dizileceğinden bu durum için

kullanılacak düzeltme faktörü 0,38 olarak alınır. Çizelge 3.6'da ise kabloların çalışma sıcaklıklarına göre düzeltme faktörleri gösterilmiştir. 55°C ortam sıcaklığında FV1-F kablo için izin verilen 90°C sıcaklığı için 0,76 değeri kullanılır [30]. Aşağıda belirtilen I_k değeri kablo akım taşıma kapasitesini belirtirken, F_t değeri sıcaklık faktörünü, F_d ise düzeltme faktörünü göstermektedir.

6 mm² FV1-F kablo için akım taşıma değeri;

$$I_{TK} = I_k * F_t * F_d \quad (3.8)$$

$$I_{TK} = 70 * 0,38 * 0,76$$

$$I_{TK} = 20,2 \text{ A}$$

20,2 A > 11,175 A olduğundan seçilen kablo kesiti hem akım taşıma kapasitesi ve hem de sıcaklık faktörü ve kablo dizilim şekline göre düzeltme faktörü açısından uygundur.

FV sistemde kullanılan solar kablolar gerilim düşümü %1'i geçmeyecek şekilde seçilmiştir. Böylece, kayıplar azaltılarak daha fazla üretim yapılması sağlanmıştır.

Aşağıda 270 Wp'lik FV modüller ile oluşturulan 20'li bir dizinin maksimum 105 m uzağında bulunan bir inverter ile bağlantısını sağlayabilmek için, hesaplamada kullanılması gereken değerler verilmiştir. R direnç, r_b bakır öz direnci, d_k kablo uzunluğu, A_k ise kablo kesiti olarak tanımlanmıştır.

$$R = \frac{r_b * d_k(m)}{A_k(\text{mm}^2)} \quad (3.9)$$

$$R = \frac{0,0178 * 105}{6}$$

$$R = 0,3115 \Omega$$

Dizide oluşan gerilim değeri (V_{dizi}),

$$V_{dizi} = n_{seri} * V_{mp} \quad (3.10)$$

$$V_{dizi} = 20 * 32,22$$

$$V_{dizi} = 644,4 \text{ V}$$

Gerilim düşümü (e);

$$e = R * I_{mp} \quad (3.11)$$

$$e = 0,3115 * 8,4$$

$$e = 2,6166 \text{ V}$$

Yüzde gerilim düşümü (%e);

$$\%e = \frac{e * 100}{V_{dizi}} \quad (3.12)$$

$$\%e = \frac{2,6166 * 100}{644,4}$$

$$\%e = 0,4$$

0,4 < 1 olduğundan 105 m uzunluğunda 6 mm²'lik solar kablonun kullanılması uygundur.

3.1.5 Sistem Bağlantısı

Sahada kullanılan tüm inverterlerin güçleri aynıdır. Sahada bulunan inverter ile ana dağıtım panosu arasında kullanılan kablo iletkeni bakır olarak seçilmiştir. Yine burada da AC kabloların seçimi yapılırken tıpkı DC kablolarda olduğu gibi gerilim düşümü ve akım taşıma kapasiteleri ayrı ayrı hesaplanmaktadır.

Toprak sıcaklığı ve yalıtkan malzemeye göre düzeltme faktörleri Çizelge 3.7'de verilmiştir.

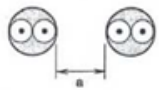
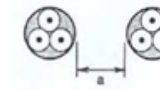
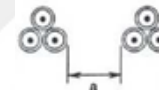

Çizelge 3.7 Farklı Hava Sıcaklıklarında Toprakta Kanal İçine Döşenmiş Kablolar için Düzeltme Faktörleri

Toprak Sıcaklığı (°C)	Yalıtım	
	PVC	XLPE veya EPR
10	1,10	1,07
15	1,05	1,04
20	1,00	1,00
25	0,95	0,96
30	0,69	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85

Kablo devre sayısına ve kablolar arası açıklığa göre düzeltme faktörleri değişiklik göstermektedir.

Bu değişiklikler Çizelge 3.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.8 Doğrudan Toprağa Gömülü Kablolar İçin Zayıflatma Faktörleri

Devre Sayısı	Kablolar Arası Açıklık (a)				
	Kablolar birbirine temas halinde	Bir kablo çapı kadar mesafe	0,125 m	0,25 m	0,5 m
2	0,75	0,80	0,85	0,90	0,90
3	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
4	0,60	0,60	0,70	0,75	0,80
5	0,55	0,55	0,65	0,70	0,80
6	0,50	0,55	0,60	0,70	0,80
Çok damarlı kablolar					
 					
Tek damarlı kablolar					
 					

Seçilen inverter üç fazlı on-grid inverter olduğu için inverter üreticiler tarafından 5 damarlı bakır kablo kullanılmasını tercih edilmektedir.

İnverter ile saha toplama panosu arasında 5x25 mm² NYY kablo kullanılmıştır. Ek-C'de yer alan NYY kablo kataloğuna göre 25 mm² kesitli kablo akım taşıma değeri 155 A'dir [31]. Tasarım sıcaklığı 20°C için 1 alınmıştır. 4 adet kablo aralarında 0,5 m bırakılarak tek tabaka olarak döşenecektir. Çizelge 3.8'den zayıflatma faktörü 0,8'dir.

Kablonun akım taşıma değeri,

$$I_{TK} = I_k * F_t * F_d \quad (3.13)$$

$$I_{TK} = 155 * 1 * 0,8$$

$$I_{TK} = 124 \text{ A}$$

Projede kullanılan inverterler, inverter toplama panosuna maksimum 70 m mesafededir. Buna göre bu kablonun,

$$I_{inv} = \frac{P_{inv} (W)}{\sqrt{3} * 400 \text{ V}} \quad (3.14)$$

$$I_{inv} = \frac{36.000}{\sqrt{3} * 400 \text{ V}}$$

$$I_{inv} = 51,96 \text{ A}$$

$I_{TK} > I_{inv}$ olduğundan akım taşıması yönünden seçilen kablo uygundur. P_{inv} , inverter nominal gücü olarak tanımlanmıştır.

Gerilim düşümünü hesaplayacak olursak,

$$\%e = 100 * \frac{d_k(m) * r_b * P_{inv}(W)}{A_k(mm^2) * (400^2)} \quad (3.15)$$

$$\%e = 100 * \frac{70 * 0,0178 * 36.000}{25 * (400^2)}$$

$$\%e = 1,12$$

TEDAŞ, AC kablolar için gerilim düşümlerinde %3'e kadar izin vermektedir. Fakat santralden optimum derecede faydalanmak için kayıplar olduğunca düşük tutulmalıdır. Elazığ ilinde uygulanan Güneş Enerji Santrali'nde AC kayıplar maksimum %1,2 seviyesinde olacak şekilde seçilmiştir. Inverter ile saha toplama panoları arasında 5x25 mm² NYY kablolar kullanılmıştır.

Fakat sahada bulunan saha toplama panoları ile ana dağıtım panosu arasında kullanılan kablo iletkeni hem maliyet açısından hem de bakır kablolarla göre pek bir farkı olmadığından alüminyum olarak seçilmiştir. Çalışmada saha toplama panosu ile ana dağıtım panosu arasında 3x(4x240) mm² NAYY kablo kullanılmıştır. Ek-D'de yer alan NAYY kablo kataloğuna baktığımızda 240 mm² kesitli kablo akım taşıma değeri 332 A'dir [32]. Tasarım sıcaklığı 20 °C için 1 alınmıştır. 3 adet kablo aralarında 0,5 m bırakılarak tek tabaka olarak döşenecektir. Çizelge 3.8'den zayıflatma faktörü 0,85 olur.

Kablonun akım taşıma kapasitesi,

$$I_{TK} = I_k * F_t * F_d \quad (3.16)$$

$$I_{TK} = 332 * 1 * 0,85$$

$$I_{TK} = 282,2 \text{ A}$$

Projede kullanılan inverterler, inverter toplama panosuna maksimum 70m mesafededir. Buna göre bu kablonun,

$$I_{pano} = \frac{P_{pano} (W)}{\sqrt{3} * 400 \text{ V}} \quad (3.17)$$

$$I_{\text{pano}} = \frac{320.000}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V}}$$

$$I_{\text{pano}} = 461,88 \text{ A}$$

$$I_{\text{pano}} = \frac{461,88}{3} = 115,47 \text{ A}$$

$I_{\text{TK}} > I_{\text{pano}}$ olduğundan akım taşıması yönünden seçilen kablo uygundur.

Gerilim düşümünü hesaplayacak olursak,

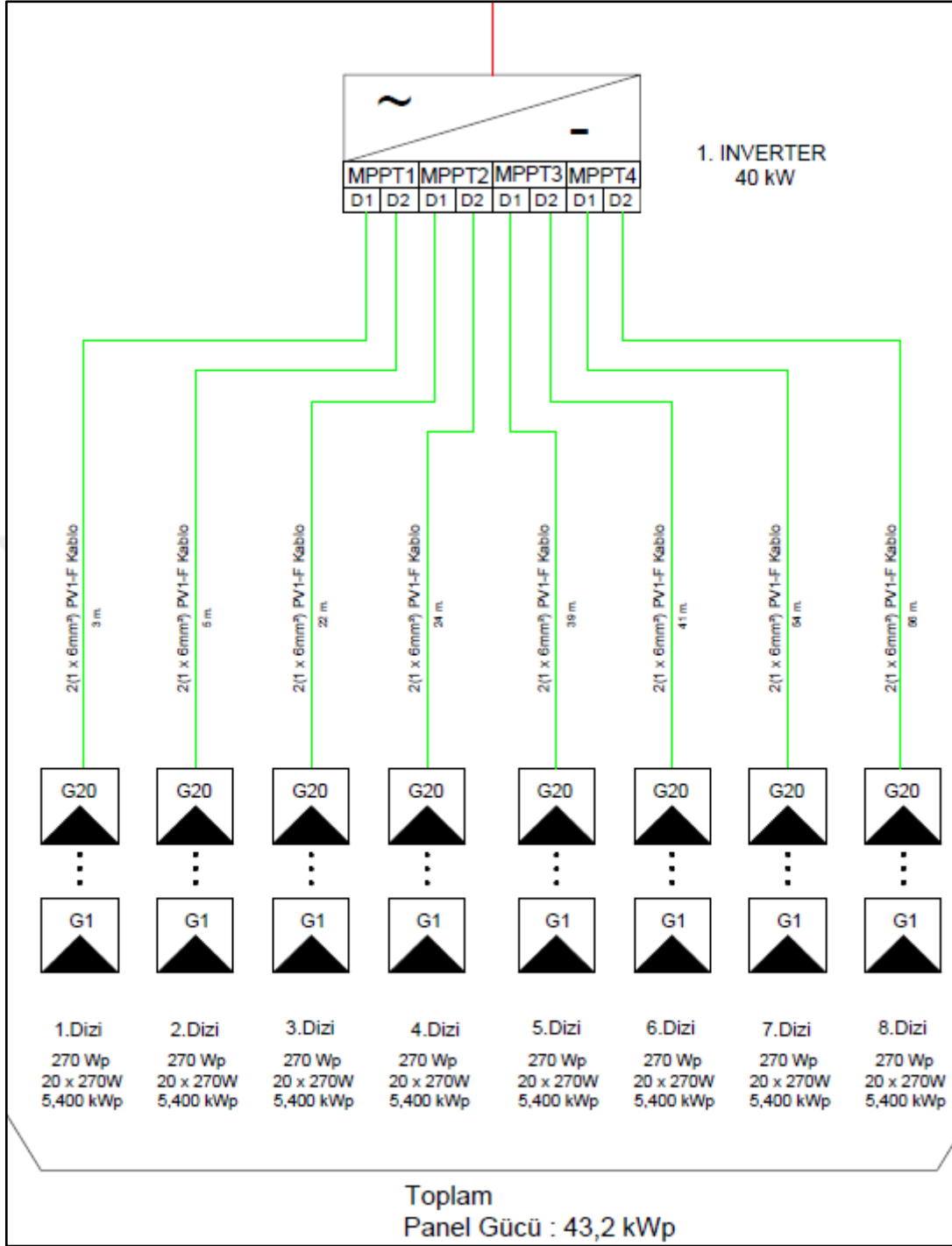
$$\%e = 100 * \frac{d_k(\text{m}) * r_{\text{Al}}(0,0282) * P_{\text{pano}}(\text{W})}{A_k(\text{mm}^2) * (\text{Gerilim}(\text{V})^2)} \quad (3.18)$$

$$\%e = 100 * \frac{107 * 0,0282 * 320.000}{240 * (400^2)}$$

$$\%e = 2,5$$

Kurulan santralde AC kayıplar maksimum %2,5 seviyesinde olacak şekilde seçilmiştir. Dolayısı ile saha toplama panoları ile ana dağıtım panosu arasında $3 \times (4 \times 240) \text{mm}^2$ NAYY kablolarının kullanılmasının uygun olduğu görülmüştür.

Santralde 24 adet inverter 8'erli olmak üzere 3 gruba ayrılmıştır. Her gruptaki inverter birleşerek saha toplama panosuna bağlanmıştır. Toplamda 3 adet saha toplama panosu, 1 adet ana dağıtım panosuna birleştirilmiştir. Ana dağıtım panosu da 1250 kVA gücündeki hermetik tip trafoya bağlanmıştır.

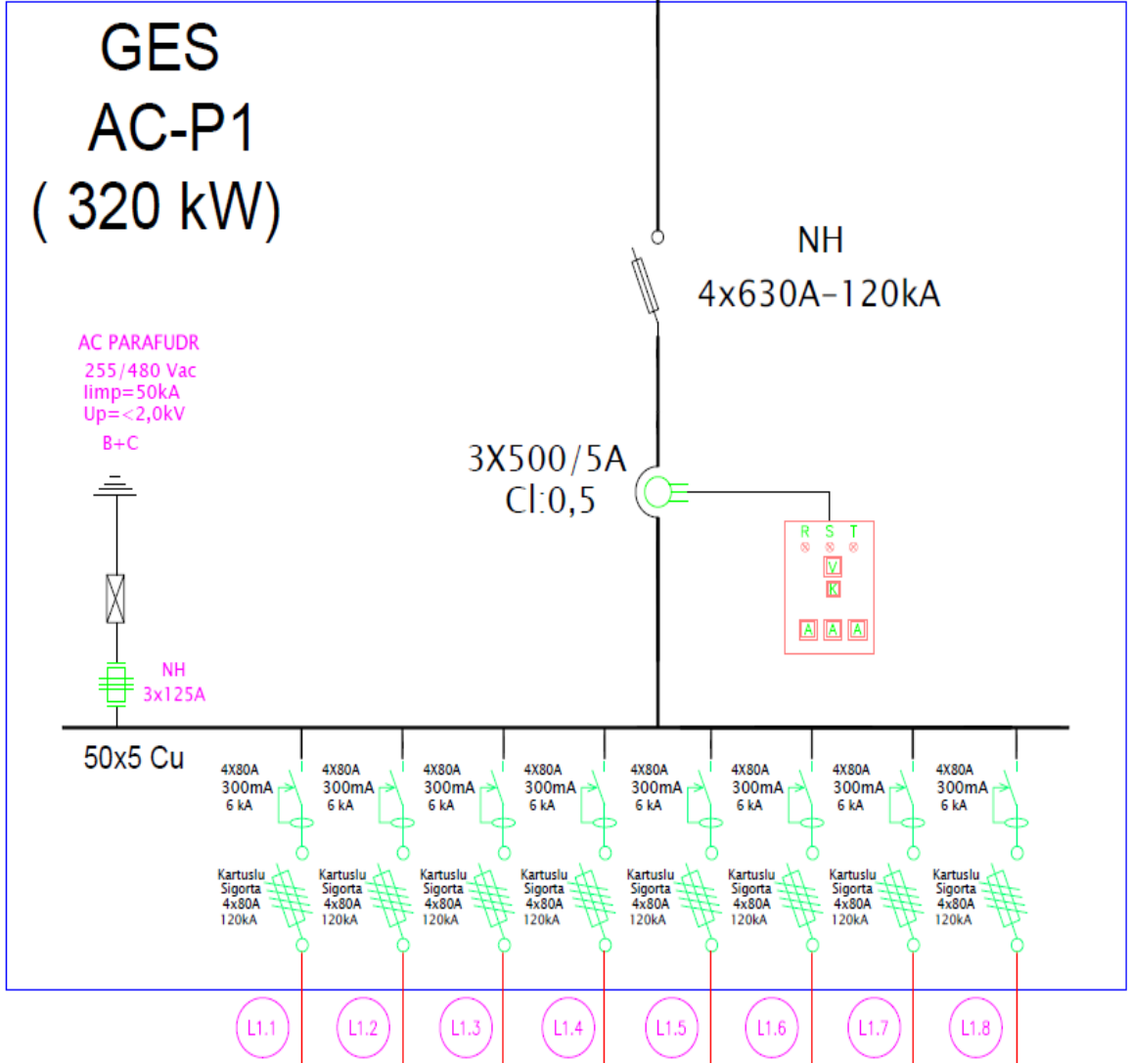


Şekil 3.1 İnverter Bağlantısı Tek Hat Şeması

Çizelge 3.1’de kullanılacak FV modülün dizi sayısı ve invertere bağlanacak dizi sayısı gösterilmektedir.

Şekil 3.2’de sistemde kullanılan inverlerin 8’erli gruplar halinde saha toplama panolarında nasıl birleştirildiği gösterilmiştir. Her bir inverterin korunması için 4x80 A

değerinde kartuşlu sigorta, tesisatın yangına karşı korunmasının sağlanabilmesi için 300 mA eşikli hata akımı koruma şalteri kullanılmıştır.



Şekil 3.2 Saha Toplama Panosu Tek Hat Şeması

Burada kullanılacak ekipmanlaraşağıda uygulanan formüllere göre seçilirler.

36 kW'lık bir inverterin maksimum AC çıkış akımı,

$$I_{inv} = \frac{P_{inv}(W)}{\sqrt{3} * 400 V} \quad (3.19)$$

$$I_{inv} = \frac{36.000}{\sqrt{3} * 400 V}$$

$$I_{inv} = 51,96 A$$

olduğu daha önce de hesaplanmıştı.

Sistemde kullanılan kartuşlu sigortanın nominal akımın üzerinde %25 daha fazla yüklenebileceği göz önünde bulundurularak;

$$I_{\max} = 51,96 * 1,25 \quad (3.20)$$

$I_{\max} = 64,95$ A olarak bulunmuştur.

Piyasada 64,95 A'lık bir koruyucu ekipman bulunamayacağı için normal standartlarda üretilmiş 80 A'lık bir sigorta ve hata akımı koruma şalteri kullanılması uygundur. Ayrıca yapılan kısa devre hesabı neticesinde AG barasında maksimum 65,28 kA kısa devre akımı oluşabileceği öngörülmüştür. Dolayısıyla alçak gerilim tarafında bulunan ekipmanların kısa devre dayanımlarının bu değerin üstünde olması gerekmektedir. Bu bakımdan inverter sigortaları 120 kA olarak seçilmiştir.

8 adet inverter, aynı baraya paralel olarak bağlanır. Daha sonra tek bir noktadan çıkış sağlanır. Dolayısıyla çıkış noktasında bulunan iletkenin ve panonun da korunması gerekmektedir. Bunun için,

$$I_{\text{pano}} = \frac{P_{\text{pano}} (W)}{\sqrt{3} * 400 V} \quad (3.21)$$

$$I_{\text{pano}} = \frac{320.000}{\sqrt{3} * 400 V}$$

$$I_{\text{pano}} = 461,88 \text{ A}$$

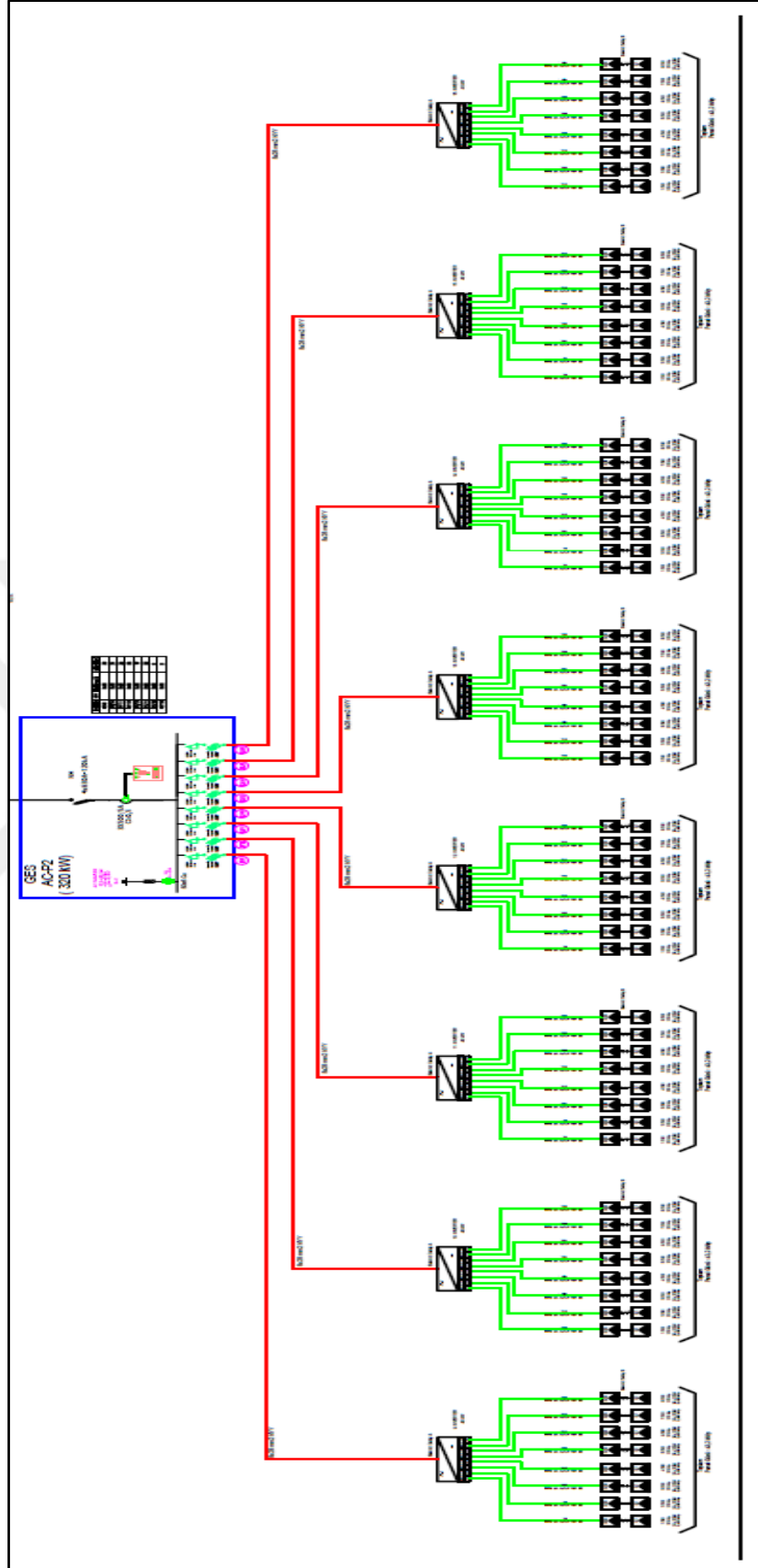
Sistemde kullanılan ekipmanların %25 daha fazla yüklenebileceği göz önünde bulundurularak;

$$I_{\max} = 461,88 * 1,25 \quad (3.22)$$

$$I_{\max} = 577,35 \text{ A}$$

Elde edilen sonuçlara göre piyasada standart üretimi yapılan 630 A'lık NH bıçaklı sigorta kullanılması uygundur.

Şekil 3.3'te 8 adet inverter gurubuna ait saha toplama panosunun FV modüller ile birlikte tek hat şeması belirtilmiştir.



Şekil 3.3 Saha Toplama Panosunun FV Modüller İle Birlikte Tek Hat Şeması

Saha toplama panosu ile ana dağıtım panoları arasında kullanılan kablo iletkeni alüminyum olduğu için oluşabilecek oksitlenmeyi önlemek adına sigorta çıkışına bimetal kablo pabucu takılarak ana dağıtım panosu ile irtibatlanması sağlanmıştır. Bimetal kablo pabucu oksitlemeyi önlemek amacıyla kullanılmıştır. Ana dağıtım panosuna ait tek hat şeması Şekil 3.4'te gösterilmektedir.

Burada, 3 adet saha toplama panosuna ait 3 adet 4x630 A'lik termik manyetik şalter, ana dağıtım panosunun barası ile irtibatlandırılmıştır. Sistemde kullanılan tüm sigorta ve şalterler 4 kutuplu (3 faz, 1 nötr) olacak şekilde seçilmiştir. Böylece olası bir arıza durumunda nötr üzerinden geçen aşırı akıma karşı bir koruma sağlanmış olur.

FV Güneş Enerji Santralin'in toplam kurulu AC gücü 960 kW olduğu için ana dağıtım panosunda kullanılacak termik manyetik şalter, bu güç değerine ve barada oluşabilecek kısa devre akımına göre seçilmelidir.

Ana dağıtım panosundaki nominal akım değeri,

$$I_{\text{anadağıtımpano}} = \frac{P_{\text{anadağıtımpano}}(W)}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V}} \quad (3.23)$$

$$I_{\text{anadağıtımpano}} = \frac{960.000}{\sqrt{3} \cdot 400}$$

$$I_{\text{anadağıtımpano}} = 1385,64 \text{ A}$$

Katalog değerlerine baktığımızda bu akım değerine en uygun katalog değeri 2000 A olan termik manyetik şalterdir. Dolayısıyla 2000 A termik manyetik şalter kullanılmıştır. Burada termik manyetik şalter kullanmamızın sebebi AG tarafında şebekede elektrik olmaması durumunda ve şebekede elektrik olduğundada santrali tekrar aktif etmesi için bir röle kullanılmasının gerekli olduğundandır. Yani santralin bağlı olduğu hat üzerinde bir operasyon yapılacağı zaman hattın bağlı olduğu fider beslemesi kapatılır. Fakat FV Güneş Enerji Santral'i aynı hat üzerindeyse ve çalışıyorsa ters yönlü bir besleme olacağından bu da insan güvenliği açısından çeşitli tehlikelere yol açar.

Ana dağıtım panosunda ayrıca bir adet acil stop butonu eklenmiştir. Böylece acil bir durumda tüm sistem devre dışı bırakılır. Ana dağıtım panosunda yer alan tek yönlü sayaç ise üretilen üretim değerlerinin görülmesini sağlar. AG kısmı burada bitmiş olur. Alçak gerilimi yüksek gerilime çevirmek için ara bağlantı olarak trafo kullanılır. Trafo seçimi yapılırken aşağıdaki denklem kullanılır:

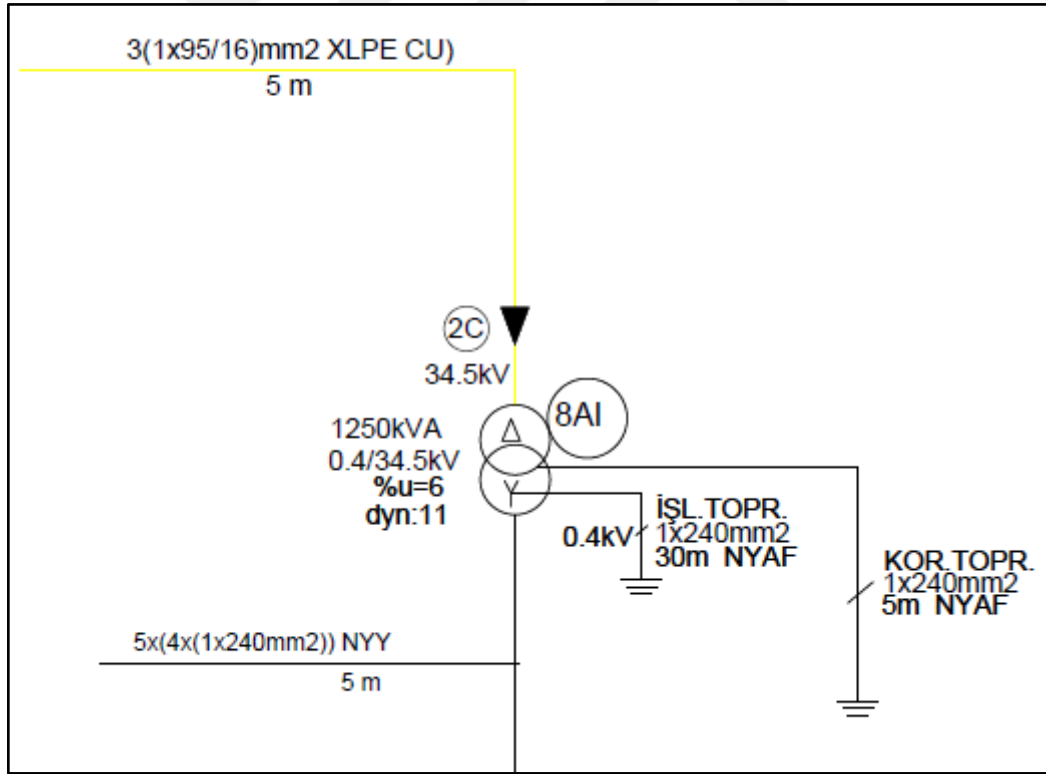
$$P_{AC} = 960 \text{ kW}$$

$$S = \frac{P_{AC}}{\cos(\varnothing)} \quad (3.24)$$

$$S = \frac{960}{0,8} = 1187,5 \text{ kVA}$$

Bu bilgilere göre FV Güneş Enerji Santrali'nde kullanılan trafo 1250 kVA seçilmiştir.

Trafo seçimi için kullanılan denklemde S eş zamanlı (görünür güç), P_{AC} ise toplam AC göstermektedir. Böylece trafo yardımıyla alçak gerilim seviyesinden yüksek gerilim seviyesine geçilmiş oldu.

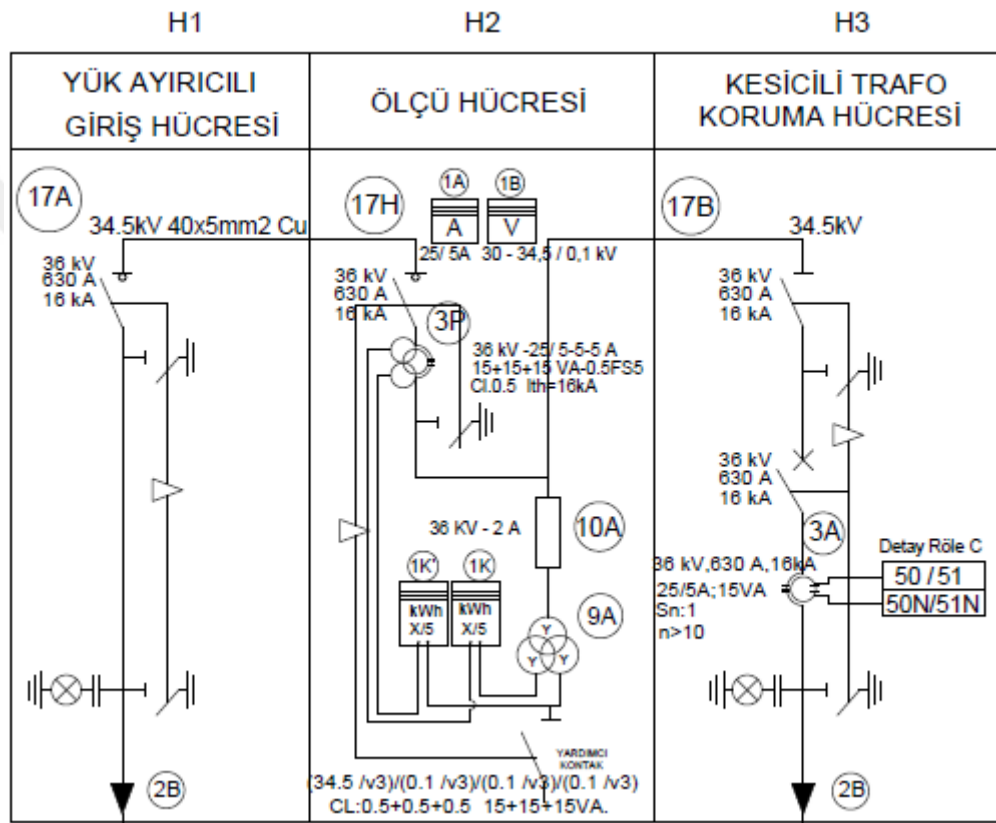


Şekil 3.5 Trafo Tek Hat Şeması

Trafonun çıkışındaki gerilimi kontrol ve kumada edebilmek için trafo koruma hücreleri kullanılmıştır. Trafo koruma hücreleri ile ilgili tek hat şeması Şekil 3.6 'da gösterilmiştir.

Trafonun yüksek gerilim bölümü uygun kesitteki XLPE yalıtkanlı kablolar yardımıyla ile trafonun korunması için trafo koruma hücresi ile ilişkilendirilmiştir.

Orta gerilim hücrelerine(trafo koruma hücreleri) konulan çift yönlü sayacın lisanssız elektrik üretimi yönetmeliklerine göre konulması zorunludur. Çünkü çift taraflı sayaç yardımıyla şebekeye aktarılan ve şebekeden çekilen enerji hesaplanarak mahsuplaşma yapılacaktır. Şekil 3.6'da gibi çeşitli koruma ve ölçüm işlemleri yapıldıktan sonra uygun hücreden çıkış yapılarak şebekeye bağlantı gerçekleştirilir.



Şekil 3.6 Trafo Koruma Hücreleri Tek Hat Şeması

3.2 FV Sistemin Performansının Hesaplanması İçin Metodoloji

Üç farklı FV sisteminin (a-Si, pc-Si ve mc-Si) performans parametrelerini incelemek ve değerlendirmek için kullanılan elemanlar şunları içerir: FV sistemi tarafından üretilen toplam enerji (E_{AC}), aylık ve yıllık sistem verimliliği (η_{sys}), referans verim (Y_R), nihai verim(Y_F), performans oranı (PR) ve kapasite faktörü (CF).

3.2.1 FV Modüllerden Enerji Üretimi

Maksimum gücün anlık değerlerinin ölçüm aralığına entegrasyonu üretilen enerjiyi (E_{AC}) verir [33]. Aylık üretilen enerji denklemi,

$$E_{AC} = \int_0^{t_s} P_{AC} dt \quad (3.25)$$

Burada t_s entegrasyon periyodu, dt süre ve P_{AC} ise toplam AC kurulu güç değeridir [34].

Anlık enerji çıkışı, 5 dakika aralıklarla DC enerjiyi AC enerjiye dönüştürmesinden sonra FV sistem tarafından üretilen enerjinin ölçülmesiyle elde edildi [35].

3.2.2 Sistem Verimi

FV sistemlerinin enerji performansı, bu sistemlerde kullanılan ekipmanların genel verimliliğine bağlıdır [33]. Sistem verimliliği, sistem tarafından üretilen enerjinin FV yüzey oranına yansıyan radyasyon miktarına göre hesaplanır. Yıllık, aylık ve hatta günlük periyotlarda hesaplanabilir. Denklem 3.26 'da sistem verimi [36],

$$\eta_{sys} = \left(\frac{E_{AC}}{A \cdot H_T} \right) * 100 \quad (3.26)$$

Sırasıyla E_{AC} , inverterden üretilen günlük AC enerjiyi (kWh/gün); A , FV dizi alanını (m^2) ve H_T ise belli bir düzleme gelen toplam güneş ışınımını (kWh/m^2) belirtir.

3.2.3 Referans Verimi

Referans verim (Y_R), standart test koşullarında referans ışınımına ($G_{STC}=1 kW/m^2$) bölünen toplam düzleme gelen güneş ışınım H_T (kWh/m^2) oranını temsil eder [37]. Aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$Y_R = \frac{H_T}{G_{STC}} \quad (3.27)$$

3.2.4 Nihai Verim

Nihai verim, üretilen yıllık, aylık veya günlük net enerji olan E_{AC} 'nin P_{DC} 'e bölünmesi ile hesaplanır. P_{DC} , kurulu FV dizisinin nominal gücünün standart test koşullarında (STC) 1 kW/m² güneş ışınımı ve 25 °C'lık hücre sıcaklığı olarak tanımlanır. Y_F , sistem büyüklüğüne uygun olarak üretilen enerjinin normalizasyonuna izin veren ideal bir göstergedir [38-39-40]. Denklem 3.28 kullanılarak hesaplanabilir:

$$Y_F = \frac{E_{AC}}{P_{DC}} \quad (3.28)$$

3.2.5 Performans Oranı

Performans oranı (PR), alınan ışınlarla göre şebekeye beslenen enerjiyi normalleştiren bir göstergedir. PR, farklı bölgelerde ve farklı zamanlarda FV sistemlerinin performanslarını karşılaştırmak ve değerlendirmek için kullanılır [35,41]. PR, denklem 3.29 kullanılarak hesaplanır:

$$PR = \frac{Y_F}{Y_R} \quad (3.29)$$

3.2.6 Kapasite Faktörü

Kapasite katsayısı (CF), gerçek yıllık enerji çıkışı E_{AC} 'nin bir yıl boyunca günde 24 saat tam güçte P_{DC} 'de çalıştırıldığı takdirde güneş FV sistemin üreteceği enerji miktarına oranı olarak tanımlanır [35].

$$CF = \frac{E_{AC}}{(24*365*P_{DC})} \quad (3.30)$$

3.3 Deneysel Yöntem ve Simülasyon Programı: PVsyst

FV sistemin analizi için uygun birkaç farklı simülasyon programı bulunmaktadır. Bunlardan bazıları SAM-Sistem Danışmanı Modeli, PVsyst, FV*SOL, Polysun, Helioscope ve FVGIS. Bu tez için seçilen simülasyon programı PVsyst'tir. Tez çalışmasında PVsyst'in 6.67 versiyonu kullanıldı. PVsyst, FV sektöründe kullanılan en çok kullanılan simülasyon programlarından biridir. Bu bölümde simülasyon aracına bir giriş verilmiştir ve bu bir PVsyst kullanım kılavuzuna dayanmaktadır [42]. İlgili yazılım hakkında ek bilgiyi çevrimiçi PVsyst programının yardım bölümünden bulabilirsiniz [43].

3.3.1 Kullanıcı Arayüzü

PVsyst programının kullanıcı arayüzü Şekil 3.8'de gösterilmektedir ve dört bölümden oluşmaktadır:

Ön tasarım (Preliminary Design): Bu bölümde bir projenin hızlı bir değerlendirmesi, potansiyelleri bazı kısıtlamalar ile yapılabilir. Bu aracın doğruluğu sınırlıdır ve müşteri raporları için kullanılmaz. Tek başına sistemlerin ön boyutlandırılması için kullanışlı bir araçtır. Aynı zamanda şebekeye bağlı sistemler için binanın FV potansiyelini hızlı bir şekilde değerlendirmek için kullanılan bir araçtır.

Proje tasarımı (Project Design): Bu bölüm programın ana parçasıdır. Bir FV sistemi projesinin detaylı bir incelemesini yapmak için kullanılır. Meteorolojik verilerin seçimi, sistem tasarımı, ayrıntılı gölgelendirme çalışmaları, kayıpların belirlenmesi ve ekonomik değerlendirmeyi içerir. Çıktı, saatlik adımlarla dolu bir yılın birçok ek sonucuna sahip eksiksiz bir rapordur. Bu tezde Elazığ ilinde yer alan Güneş Enerji Santrali'nden üretilen enerjinin simülasyonu için kullanılan bir araçtır.

Veritabanları (Databases): Bu bölüm, aylık ve saatlik verileri, saatlik değerlerin anlık üretimini ve dış verilerin import edilmesini içermektedir. Veritabanları aynı zamanda, FV sistemin kurulumlarının yanı sıra modüller, invertörler, piller vb. tüm bileşenlerin tanımlarını da içerir.

Araçlar (Tools): FV sistemin kurulum davranışının tahmini ve görselleştirilmesi bu bölümde sağlanan ek araçlar kullanılarak sağlanır. Gerçeğe daha yakın bir simülasyon için mevcut FV tesislerin ölçülen verilerini almak için kullanılan araçlar da bu bölümde yer almaktadır.



Şekil 3.8 PVsyst Programı Arayüzü

3.3.2 Proje Tasarımı

Bu tezde simülasyon için Proje Tasarım bölümü kullanılmıştır. Bu bölümde saatlik simülasyon yapılarak kapsamlı bir tasarım ve performans analizi gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Parametre analizi farklı simülasyon çalışmaları ile de gerçekleştirilir.

Proje tasarımında, Şekil 3.8'de görülebileceği gibi, dört farklı sistem tipi arasındaki seçim yapmak mümkündür. Bu, şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız, pompalama ve DC şebeke sistemlerini içerir. Bu tezde analiz edilen sistem için şebeke bağlantılı sistem seçildi.

Ekran iletişim kutusunda proje özellikleri tanımlanmıştır. Proje adını seçtikten sonra, *Site* sekmesi altında FV sistemin coğrafi konumunu meteorolojik konum bilgileriyle ilişkilendirerek koordineli olarak tanımlayabilirsiniz. Bölüm 2.1.2'de açıklandığı gibi, *meteo* verileri birkaç kaynaktan alınabilir. *Site* ve *meteo* sekmesinde istenen meteo dosyası seçilebilir. Bu durum farklı meteo veri kaynaklarını kullanarak simülasyonları gerçekleştirmemizi sağlar.

Albedo-Settings(Ayarlar) sekmesinde aylık albedo değerlerine erişim, tasarım koşulları ve tasarım sınırlamaları mevcuttur. Albedo değerleri genellikle değiştirilmez ve çoğu durumda 0,2 standart değeri kullanılır. Bununla birlikte, proje belirli albedo değerlerine sahip bir yerde bulunuyorsa Albedo sekmesi altında değiştirilebilir. Tasarım konuları dikkate alındığında mutlak voltaj sınırı için alt sıcaklık değeri önemli bir siteye bağlı değerdir. Bu durum sistemin güvenliği ile ilgilidir ve ideal olarak gün ışığında sahada ölçülen en düşük sıcaklık olmalıdır.

Herhangi bir simülasyon yapmadan önce proje kaydedilmelidir. Bundan sonrakidim ise sistemi tanımlamak olacaktır. Bu durum Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Giriş parametreleri için bazıları zorunlu bazıları ise isteğe bağlıdır.

Şekil 3.9 Proje Tasarımı için Sistem Tanımlaması

Zorunlu:

İki sekme ilk *Orientation* (Yön) ve *System* (Sistem) kırmızı olarak işaretlenir, daha sonra sistem tanımlanır. İki bölüm tamamlandıktan sonra kırmızı işaret kalkar. *Orientation* sekmesinde modül eğimi ve azimut açısı tanımlanır. PVsyst ayrıca coğrafi konuma göre optimal açılar önerir. Yıllık verim yaz veya kış aylarına göre ayrı ayrı çıkarılabilir.

System sekmesinde, sistemin tasarımı ile birlikte modül ve inverter tipi, alt dizi ve dizi sayısı dahil olmak üzere FV sisteminin bileşenleri seçilir. Birkaç alt dizinin tanımlanmasıyla seri olarak bağlı farklı sayıda modüle sahip diziler tanımlanabilir. Farklı alt diziler için farklı modüller ve invertörler de seçilebilir. PVsyst veritabanında birçok invertör ve modül bulunmaktadır ve istediğimiz zaman bazı parametreler üzerinde değişiklik yapabiliriz.

İsteğe bağlı:

İsteğe bağlı giriş parametreleri ile gerçeğe daha yakın simülasyon sonuçları elde ederiz. Buna *horizon*(görüş), *near shading objects* (gölgelendirme objeleri), *modüle layout* (modül düzeni), *economic evaluation* (ekonomik değerlendirme) ve *other tools*(diğer araçlar) dahildir.

Horizon sekmesi uzak gölgelendirme nesnelere açıklar ve ufuk çizgisi olarak tanımlanır. Bunlar yeterince uzak olan ve FV dizisi üzerinde küresel bir şekilde hareket eden nesnelere dir. Bu nesnelere n uzaklığı FV dizi boyutundan en az on kat büyük olmalıdır. Ufku tanımlamanın en doğru yolu, profesyonel saha değerlendirmesi yapan Solmetric SUNeye gibi araçların verilerini import etmektir [44]. Ufuk manuel olarak da tanımlanabilir. Ufuk'ta bir açı ve yükseklik hakkında bilgi almak için Teodolit Droid gibi araçlar da kullanılabilir [45]. Teodolit, diğer programların yanı sıra pusula, iki eksenli eğimölçer, GPS, harita ve izleyiciyi birleştiren çok işlevli bir araçtır.

Near shadings, dizi üzerinde görünür gölgeler *near shadings* olarak tanımlanır. Burada FV dizisi ve çevresinin bir 3D modeli çizilerek simülasyon uygulanır. Bunlar çevredeki ağaçlar, binalar veya başka nesnelere olabilir. 3D modelin PVsyst'te elle çizilmiş olması gerekir. Çünkü SketchUp vb. programlardan import edilmez.

Yakın gölgelendirme durumunda iki kayıp dikkate alınmalıdır:

- 1. Işınlama Kayıpları:** Bunlar doğrusal gölgeleme kayıplarıdır ve hücrelerdeki ışınım açığına karşılık gelir. Gölgeleme durumunda ışınım azalacağı için enerji üretiminde de azalma görülür.
- 2. Elektriksel Kayıplar:** FV modüller seri bağlandığından gölgeleme durumunda serideki tüm modüller bundan etkilendiğinden enerji üretiminde büyük kayıplar olur.

Module Layout (Modül yerleşim) sekmesi, kullanıcının yakın gölgelendirme sekmesinde tanımlanan 3D ekranında modüllerin geometrik düzenini belirtmesini sağlar. Modül ara bağlantıları tanımlanır. Bu özellikler Si-kristalin modüller için yakın nesnelerin kısmi gölgelemenin elektriksel etkilerinin doğru hesaplanmasına yardımcı olur. Bu sekme FV sistemin çalışması için bir model geliştirmenin son adımıdır.

3.3.3 Detaylı Kayıplar

Detaylı kayıplar adı altında, simülasyon varsayılan birkaç değere ayarlanır. Bu kayıp parametreleri, sistem özelliklerine göre daha uygun değerlere değiştirilebilir. Bu bölümde her bir parametrenin kısa bir açıklaması verilecektir.

Termal parametreler:

Kullanılan montaj yöntemi dizinin ne kadar iyi havalandırılacağını belirler, bu da sistemin soğutulmasını artıracak ve termal kayıpları azaltacaktır.

Modül sıcaklık ölçümleri mevcut ise PVsyst'e aktarılabilir ve termal parametreler olarak kullanılabilir. Modül sıcaklıkları meteo dosyaları üzerinden alındığında, ölçülen dizi sıcaklığını kullanma seçeneği seçilebilir hale gelir.

Omik Kayıplar:

Omik kayıplar, modül-inverter ve inverter-trafo arasındaki kablolarda oluşan güç kayıplarını belirler. Bu kayıplar, FV dizideki modül bağlantıları ve invertör bağlantıları için ortalama uzunluk (m) ve enine kesit (mm^2) ile belirlenebilir. Kesitler ve uzunluklarla ilgili detayların bilinmemesi durumunda, omik kayıpların global bir kablolama direnci ile tanımlanması da mümkündür. Omik kayıplar, Denklem 3.31 kullanılarak PVsyst tarafından hesaplanır, burada R, global kablolama direncidir.

$$P_{\text{loss}} = I^2 * R \quad (3.31)$$

Modül Kalitesi – Işığa Bağlı Degradasyon - Uyumsuzluk:

Modül kalitesinde kayıp, kullanıcıların simülasyonda uygulanan modül performansının imalatçının spesifikasyonlarını karşıladığına dair güveni yansıtan bir parametredir. Simülasyon programında istenilen herhangi bir değere ayarlanabilir. Bu bilgiler imalatçı firmalardan tarafından temin edilir.

Işığa bağlı degradasyon, kristal modüller için güneşe maruz kalınan ilk saatlerde ortaya çıkan bir performans kaybıdır. FV modülü üreticileri tarafından teslim edilen son fabrika flaş testleri verilerine göre gerçek performans hesaplanır.

Uyumsuzluk kayıpları, bir dizideki akımın bir modülün en düşük akımı ile sınırlı olmasından kaynaklanmaktadır. Sistemlerin kurulumunda kullanılan modüller gerçekte aynı performansta çalışıp aynı enerjiyi üretmez.

Kirlenme Kayıpları:

Kirlenme kayıpları, FVmodüllerinin üzerini kaplayan ve ön camdan iletimi azaltan herşeyi içerir. Ön yüzeyde oluşan kirlenme sebebiyle zamanla enerji üretiminde verim düşüşü olur. Yumuşak veya sert gölgeleme kirlenme kayıplarına neden olur. Yumuşak gölgelemeler FV modüllerinde leke bırakan ince kar veya buz katmanları, toz, kum, polen veya yağmur gibi kirlenmelerden kaynaklanabilir. Sert gölgelemeler ise kalın kar tabakaları, kuş düşmesi ve yapraklar gibi kirlenmelerden kaynaklanabilir. Kısmi gölgelemenin akım-gerilim eğrileri üzerindeki etkisi Bölüm 2.2.3'te açıklanmıştır.

Kış aylarında FV modüllerin karla örtülmesi nedeniyle Elazığ gibi kırsal iklime sahip bir bölge için kirlenme kayıpları önemli bir kayıp faktörü haline gelir. Karlı günlerdeki kirlilik kayıplarının, karla dolu gün sayısından dolayı %80'e kadar arttığı aylar olabilir. Kar nedeniyle sert gölgeleme ve bulutlar, iyi ışınlama koşulları ile açık günlerde bile sıfır FV üretimi verebilir. Kar yağışlarının kaçınılmaz olduğu Elazığ ilinde FV sistemlerin simülasyonları için kirlenme kayıplarının uygulanması doğru simülasyonlar için önemli bir faktördür.

Kirlenme kayıpları ayrıca modülleri örten ve FV hücresine ulaşan ışınımı azaltan toz ve partikülleri de içerir. Bu durum endüstriyel ortamlar veya çöl iklimleri haricinde genellikle ihmal edilebilir bir faktördür.

PVsyst kirlenme kayıpları her ay için bir yüzde olarak veya yıllık bir faktör olarak belirtilebilir. PVsyst'te simülasyon yapıldığında periyodik temizlik ve yağışlı dönemler dikkate alınmalıdır.

3.3.4 PVsyst'te Meteorolojik Veriler

Meteorolojik verilerin çeşitli yollarla alınması, PVsyst'teki *Databases* (Veritabanları) bölümünde mevcuttur. Meteorolojik veriler için yerleşik veritabanında coğrafi koordinatlar ile aylık hava durumu verilerini içeren veri kümesi verilir ve bunlar * .SIT dosyaları olarak saklanır. Yeni bir coğrafi bölge tanımlanmışsa, PVsyst programında yer alan Metenorm iklim veri setinden varsayılan bir aylık veri oluşturur. PVsyst'te yer alan NASA-SEE iklim veri setlerinden de dünya üzerindeki herhangi bir nokta için mevcut olan aylık değerler için uydu verilerinin kullanılması gerçekleştirilebilir.

Metenorm veritabanında bulunan tüm istasyonlar Avrupa bölgeleri için PVsyst programında mevcuttur. Gerçek meteo verilerinin ölçümleri çok karmaşıktır.

PVsyst programındaki simülasyon, saatlik değerlerde çalıştığı için ölçülmüş saatlik veri mevcut değilse saatlik meteo veriler aylık değerlerden oluşturulmalıdır. Saatlik veriler, * .MET dosyalarında saklanır. Aylık ortalamalardan saatlik üretim, çeşitli modeller kullanılarak gerçekleştirilir. Kullanılan modeller, 1980'lerde Collares-Pereirg ekibi tarafından geliştirilmiştir. İlk olarak günlük değerler üretmek için Markov geçiş matrislerini kullanır, sonra günde 24 saatlik değerleri kullanır. Bu matrisler, tüm dünyada 30'dan fazla sahada ölçülen gerçek saatlik meteo verilerine benzer dağılımlar ve istatistiksel özellikler ile bir saatlik dizi üretecek şekilde oluşturulmuştur. Işınlamanın bir fonksiyonu olarak saatlik sıcaklık değerlerinin üretilmesi, mevcut modelde yoktur. Bunun nedeni, sıcaklığın sadece ışınlamaya değil, çoğunlukla atmosferik olaylara bağlı olmasıdır. Saatlik üretilen sıcaklık değerleri bu nedenle çoğunlukla rastlantısaldır.

PVsyst ayrıca önceden tanımlanmış diğer kaynaklardan hava durumu verilerini almak için çeşitli araçlar sunar. Aylık ve saatlik olarak iki ayrı şekilde de kaynaklar mevcuttur.

Bazı durumlarda önceden tanımlanmış kaynaklardan hiçbiri tatmin edici meteo verileri sunmaz. Yerel hava istasyonu veya sensörler gibi daha iyi bir veri kaynağı varsa bu veriler ASCII dosyalarından içe aktarılabilir.

Kullanılamamazlık:

Bazı durumlarda sistem bir arıza nedeniyle çalışmayı durdurur. Bu durumda kullanılabilirlik parametresi zamanın bir parçası olarak veya gün sayısı olarak belirtilebilir. Genellikle bu durum tahmin edilemez. Dolayısıyla dönemler rastgele oluşturulabilir. Dönemlik kesintiler hakkında bilgi varsa, bunlar tanımlanabilir.



4.1 Santrale Ait Simülasyon Raporu

Simülasyon sonuçları, PVsyst aracılığıyla kapsamlı bir şekilde gösterilebilir. PVsystsimülasyon sonuçlarını içeren bir rapor oluşturur. Veriler ayrı ayrı aylık olarak verilir. Bazı sonuçlar simülasyondan önce saatlik veya günlük değerler olarak tanımlanabilir.

Şebekeye bağlı FV sistem simülasyonunda temel olarak dizi çıkışı enerji üretimi, şebekeye verilen toplam enerji ve performans oranı hakkında detaylı bilgi verilir. Elazığ ilinde yer alan FV Güneş Enerjisi Santrali lokasyonuna ait meteorolojik veriler Çizelge 4.1'de listelenmiştir. Çizelgedeki kısaltmaların açıklamaları aşağıda verilmiştir.

G_{yatay} : Yatay Düzleme Gelen Küresel Işınım

D_{yatay} : Yatay Yayılı Işınım

T : Ortam Sıcaklığı

$G_{modül}$: FV Modül Yüzeyine Gelen Işınım

G_{etken} : Etken Global Işınım

E_{dizi} : Dizi Çıkışındaki Etken Enerji

$E_{şebeke}$: Şebekeye Verilen Enerji

PR : Performans Oranı

Çizelge 4.1 Hava Durumu ve Işınım Verileri

AYLAR	$G_{yatay}(kWh/m^2)$	$D_{yatay}(kWh/m^2)$	T (°C)	$G_{modül}(kWh/m^2)$	$G_{etken}(kWh/m^2)$
Ocak	60,7	31,64	-1,42	91,2	88,5
Şubat	78,0	37,23	0,42	106,9	104,0
Mart	117,1	59,56	6,79	140,7	136,5
Nisan	136	69,41	11,7	144,5	140,0
Mayıs	179,8	86,61	16,99	174,5	168,7
Haziran	208,0	72,77	22,84	195,4	189,0
Temmuz	207,0	77,18	27,41	198,4	191,7
Ağustos	201,3	64,69	27,2	210,2	204,0
Eylül	150,9	52,87	20,92	177,2	172,3
Ekim	106,8	46,99	14,81	140,2	136,4
Kasım	65,7	33,26	6,63	96,7	93,9
Aralık	52,1	28,37	1,12	81,1	78,7
Yıl	1563,4	660,58	13,03	1757	1703,6

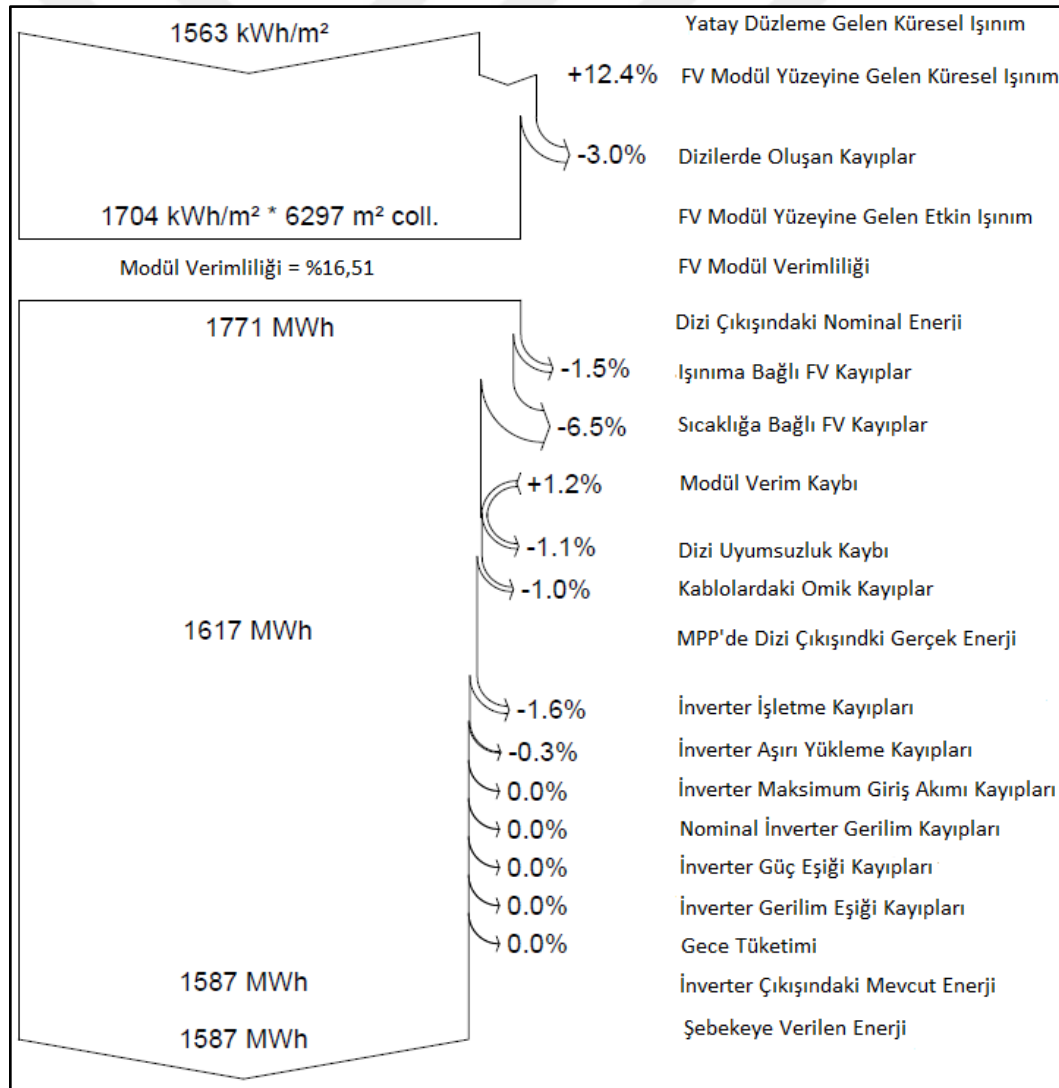
Aşağıda belirtilen Çizelge 4.2 de FV Güneş Enerjisi Santrali'nin yıl boyunca üretmesi planlanan enerji üretim verileri yer almaktadır.

Çizelge 4.2 Enerji Üretimi ve Performans Oranı Değerleri

AYLAR	$E_{dizi}(MWh)$	$E_{şebeke}(MWh)$	PR
Ocak	90,9	89,5	0,947
Şubat	105,0	103,4	0,933
Mart	134,0	131,9	0,904
Nisan	134,0	131,9	0,880
Mayıs	159,2	156,7	0,866
Haziran	173,2	170,4	0,841
Temmuz	172,5	169,6	0,825
Ağustos	1183,0	179,9	0,826
Eylül	158,0	155,4	0,846
Ekim	129,5	127,4	0,877
Kasım	93,0	91,5	0,912
Aralık	80,6	79,3	0,944
Yıl	1613,0	1586,9	0,871

Kayıp diyagramı, ana kayıp kaynaklarını tanımlayarak sistem tasarımının kalitesinin ayrıntılı bir örneğini vermektedir. Kayıp diyagramı bütün bir yıl veya ay ay olarak ayrıntılı gösterilebilir. Kayıp hesaplaması, standart test koşullarında global etkili ışınım ve dizilerin nominal enerjisi ile başlar. Daha sonra sistem tipine göre farklı türden kayıplar dikkate alınır. Her kayıp, önceki enerjinin yüzde değeri olarak tanımlanır.

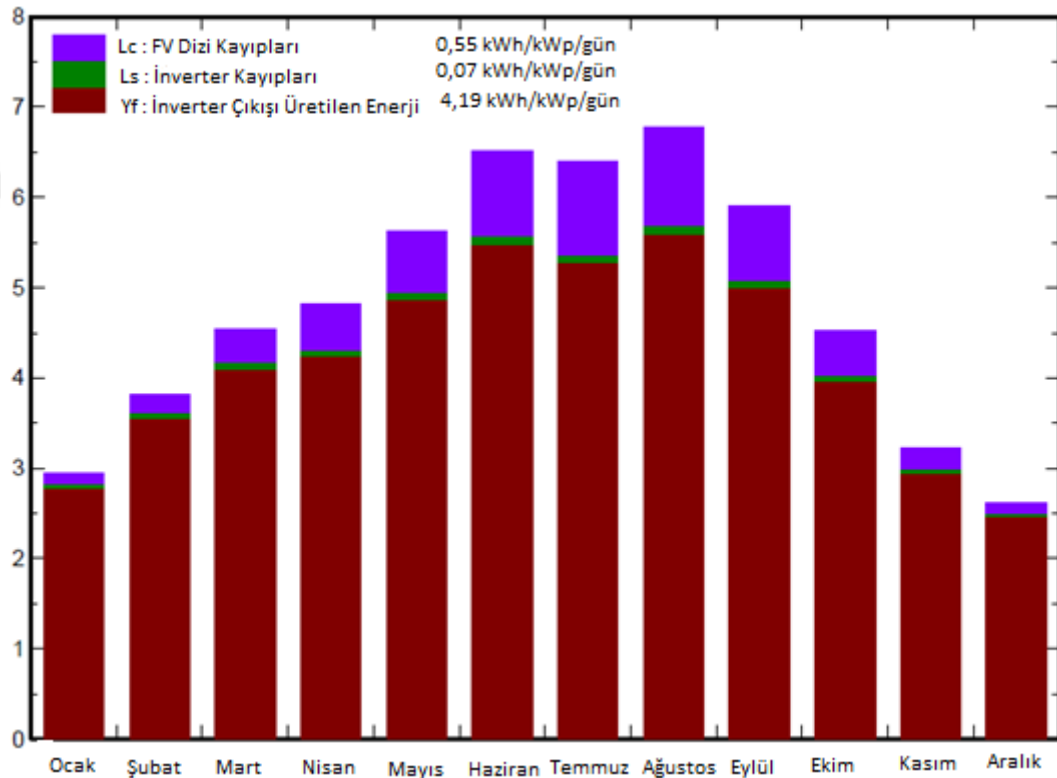
Bazı kayıpların doğru bir şekilde hesaplanması neredeyse mümkün değildir. Örneğin, bağımsız sistemlerdeki omik kayıp, $P_{loss} = R * I^2$ ilişkisi kullanılarak elde edilir. Pratikte dizi direnci, dizi çalışma noktasını ve tüm devre dengesini değiştirir. Böylece daha doğru hesaplama, direnci olan ve olmayan sistemi simüle eder ve farkı karşılaştırır. Ancak bu yöntem de bazı hatalara neden olur. Elazığ ilinde uygulanan FV sistemin kayıp diyagramı aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Sisteme Ait Kayıp Diyagramı

FV dizi çıkışında üretilen nominal enerji 1771 MWh'dir ve daha sonra kayıp konfigürasyonunda ayarlanan diğer değerlere göre farklı tür kayıplar hesaplanır. Sonuçlar şebekeye aktarılan enerjinin 1587 MWh olduğunu ve tüm sistemin % 11,6'lık bir kayıba sahip olduğunu gösterir.

Sonuçlar ayrı ayrı meteorolojik ve ışınlama verileri, FV dizisi davranışı ve sistem çalışma koşulları olarak farklı türlere bölünmüş grafikler şeklinde gösterilebilir. Her biri sonuç olarak daha ayrıntılı bilgiye sahiptir.



Şekil 4.2 İnverter Çıkışı Enerji Üretimi ve Kayıplar

Lc: FV Dizi Kayıpları

Ls: İnverter Kayıpları

Yf: İnverter Çıkışı Üretilen Enerji

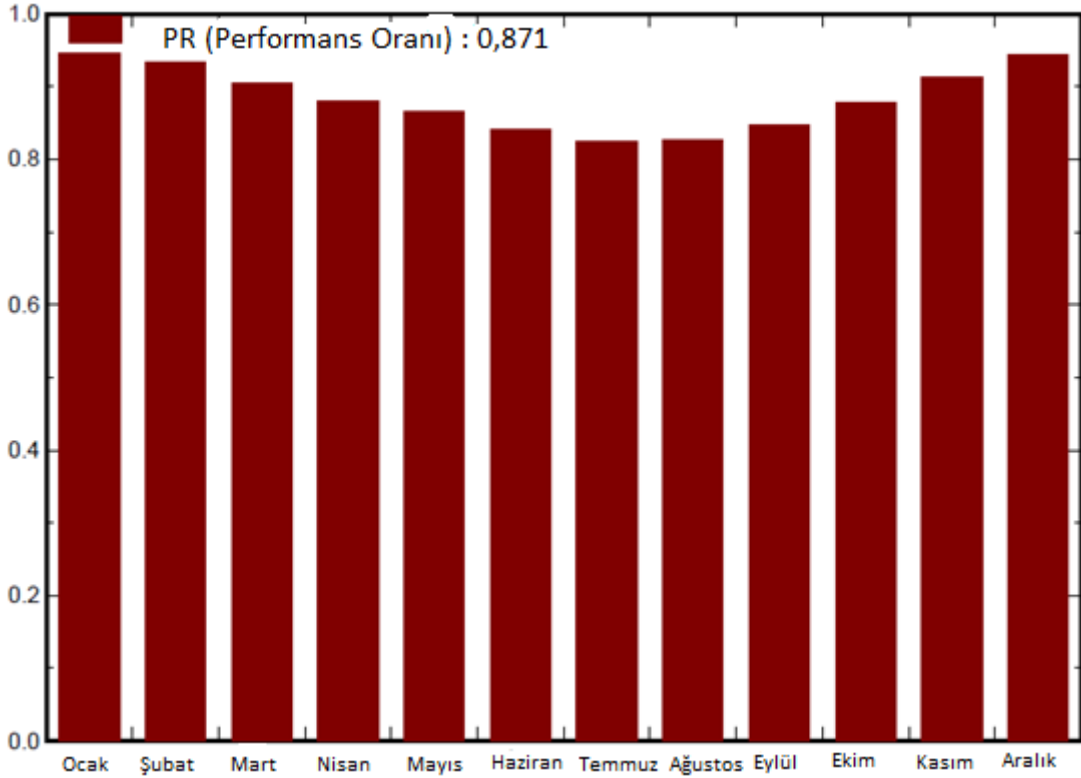
Yukarıdaki gösterilen Şekil4.2, sistem enerji verimlerinin grafiksel bir ifadesidir. FV dizi kayıpları ve diğer kayıplar dahil olmak üzere sistem kayıplarını gösterir. İnvertör çıkışı üretilen enerji de histogramın altında gösterilir. Şekil 4.2'de, verim enerjisi kWh/kWp/gün olarak ifade edilir. Farklı sistemler arasındaki karşılaştırmayı

kolaylaştırmak için standart test koşullarında dizi, nominal kurulu gücü ile normalize edilir.

Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları en yüksek enerji üretimine sahiptir ve aynı zamanda en yüksek dizi ve inverter kayıplarına sahiptir. Bu durum, yılın bu dönemlerindeki (yaz sezonu) yüksek sıcaklığa bağlanabilir.

Dizi kayıpları FVmodüllerin verimliliğini belirler. İnverter kayıpları DC enerjiyi AC enerjiye dönüştürürken kaybolan enerji olarak tanımlanabilir. Kullanılan invertörlerin verimliliği ne kadar yüksek olursa sistem kayıpları o kadar az olacaktır.

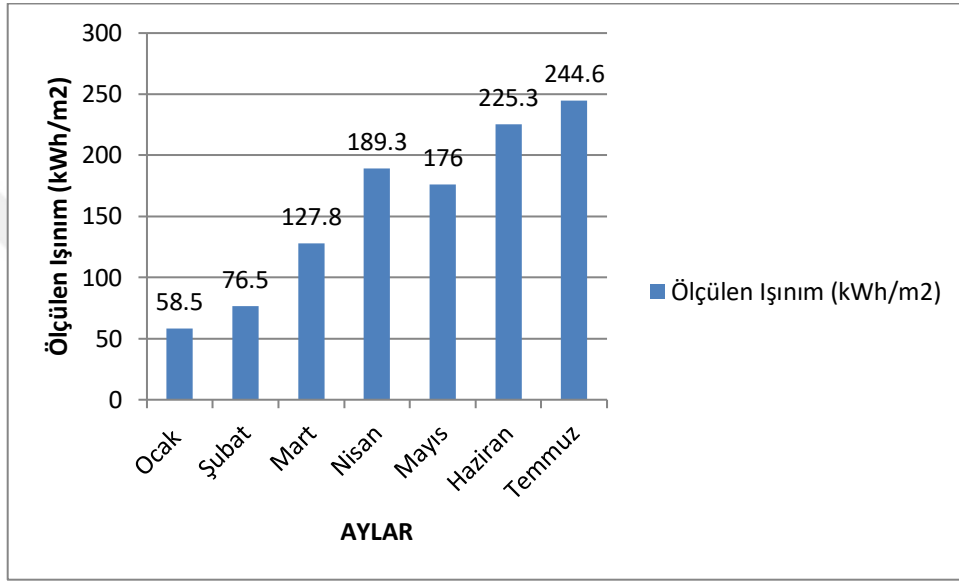
Performans oranı bir bütünlük faktörüdür ve bu oran 0,1 ile 0,99 aralığındadır. PR değeri 1'e yaklaşması sistemin daha iyi olduğunu gösterir. PR değerini 100 ile çarpmak, performans açısından verimlilik yüzdesini verir. Şekil 4.3'ten, simülasyonun performans oranı yaklaşık 0,87 (% 87)'dir. Aynı zamanda Ocak, Şubat, Mart, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında hesaplanan performans oranının Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarına göre daha yüksek olduğu görülür. Bu durum yıl boyunca ortaya çıkan dizi ve inverter kayıplarının bir sonucudur.



Şekil 4.3 Aylık Performans Oranı Değerleri

4.2 Işınım

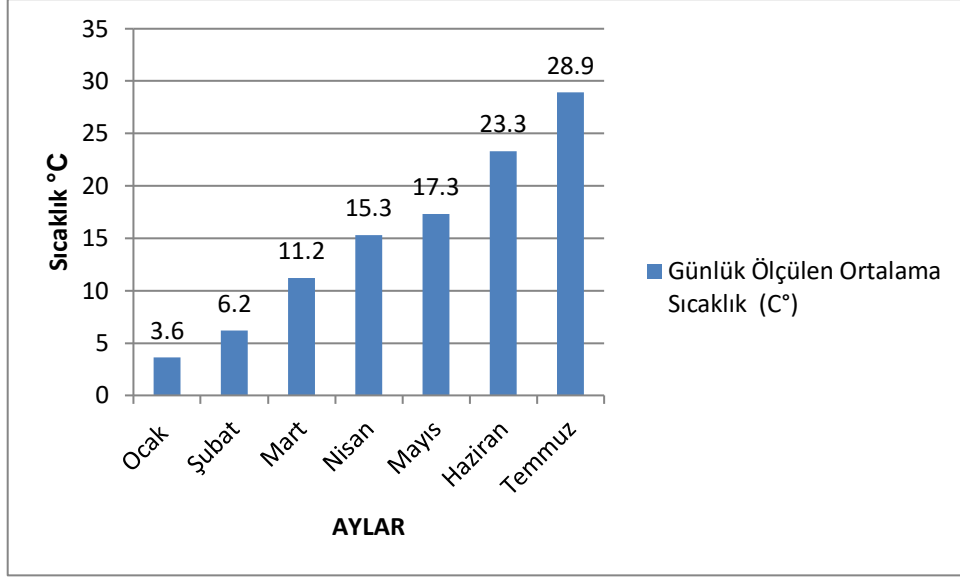
Şekil 4.4'te Elazığ ilinde yer alan FV Güneş Enerjisi Santrali için ortalama aylık ışınım değerlerini göstermektedir. En yüksek miktarda güneş ışınımı yaz aylarında iken bu değer kış aylarında ise en az miktardadır. Bu nedenle, ölçülen ışınım rakamlarına göre, FV Güneş Enerjisi Santralinin enerji veriminin yaz mevsiminde diğer mevsimlerden daha büyük olması beklenmektedir. Sonuç olarak, kış mevsiminde diğer mevsimlere göre daha düşük bir enerji verimi beklenmektedir.



Şekil 4.4 Ölçülen Aylık Ortalama Toplam Güneş Işınımı Verileri

4.3 Sıcaklık

Şekil 4.5, Elazığ ili için ölçülen aylık ortalama ortam sıcaklıklarını göstermektedir. Yaz aylarının genellikle kış aylarından daha sıcak olduğu, kış aylarında ise en düşük ortam ve modül sıcaklıklarının kaydedildiği görülmektedir. Modül sıcaklıkları genellikle ortam sıcaklığından genellikle yaklaşık 10 °C'lik bir faktörle daha yüksektir. Yüksek güneş ışınımı bölgelerinde, modül sıcaklıkları genellikle pik çalışma koşullarında 65 °C veya daha yüksek seviyelere ulaşır.

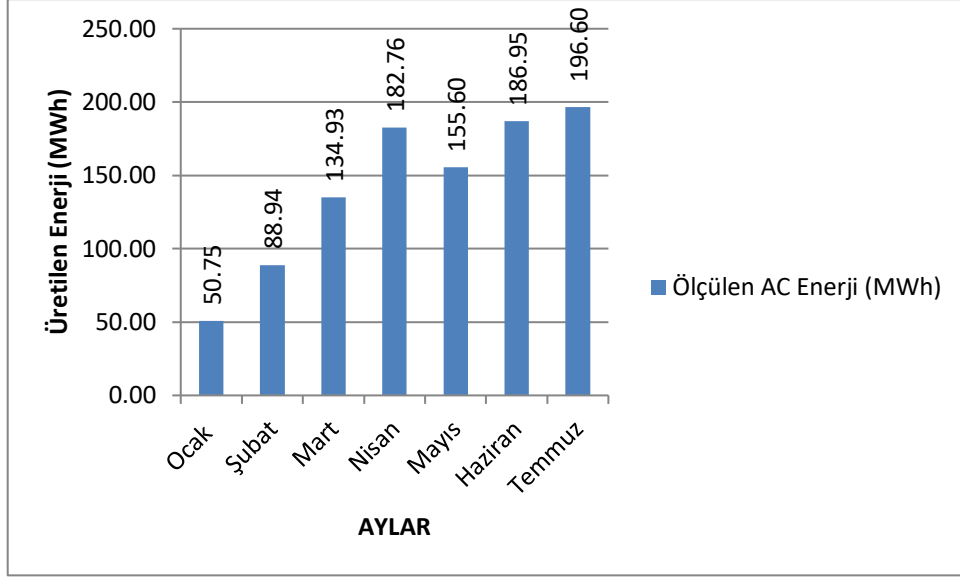


Şekil 4.5 Ölçülen Aylık Ortalama Sıcaklık Verileri

4.4 Enerji Üretimi

FV sistemden elektrik enerjisi üretim miktarı, FV sistemdeki modüller, hücre sıcaklığı, güneşin geliş açısı, yük direnci ve birçok çeşitli faktörlere bağlıdır [46].

Şekil 4.6, Elazığ ilinde yer alan FV Güneş Enerjisi Santrali için aylık enerji üretimini göstermektedir ve Şekil 4.4'de gösterildiği gibi ölçülen ışınlama verileri ile aynı eğilimi takip etmektedir. Bir FV sisteminin sistem performansı, ürettiği elektrik enerjisi ile belirlenir. 1.036,8 kWp kurulu güce sahip Elazığ ilinde yer alan FV Güneş Enerjisi Santrali'nin 7 aylık enerji üretimi toplamda 996.518,35 kWh'dir. Bir FV modülünün sıcaklık katsayısı, modülün çalışma sıcaklığının bir fonksiyonu olarak çıkış gücünün değişim hızını ifade eder. Modül sıcaklığı arttıkça, solar FV modülleri açık devre voltajında bir düşüşe uğrar, yani solar FV yarı iletken teknolojileri artan bir performans kaybına maruz kalır ve bu da daha az enerji üretimi ile sonuçlanır [47].

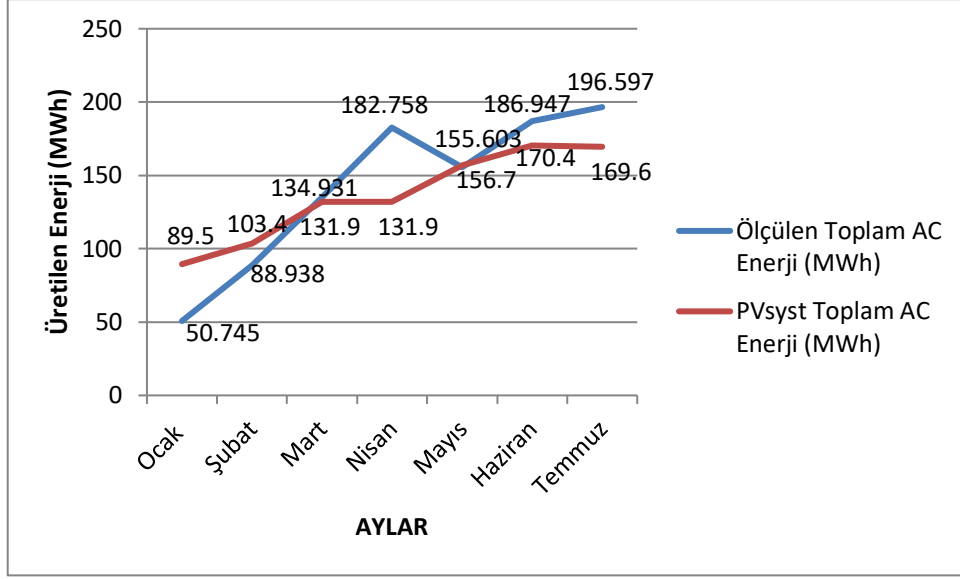


Şekil 4.6 Elazığ İli FV Güneş Enerjisi Santralini Aylık Enerji Üretimi

4.5 Ölçülen ve Tahmin Edilen Enerji Üretimi Arasındaki Karşılaştırma

Şekil 4.7 aylık ölçülen şebeke enerjisinin PVsyst programı ile üretilen tahmini enerjinin karşılaştırmasını göstermektedir. Ölçülen ve simüle edilen enerji verimi arasındaki farklılıklar PVsyst'teki kayıpların fiili işletme kayıplarından farklı olmasından ve hava durumu tahminlerinin farklılıklarından kaynaklanmaktadır.

Elazığ FV Güneş Enerjisi Santrali'nin yıllık elektrik enerjisi üretimi Çizelge 4.3'teki PVsyst simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Santralin Ocak 2018-Temmuz 2018 tarihleri arasında ölçülen ortalama enerji üretimi 996.518,35 kWh olarak bulunmuştur. Ocak 2018-Temmuz 2018 tarihleri arasında tahmini enerji üretimi ise PVsyst simülasyon programı kullanılarak 953.400,00 kWh olarak hesaplanmıştır. Tahmini enerji üretimi %4,52'lik bir fark ile ölçülen sonuçlarla yakın bir değer içerisindedir. Bu durum PVsyst'in ölçülen hava durumu verilerinden ve sistemin sadece ilk yıl üretimi ile kıyaslanmış olmasındandır. Çünkü modüller zamanla verim kaybı yaşar. PVsyst'te 25 yıl boyunca yaşanan bu verim kayıplarını göz önünde bulundurarak hesaplama yaptığından PVsyst sonuçları üretilen enerjiden daha az çıkmıştır. Buna çözüm olarak bir sonraki bölümde ölçülen hava durumu verilerini PVsyst girişi olarak kullanıp sonuçları değerlendirmek olacaktır.



Şekil 4.7 Tahmin Edilen ve Ölçülen Aylık Enerji Üretimi Karşılaştırması

Çizelge 4.3 Elazığ İli FV Güneş Enerjisi Santrali için Ölçülen Yıllık Enerji Verimi Karşılaştırması

	01.01.2018-31.07.2018 Enerji Üretimi (kWh)	Şebeke Enerjisine Göre Değişiklik (%)
Ölçülen Enerji	996.518,35	0
Tahmini Enerji	953.400,00	4,52

4.6 Ölçülen Veriler İle Simülasyon Sonuçları

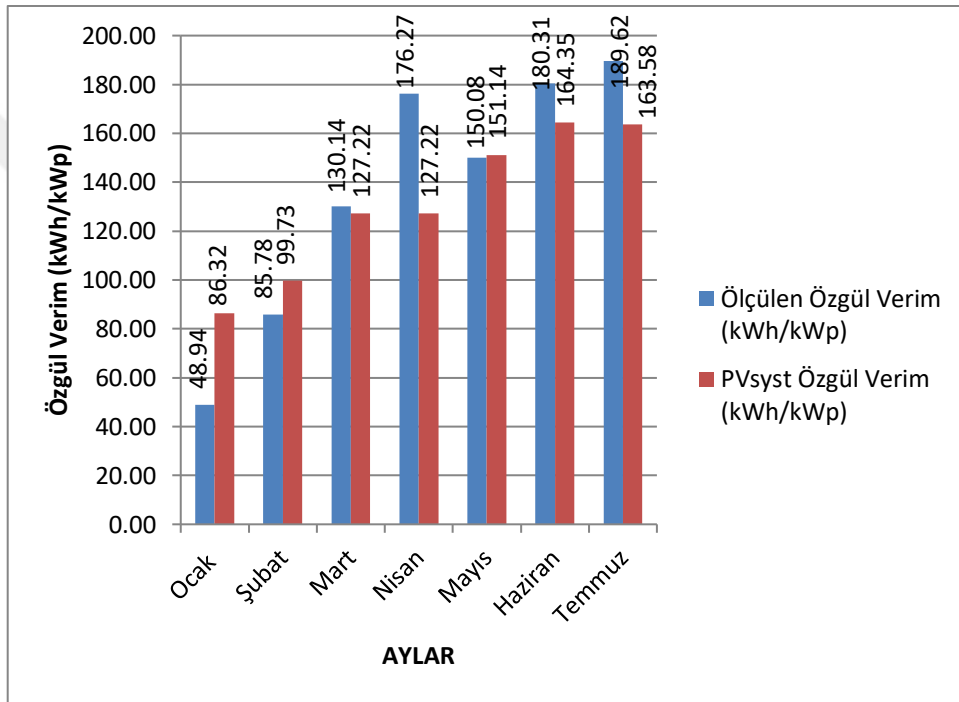
Ölçülen hava durumu verilerine göre simülasyon gerçekleştirildiğinde tahmin edilen üretim değeri 1.006.500,00 kWh olup, gerçek üretim değeri 996.518,35 kWh olan sonuçtan %1 daha fazla olduğu görülmüştür. Dolayısıyla ölçülen hava durumu verileri PVsyst simülasyon programında girdi olarak kullanıldığında üretilen enerji değerinin ölçülen sistemdeki enerji değerlerine daha da yaklaştığı görülmüştür.

4.7 Özgül Verim

Özgül verim, şebekeye verilen toplamenerjinin santralin dc kurulu gücüne oranı olarak tanımlanır [48]. Tanımdan, yıllık enerji üretimini etkileyen faktörler ve ayrıca özgülverimi etkileyen varyasyonlar çıkarılabilir. Teorik olarak özgül verim (η_s) aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\eta_s = \frac{E_{AC} \text{ (kWh)}}{P_{DC} \text{ (kWp)}} \quad (4.1)$$

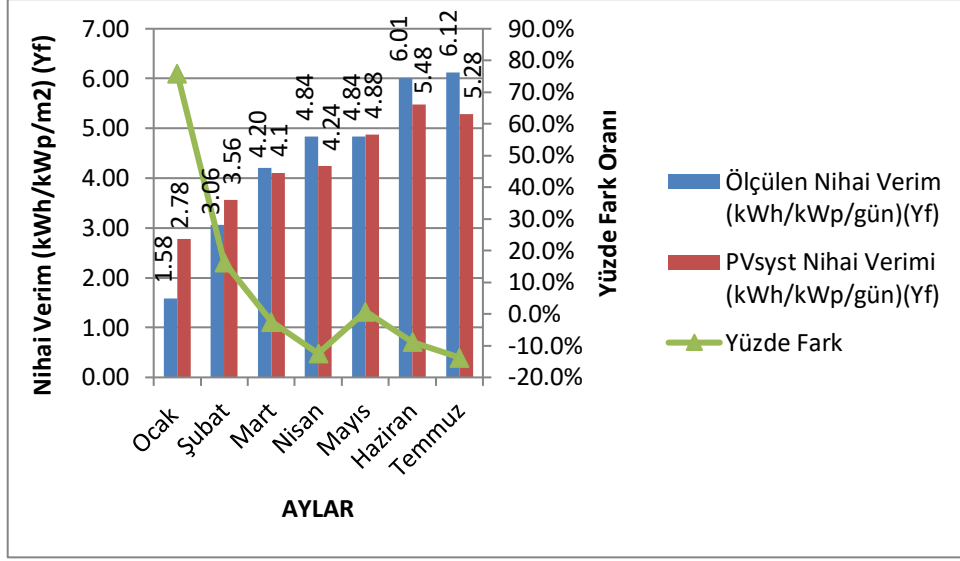
Şekil 4.8, Elazığ ilinde yer alan FV Güneş Enerji Santrali için aylık özgül verimi göstermektedir. Genel olarak ölçülen aylık özgül verim değerleri aylık tahmin edilen enerji üretimi ile aynı eğilimi gösterir. Elazığ için ölçülen en yüksek özgül verim periyodu Temmuz ayındadır ve bu o ayda ölçülen daha yüksek güneş ışınımına karşılık gelir. Bu nedenle özgül verim, verime önemli katkıda bulunan faktör olan güneş ışınımına güçlü bir şekilde dayanır. Elazığ ili için yıllık AC özgül verimi 961,15 kWh/kWp ölçülürken, PVsyst program sonuçlarında bu değer 919,56 kWh/kWp'tir.



Şekil 4.8 Elazığ İli FV Güneş Enerjisi Santrali İçin Aylık Özgül Verim

4.8 Aylık Ortalama Günlük Nihai Verim

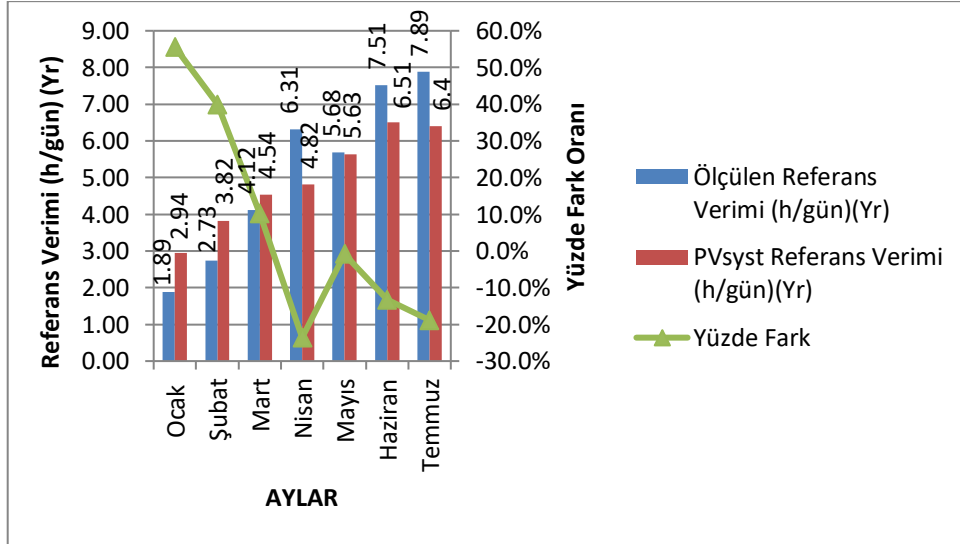
Şekil 4.9, ölçülen ve simüle edilen aylık ortalama günlük nihai verim arasındaki karşılaştırmayı göstermektedir. Ölçülen maksimum değer Temmuz ayında 6,12 kWh/kWp/gün olarak kaydedilmiştir. Simülasyon sonuçları da Haziran ayında 5,48 kWh/kWp/gün'lük bir değer ile zirve göstermektedir.



Şekil 4.9 Ölçülen ve Simüle Edilen Aylık Ortalama Günlük Nihai Verim Arasındaki Karşılaştırma

4.9 Aylık Ortalama Günlük Referans Verim

Şekil 4.10, ölçülen ve simüle edilen aylık ortalama günlük referans verimi arasındaki bir karşılaştırmayı göstermektedir. Temmuz ayında ölçülen maksimum değer yaklaşık 7,89 saat/gün olmuştur. Tahminler ise en yüksek Haziran ayında 6,51 saat/gün olarak görülüyor.

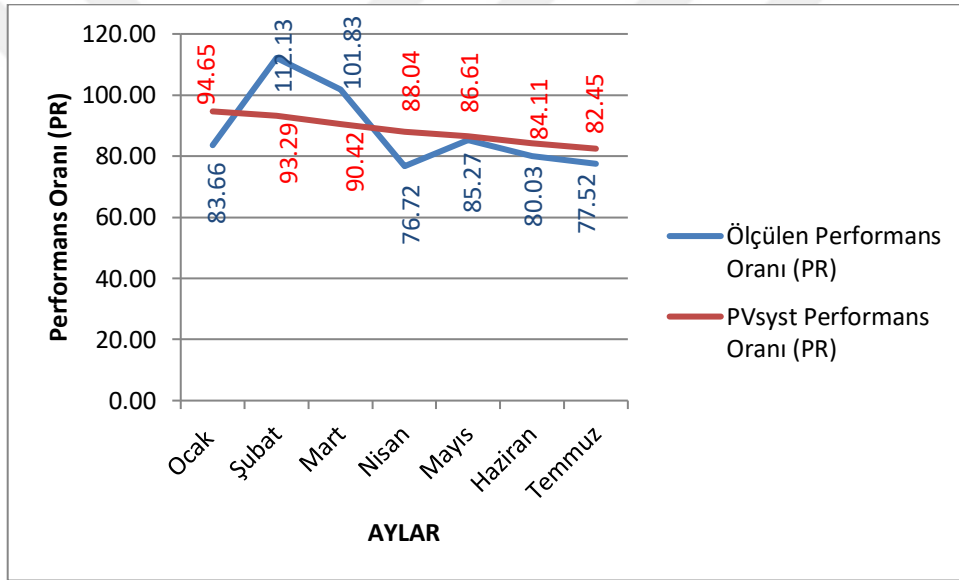


Şekil 4.10 Ölçülen ve Simüle Edilen Aylık Ortalama Günlük Referans Verimi Arasındaki Karşılaştırma

4.10 Aylık Performans Oranı

Performans oranı (PR), bir sistemin kurulum kalitesini belirtmek için kullanılır, ancak üretilen enerji miktarını belirtmez. Literatürde iyi bir ışınlanma bölgesinde bulunan düşük PR sisteminin, daha düşük bir ışınlanma bölgesinde bulunan yüksek PR sisteminden daha fazla enerji üretme olasılığının yüksek olduğunu göstermektedir [49]. Başka bir araştırmanın bulguları, PR'nin yüksek olmasını güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüşüm oranının ne kadar yüksek olduğunu kanıtlamıştır [50].

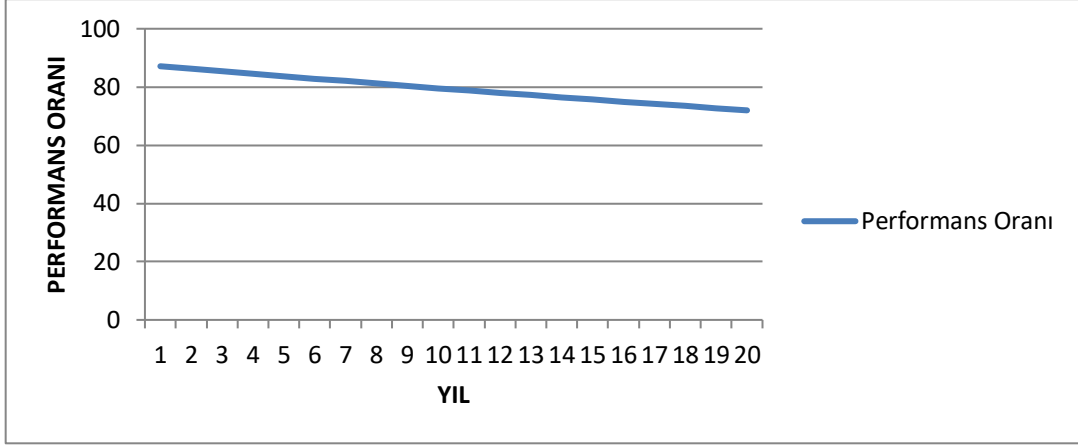
Elazığ ilinde yer alan FV Güneş Enerjisi Santrali için PVsyst programından hesaplanan yıllık ortalama PR %87,12'dir. Şekil 4.11'de ölçülen ve simüle edilen aylık performans oranı grafiği gösterilmektedir.



Şekil 4.11 Ölçülen ve Simüle Edilen Aylık Performans Oranı Karşılaştırması

4.11 Santral Performans Düşüşü

Genel olarak, FV sistemlerin performans bozulmasının sadece FV modüllerden kaynaklandığı varsayılmaktadır. Ancak performansı değerlendirirken, sistem ile hava durumu verileri arasındaki dengeye bakılması tavsiye edilir [51]. NREL (Uluslararası Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı), yeni bir sistemin standart PR'sinin en az %77 olması gerektiğini ve sistemin performansının yıllık bazda yaklaşık %1 azaldığını bildirmiştir [49]. Elazığ ilinde yer alan FV Güneş Enerjisi Santrali sistemin PR'sinin Şekil 4.12'de gösterildiği gibi önümüzdeki 20 yıldan sonra %71,98 civarında olması beklenir.

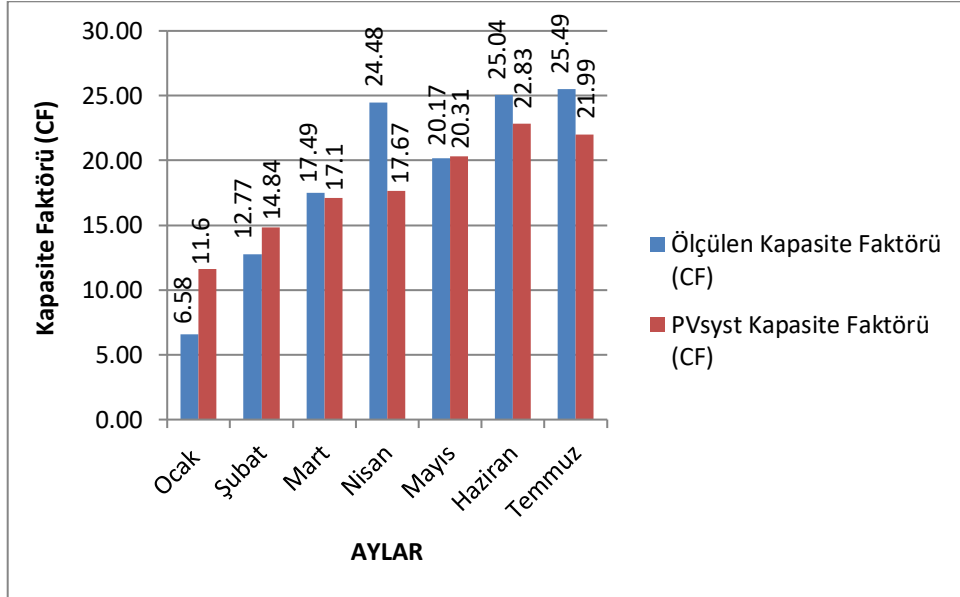


Şekil 4.12 Gelecek 20 Yıl için Tahmin Edilen Performans Oranı

4.12 Kapasite Faktörü

Bir FV sisteminin kapasite faktörü (CF), belli bir zaman dilimi boyunca enerji üretim tesisinin ölçülen çıktısı ile tüm zaman zarfında değerlerin tam kapasitesinde çalışmış varsayılan potansiyel çıkışı arasındaki orandır [52].

Simüle edilen ve ölçülen kapasite faktörleri Şekil 4.13’de grafiksel olarak gösterilmektedir. Yıllık ortalama kapasite faktörü ölçülen sistemde %18,86 iken, simüle edilen sistemde %18,05 olarak bulunmuştur.



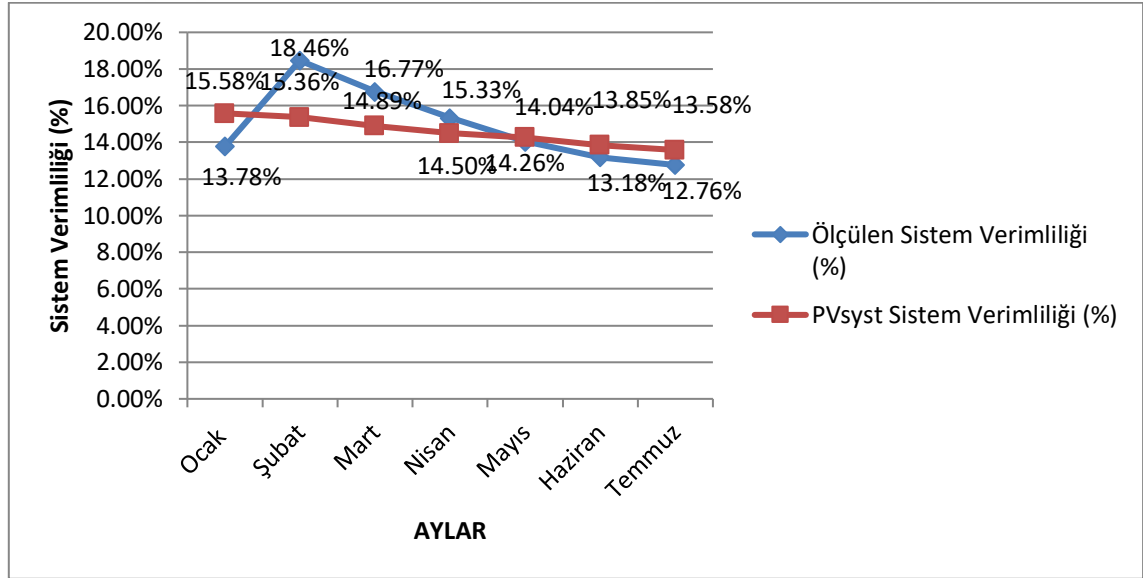
Şekil 4.13 Aylık Kapasite Faktörü Karşılaştırması

Bu parametrede çevresel değişiklikler, yani sıcaklık, ışınım ve FVmodüllerinbozulması göz önüne alınmamıştır. Dahası, FV sistemin günde 24 saat güç ürettiğini

varsaymaktadır ki bu gerçekte geçerli değildir. Literatüre göre, yüksek güneş ışınımının olduğu bölgelerdeki FV sistemlerin % 20,8 ile % 26 arasında CF değerlerine sahip olması beklenmektedir [53].

4.13 Sistem Verimliliği

Şekil 4.14, FV Güneş Enerji Santral'i'nin ölçülen ve tahmin edilen sistem verimliliği arasındaki karşılaştırmayı göstermektedir. Ortalama ölçülen sistem veriminin (%14,9) simüle edilen sistem veriminden (%14,57) daha fazla olması bunun Nisan, Haziran ve Temmuz aylarında kaydedilen elektrik üretim fazlalığından kaynaklandığını göstermektedir.



Şekil 4.14 Aylık Ölçülen ve Simüle Edilen Sistem Verimliliği Karşılaştırması

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Fotovoltaik teknoloji yakın gelecekte ana yenilenebilir enerji kaynağı olacaktır. Fotovoltaik sistemler son yıllarda geleneksel fosil yakıtların azalması ve çevre sorunlarının giderek artması sebebiyle hızla gelişmektedir. Fakat günümüzde güneş enerjisi ile üretilen elektrik hala dünyanın enerji dağıtımında küçük bir orana sahiptir. Buna rağmen fotovoltaik, günümüzde güneş enerjisinden elektrik üretme türleri arasında en ümit vaat eden teknolojidir. Aynı zamanda fotovoltaik'in diğer güneş enerjisi teknolojilerine kıyasla kurulumu daha kolay ve ucuzdur.

Elazığilinde yer alan FV Güneş Enerjisi Santrali'nin üretim sonuçları simülasyon verileri ile karşılaştırıldığında, sonuçların FV sistemin sonuçlarına yakın olduğu görülmektedir. Özetle de belirtildiği gibi, bu araştırmanın sonuçları tesisin çalışma koşuluna bağlı olarak tavsiye için yararlı veriler olacaktır.

Çalışmaya göre ana çıkarımlar da şu şekildedir:

- Ocak 2018 - Temmuz 2018 arasında ortalama radyasyon değeri ölçülen sistemde 156,9 kWh/m² iken, Metenorm 7.1 verilerine göre ise 150,22 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Ölçülen sistemdeki ortalama radyasyon değerlerinin Metenorm 7.1 verilerine kıyasla **%4,2** daha fazla olduğu gözlenmiştir.

- Ocak 2018 - Temmuz 2018 arasında ortalama sıcaklık değeri ölçülen sistemde 15,11 °C iken, Metenorm 7.1 verilerine göre ise 12,10 °C olarak hesaplanmıştır. Ölçülen sistemdeki ortalama sıcaklık değerlerinin Metenorm 7.1 verilerine kıyasla **%20** daha fazla olduğu gözlenmiştir.
- FV sistemi tarafından Ocak 2018 - Temmuz 2018 arasında üretilen toplam enerji 996,52 MWh iken, ön görülen üretim değeri ise 953,4 MWh olmuştur. Dolayısıyla ölçülen sistemdeki toplam enerji değeri simüle edilen sistemdeki enerji üretim değerinden **%4,32** daha fazla çıkmıştır. Ölçülen veriler santralin ilk yılına ait sonuçlardır. Dolayısı ile FV modülün en maksimum verimde olduğu çalışma zamanı dikkati alınmış olup zaman içerisindeki modül degradasyonu dikkate alınmamıştır. Bu sebeple gerçek üretim değerleri simülasyon verilerinde daha fazla çıktığı söylenebilir.
- Ölçülen ve simüle edilen aylık enerji verimi arasında daha iyi bir karşılaştırma yapmak için sahada ölçülen hava verileri kullanılarak simülasyon yapılmalıdır. Ölçülen hava durumu verilerine göre simülasyon gerçekleştirildiğinde tahmin edilen üretim değeri 1.006.500,00 kWh olup, gerçek üretim değeri 996.518,35 kWh olan sonuçtan **%1** daha fazla olduğu görülmüştür. Dolayısıyla ölçülen hava durumu verileri PVSyst simülasyon programında girdi olarak kullanıldığında üretilen enerji değerinin ölçülen sistemdeki enerji değerlerine daha da yaklaştığı görülmüştür.
- Ocak 2018 - Temmuz 2018 arasında ortalama nihai verim ölçülen sistemde 4,38 kWh/kWp/gün olarak bulunurken, Metenorm 7.1 verilerine göre ise 4,33 kWh/m²/gün olarak hesaplanmıştır. Ölçülen sistemdeki nihai verimin simüle edilen sistem verilerine kıyasla **%1,1** daha fazla olduğu gözlenmiştir.
- Ocak 2018 - Temmuz 2018 arasında ortalama referans verimi ölçülen sistemde 5,16 h/gün olarak bulunurken, Metenorm 7.1 verilerine göre ise 4,95 h/gün olarak hesaplanmıştır. Ölçülen sistemdeki referans veriminin simüle edilen sistem verilerine kıyasla **%4,1** daha fazla olduğu gözlenmiştir.
- Ocak 2018 - Temmuz 2018 arasında ortalama performans oranı ölçülen sistemde **%88,17** olarak bulunurken, Metenorm 7.1 verilerine göre ise **%88,51**

olarak hesaplanmıştır. Ölçülen sistemdeki performans oranının simüle edilen sistem verilerine kıyasla **%0,4** daha fazla olduğu gözlenmiştir. Ölçülen yıllık performans oranının Elazığ bölgesinde güneş enerjisi üretimi için güneş potansiyelinin uygun olduğunu göstermektedir.

- Ocak 2018 - Temmuz 2018 arasında ortalama kapasite faktörü ölçülen sistemde %18,86 iken, simüle edilen sistemde %18,05 olarak bulunmuştur. Ölçülen sistemin simüle edilen sistemden **%4,3** daha fazla olduğu gözlenmiştir.

Bu çalışmada 7 aylık üretim verileri ile kıyaslama yapılmıştır. Ancak, en doğru karşılaştırma sonuçlarına birkaç yıllık üretim verilerinin ortalamasının simülasyon verileri ile karşılaştırılması halinde mümkün olacaktır.

5.2 Öneriler

Araştırmanın hedeflerine ulaşılmış ve bu yüksek lisans tezi kapsamında yürütülen çalışmalardan aşağıdaki öneriler yapılmıştır:

- Verileri simülasyon araçlarında uygulamadan önce uydu ve ölçülen meteorolojik verilerde değerlendirilmelidir.
- Kirlenmeye ilişkin daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Bu çalışma için kirlenme kayıpları, saha için 30 dakikalık ölçülen çökme esasına göre tahmin edilmiştir. Bununla birlikte, bağımsız kirlenme ölçümleri kirlenme kayıplarının daha doğru belirlenmesini sağlar.
- Döndürme veya güneş izleme sistemleri tasarım içine dahil edildiğinde çıkış enerjisinin artacağını doğrulamak için daha fazla araştırma yapılabilir. Birkaç izleme sistemi vardır; maksimum güç noktası izleme, yatay, kuzey-güney veya doğu-batı, iki eksenli izleme vb. takibi izleme. Yüksek sıcaklıklarda meydana gelen yüksek kayıpları çözmek için, soğutma sistemleri geliştirilebilir veya yeni modüller minimum sıcaklıkla yüksek sıcaklıklarda tasarlanabilir.
- Enerji verimliliği simülasyonu ve tahmin doğruluğunu iyileştirmek için Elazığ koşulları için en iyi şekilde çalışan ışınlanma transpozisyonu ve dekompozisyon modelleri geliştirilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Karki,P., Adhikary, B. ve Sherpa,K., (2012). “ Comparative Study of Grid-tied Photovoltaic (PV) System in Kathmandu and Berlin Using PVSyst ”, 2012 IEEE Third International Conference on Sustainable Energy Technologies (ICSET), 24-27 September 2012, Kathmandu-Nepal.
- [2] Mona Al, A. ve Emziane, M., (2013). “Performance Analysis of Rooftop PV Systems in Abu Dhabi”, Energy Procedia, 42: 689-697.
- [3] Sharma, V. ve Chandel, S.S., (2013). “Performance Analysis of a 190 kWp Grid Interactive Solar Photovoltaic Power Plant in India’, Energy, 55:476-485.
- [4] Ma, T., Yang, H. ve Lu, L., (2014). “Development of a Model to Simulate the Performance Characteristics of Crystalline Silicon Photovoltaic Modules/Stings/Arrays”, Solar Energy, 100: 31-41.
- [5] Irwan, Y.M., Amelia, A.R., Irwanto, M., Fareq, M., Leow, W.Z., Gomesh, N. ve Safwati, I., (2015). “Stand-Alone Photovoltaic (SAFV) System Assesment using PVSYST Software”, Energy Procedia, 79: 596-603.
- [6] Okello, D., Van Dyk, E.E., ve Vorster,F.J., (2015). “Analysis of Measured and Simulated Performance Data of a 3.2 kWp Grid-connected PV System in Port Elizabeth, South Africa ”, Energy Conversion and Management, 100: 10-15.
- [7] Ahsan, S.,Javed, K., Rana, A.S. ve Zeeshan,M., (2016). “Design and Cost Analysis of 1 kW Photovoltaic System Based on Actual Performance in Indian Scenario ”, Perspectives in Science, 8: 642-644.
- [8] Malvoni, M., Fiore, M.C., Maggiotto, G., Mancarella, L., Quarta, R., Radice, V., Congedo, P.M. ve De Giorgi, M.G., (2016). “Improvements in the Predictions for the Photovoltaic System Performance of the Mediterranean Regions ”, Energy Conversion and Management, 128: 191-202.
- [9] Malvoni, M., De Giorgi, M.G. ve Congedo, P.M., (2017). “Study of Degradation of a Grid Connected Photovoltaic System”, Energy Procedia, 126: 644-650.
- [10] Sukumaran, S. Ve Sudhakar, K., (2017). “Fully Solar Powered Airport: A Case Study of Cochin International Airport ”, Journal of Air Transport Management, 62: 176-188.
- [11] Mewes, D., Monsalve, P., Gustafsson, I., Hasan, B., Palen, J., Nakakido, R., Capobianchi, E. ve Österlund, B., (2017). “Evaluation Methods for Photovoltaic

- Installations on Existing Buildings at the KTH Campus in Stockholm, Sweden ”, Energy Procedia, 115: 409-422.
- [12] Malvoni, M., Leggieri, A., Maggiotto, G., Congedo, P.M. ve De Giorgi, M.G., (2017). “Long Term Performance, Losses and Efficiency Analysis of a 960 kWp Photovoltaic System in the Mediterranean Climate”, Energy Conversion and Management, 145: 169-181.
- [13] Li, C., Zhou, D., Yu, W., Wang, H., Zhu, D., Sun, M. ve Li, G., (2017). “Performance of Off-grid Residential Solar Photovoltaic Power Systems Using Five Solar Tracking Modes in Kunming, China”, International Journal of Hydrogen Energy, 42: 6502-6510.
- [14] Makarova, A., (2017). Study, Design and Performance Analysis of a Grid-Connected Photovoltaic System, Bachelor Thesis, Helsinki Metropolia University of Applied Sciences, Degree Programme in Environmental Engineering, Vaasa.
- [15] PVGIS, Solar Radiation, <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>, 12 Temmuz 2018.
- [16] Masters, G.M., (2013). Renewable and Efficient Electric Power Systems, Second Edition, John Wiley & Sons Inc., United States in America.
- [17] Messenger, R.A. ve Ventre, J., (2010). Photovoltaic Systems Engineering, Third Edition, CRC Press, Boca Raton-Florida.
- [18] Mertens, K. (2014). Photovoltaics: Fundamentals, Technology and Practice, First Edition, Wiley, United Kingdom.
- [19] The Mathworks, Inc., Example: Partial shading of a pv module, <https://se.mathworks.com/help/physmod/sps/examples/partial-hading-of-a-pv-module.html?searchHighlight=partial%20shading>, 15 Temmuz 2018.
- [20] Honsberg, C., Degradation and Failure Modes, <http://pveducation.org/>, 15 Temmuz 2018.
- [21] Jordan, D.C. ve Kurtz, S.R., (2013). “Photovoltaic Degradation Rates—An Analytical Review”, Progress in photovoltaics: Research and Applications, 21: 12-29.
- [22] REC Solar ASA, (2014). Degradation in Rec Panels Ensuring Long-lasting High Performance of Rec Panels, NE-11-05-05, Singapore.
- [23] Özgün, H., (2018). Fotovoltaik Enerji Sistemleri, Üçüncü Baskı, Günder Yayınları, İstanbul.
- [24] International Energy Agency, (2014). World Energy Outlook, OECD/IEA, France.
- [25] Boxwell, M., (2017). Solar Electricity Handbook, Eleventh Edition, Greenstream Publishing, United Kingdom.
- [26] DNV GL, Project Certification of Photovoltaic Power Plants, <https://www.dnvgl.com/services/project-certification-of-photovoltaic-power-plants-65488>, 06 Ağustos 2018.

- [27] Renewables Academy (RENAC) AG, Photovoltaic Technology, <https://www.renac.de/renac/>, 12 Ağustos 2018.
- [28] T.C Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Analizler, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ELAZIG>, 01 Eylül 2018.
- [29] Prysmian Group, Enerji Kabloları, <https://tr.prysmiangroup.com/tr/protothen-x-yalitkanli-alcak-gerilim-kablolari>, 02 Eylül 2018.
- [30] TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, Elektrik Tesisleri Genel Teknik Şartnamesi ve Uygulama Esasları, http://www.emo.org.tr/mevzuat/tmmob_mevzuati.php, 12 Eylül 2018.
- [31] Öznur Kablo, 0.6/1KV PVC İzoleli Çok Damarlı Güç Kabloları, <https://www.oznurkablo.com.tr/urunler>, 15 Eylül 2018.
- [32] Öznur Kablo, 0.6/1KV PVC İzoleli Alüminyum İletkenli Güç Kabloları, <https://www.oznurkablo.com.tr/urunler>, 15 Eylül 2018.
- [33] Guenounou, A., Malek, A., Aillerie, M.,(2016). "Comparative Performance of PV Panels of Different Technologies Over One Year of Exposure: Application to a Coastal Mediterranean Region of Algeria", Energy Conversion and Management, 114: 356-363.
- [34] Başoğlu, M.E., Kazdaloğlu, A., Erfidan, T., Bilgin, M.Z. ve Çakır, B., (2015). "Performance Analyzes of Different Photovoltaic Module Technologies under Izmit, Kocaeli Climatic Conditions", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 52: 357-365.
- [35] Ayompe, L.M., Duffy, A., McCormack, S.J. ve Conlon, M., (2010). "Measured Performance of a 1.72 kW Rooftop Grid Connected Photovoltaic System in Ireland", Energy Conversion and Management, 52: 816-825.
- [36] Adaramola, M. ve Vagnes, E., (2015). "Preliminary Assessment of a Small-Scale Rooftop PV Grid Tied in Norwegian Climatic Conditions", Energy Conversion and Management, 90: 458-465.
- [37] Kymakis, E., Kalykakis, S. ve Papazoglou, T.M., (2009). "Performance Analysis of a Grid Connected Photovoltaic Park on the Island of Crete", Energy Conversion and Management, 50: 433-438.
- [38] Al-Otaibi, A., Al-Qattan, A., Fairouz, F. ve Al-Mulla, A. (2015). "Performance Evaluation of Photovoltaic Systems on Kuwaiti Schools' Rooftop", Energy Conversion and Management, 95: 110-119.
- [39] Marion, B., Adelstein, J., Boyle, K., Hayden, H., Hammond, B., Fletcher, T., et al.(2005). "Performance Parameters for Grid-Connected PV Systems", In Photovoltaic Specialists Conference, 3-7 Ocak 2005, Lake Buena Vista, USA.
- [40] Allouhi, A., Saadani, R., Kousksou, T., Saidur, R., Jamil, A. ve Rahmoune, M.,(2016). "Grid-Connected PV System Installed on Institutional Buildings: Technology Comparison, Energy Analysis and Economic Performance", Energy and Buildings, 130: 188-201.

- [41] Rehman, S. ve El-Amin, I., (2012). "Performance Evaluation of an Off-Grid Photovoltaic System in Saudi Arabia", *Energy*, 46: 451-458.
- [42] Mermoud, A. ve Wittmer, B., PVSyst User's Manual, <https://vdocuments.mx/pvsyst-tutorials.html>, 25 Eylül 2018.
- [43] PVsyst, PVSyst Help, <http://files.pvsyst.com/help/>, 25 Eylül 2018.
- [44] Solmetric, Solmetric Suneye, www.solmetric.com/, 26 Eylül 2018.
- [45] Hunter Research and Technology, LLC, Theodolite in app store, <https://itunes.apple.com/us/app/theodolite/id339393884?mt=8>, 28 Eylül 2018.
- [46] Diez-Mesiavilla, M., Alonso-Tristan, C., Rodriguez-Amigo, M.C., Garcia-Calderon, T., ve Dieste-Velasco, M.I.,(2012). "Performance Analysis of PV Plants: Optimization for Improving Profitability", *Energy Conversion and Management*, 54: 17-23.
- [47] CW Enerji, CWT270-60PP, <https://www.cw-enerji.com/urun/cwt-24-volt-280-watt-60-hucrel-i-polikiristal-gunes-paneli-kopya/>, 01 Ekim 2018.
- [48] SEI-API, Grid-Connected PV Systems (No Battery Storage), <https://www.ppa.org.fj/seidp-background/solar-wind-resource-maps/>, 05 Ekim 2018.
- [49] Babatunde, A.A. ve Abbasoğlu, S.,(2015). " Evaluation of Field Data and Simulation Results of a Photovoltaic System in Countries with High Solar Radiation", *Turkish Journal of Electrical&Computer Sciences*, 23: 1608-1618.
- [50] Faranda, R., Gualdoni, M., Leva, S., Monaco, M. Ve Timidei, A. (2011). "Analysis of a PV System with Single-Axis Tracking Energy Production and Performances", 3rd International Conference on Clean Electrical Power, ICCEP, 14-16 Ocak, Ischia, Italy.
- [51] Bohra, R.,(2014). " Performance Analysis of 1 MW SPV Plant; Temperature Corrected PR", *Energetica India*.
- [52] Kumi, E.N., ve Brew-Hammond, A., (2013). "Design and Analysis of a 1 MW Grid-Connected Solar PV system in Ghana", *African Technology Policy Studies*, No:78.
- [53] Gottschalg, R., Betts, T.R., Infield, D.G., Kearney, M.J., (2005). "The Effect of Spectral Variations on the Performance Parameters of Single and Double Junction Amorphous Silicon Solar Cells", *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 85: 415-428.

FV MODÜL KATALOG BİLGİLERİ

CW Enerji®**PERC POLİKİSTAL ■ 60PP (270 - 290 Wp)****CWT
GÜNEŞ
PANELİ****CW ENERJİ****Yüksek Dönüşüm Verimliliği**

Yüksek Panel Verimliliği Sayesinde, Yüksek Güç Çıkışı Garantî Eder.

**Kendi Kendini Temizleyen ve Yansımayı Azaltan Cam**

Cam Üzerindeki Özel Kaplama Yüzey Tozunu Azaltır.

**Düşük Işınmada Yüksek Verimlilik**

Sabah ve Bulutlu Hava Koşullarında Dahî Yüksek Panel Verimliliği

**Mükemmel Dayanım Kapasitesi**

2400 Pa Rüzgar Yüğü, 5400 Pa Kar Yüğüne Karşı Dayanım

**0~+5W Pozitif Güç Toleransı**

PERC POLİKİSTAL ■ 60PP (270 - 290 Wp)

CWT GÜNEŞ PANELİ

ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER

Model Tipi	CWT270-60PP	CWT275-60PP	CWT280-60PP	CWT285-60PP	CWT290-60PP
Maksimum Güç (P_{max})	270 Wp	275 Wp	280 Wp	285 Wp	290 Wp
Modül Verimliliği	16,55	16,89	17,09	17,43	17,63
Maksimum Güç Gerilimi (V_{mp})	32,22	32,58	32,76	33,24	33,58
Maksimum Güç Akımı (I_{mp})	8,40	8,45	8,55	8,60	8,65
Açık Devre Gerilimi (V_{oc})	38,10	38,52	38,70	39,24	39,48
Kısa Devre Akımı (I_{sc})	8,94	9,03	9,09	9,15	9,19
Güç Toleransı	0~+5W				
Maks. Sistem Anma Gerilimi	1000V DC				
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-40 ~ +85°C				
Güvenlik	C Sınıfı				
Maks. Seri Sigorta Akımı	15A				

MEKANİK ÖZELLİKLER

Hücre Boyutu	156,75 mm x 156,75 mm
Hücre Sayısı	60 (6X10)
Ağırlık	18 kg
Panel Boyutu	1648x995x35mm
Maks. Rüzgar/Kar Yüğü Dayanımı	2400/5400 Pa
Bağlantı Kutusu	IP67

SICAKLIK KATSAYISI

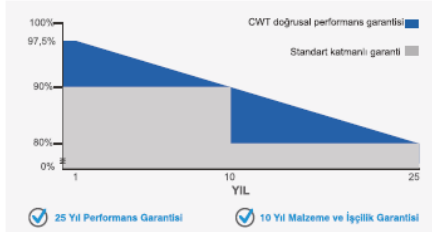
Sıcaklık Katsayısı (I_{sc})	0.06%/°C
Sıcaklık Katsayısı (V_{oc})	-0.34%/°C
Sıcaklık Katsayısı (P_{max})	-0.44%/°C

AMBALAJ ŞEKLİ

Konteyner	20' GP	40' GP
Palet Başına Adet	31	31
Konteyner Başına Adet	434	868



Kolay Kurulum



CWT290-60PP 290 Wp

CWT285-60PP 285 Wp

CWT280-60PP 280 Wp

CWT275-60PP 275 Wp

CWT270-60PP 270 Wp



SERTİFİKALAR



IEC 61215, IEC 61730, IEC 62804 (PID-Free)
IEC 62716 (Amortizasyon Testi)
IEC 61701 (Tuz Testi)
TS EN 13501-6 (Tutunabilirlik Testi)
ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, OHSAS 18001:2007

İşınma (W/m²)

*Not: Elde edilen verilerin; Standart Test Koşulları: 1000 W/m² güneş ışınımı, 1,5 hava kütlesi ve hücre sıcaklığı 25°C. Nominal Test Koşulları: 800 W/m² güneş ışınımı, ortam sıcaklığı 20°C, rüzgar hızı 1m/s. Teknik destek için lütfen bize ulaşın info@cw-enerji.com. Gerçek veriler yapılan sözleşmelere tabi olacaktır. Bu parametreler sadece referans amaçlıdır ve bu sözleşmelerin bir parçası değildir. Teknik özellikler, önceden haber verilmeksizin değiştirilebilir.

CW Enerji

İNVERTER KATALOG BİLGİLERİ

Smart String Inverter

SUN2000-36KTL

**Smart**

- 8 strings intelligent monitoring and fast trouble-shooting
- Power Line Communication (PLC) supported
- Smart I-V Curve Diagnosis supported

Efficient

- Max. efficiency 98.8%, European efficiency 98.6% (g480Vac)
- Max. efficiency 98.6%, European efficiency 98.4% (g380Vac / 400Vac)
- 4 MPPT per unit, effectively reducing string mismatch

Safe

- DC switch integrated, safe and convenient for maintenance
- Residual Current Monitoring Unit (RCMU) integrated
- Fuse free design

Reliable

- Natural cooling technology
- Protection degree of IP65
- Type II surge arresters for both DC and AC

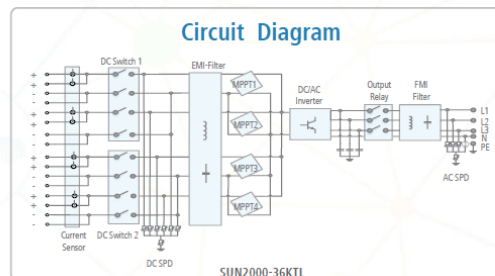
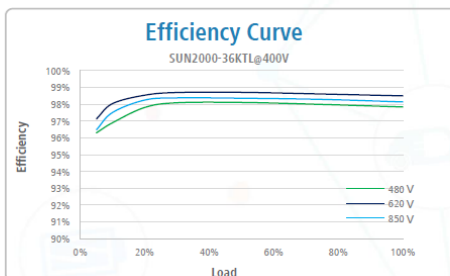
Always Available for Highest Yields

solar.huawei.com/eu/

Smart String Inverter (SUN2000-36KTL)



Technical Specifications		SUN2000-36KTL
Efficiency		
Max. Efficiency		98.8% @480 Vac; 98.6% @380 Vac / 400 Vac
European Efficiency		98.6% @480 Vac; 98.4% @380 Vac / 400 Vac
Input		
Max. Input Voltage		1,100 V
Max. Current per MPPT		22 A
Max. Short Circuit Current per MPPT		30 A
Start Voltage		250 V
MPPT Operating Voltage Range		200 V ~ 1000 V
Rated Input Voltage		620 V @380 Vac / 400 Vac; 720 V @480 Vac
Number of Inputs		8
Number of MPP Trackers		4
Output		
Rated AC Active Power		36,000 W
Max. AC Apparent Power		40,000 VA
Max. AC Active Power (cosφ=1)		Default 40,000 W; 36,000 W optional in settings
Rated Output Voltage		220 V / 380 V, 230 V / 400 V, default 3W+N+PE; 3W+PE optional in settings
Rated AC Grid Frequency		50 Hz / 60 Hz
Rated Output Current		54.6 A @380 Vac, 52.2 A @ 400 Vac, 43.4 A @480 Vac
Max. Output Current		60.8 A @380 Vac, 57.8 A @400 Vac, 48.2 A @480 Vac
Adjustable Power Factor Range		0.8 LG ... 0.8 LD
Max. Total Harmonic Distortion		< 3%
Protection		
Input-side Disconnection Device		Yes
Anti-islanding Protection		Yes
AC Overcurrent Protection		Yes
DC Reverse-polarity Protection		Yes
PV-array String Fault Monitoring		Yes
DC Surge Arrester		Type II
AC Surge Arrester		Type II
Insulation Detection		Yes
Residual Current Monitoring Unit		Yes
Communication		
Display		LED Indicators, Bluetooth + APP
USB		Yes
RS485		Yes
Power Line Communication (PLC)		Yes
General		
Dimensions (W×H×D)		930 x 550 x 283 mm (36.6 x 21.7 x 11.1 inch)
Weight (with mounting plate)		62 kg (136.7 lb.)
Operating Temperature Range		-25 °C ~ 60 °C (-13°F ~ 140°F)
Cooling Method		Natural Convection
Max. Operating Altitude		4,000 m (13,123 ft.)
Relative Humidity		0 ~ 100%
DC Connector		Amphenol Helios H4
AC Connector		Waterproof PG Terminal + OT Connector
Protection Rating		IP65
Topology		Transformerless
Standard Compliance (more available upon request)		
Certificate		EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, IEC62116
Grid Code		IEC 61727, VDE-AR-N4105, VDE 0126-1-1, BDEW 2008, G59/3, UTE C 15-712-1, CEI 0-16, CEI 0-21, RD661/2007, RD 1699/2011, RD 413/2014, PO 12.3, EN-50438-Turkey, EN-50438-Ireland, PEA, MEA, Resolution No.7, NRS 097-2-1



The text and figures reflect the current technical state at the time of printing. Subject to technical changes. Errors and omissions excepted. Huawei assumes no liability for mistakes or printing errors. For more information, please visit solar.huawei.com. Version No. 01-(201806)

NYY KABLO KATALOG BİLGİLERİ

Tip	YW-U, YW-R (TSE), NYI (VDE), Cu/PVC/PVC (BS)
Standartlar	TS IEC 60502-1, VDE 0276
Yapısı	Bakır iletken, PVC izole, PVC Dolgu, PVC dış kılıf
Kullanıldığı Yerler	Şebeke aydınlatma ve güç kablosu olarak kullanılan bu kablo fazla mekanik zorlamaların olmadığı dahili, harici toprak altında, ve kablo kanalında kullanılır.
Teknik Veriler	Maks. çalışma sıcaklığı 70°C Maks. kısa devre sıcaklığı ≤ 300 mm ² için 160°C >300 mm ² için 140°C Minimum bükülme yarı çapı 12*D D: Kablo dış çapı (mm)

Boyut ve Ağırlıklar				Elektriksel Bilgiler		
Nominal Kesit	Dış Çap Yaklaşık	Net Ağırlık Yaklaşık	1000 m Kablo İçin Sevk Makara Ölçüleri	20° C' de İletken DC Direnci (Maks.)	Akım Taşıma Kapasitesi	
					Toprakta (A)	Havada (A)
mm ²	mm	kg/km	cm	ohm/km		
4x1.5 re	12,0	200	90	12,1	27	19
4x2.5 re	13,0	260	90	7,41	36	25
4x4 re	15,0	350	100	4,61	47	34
4x6 re	16,0	460	110	3,08	59	43
4x10 rm	19,0	680	120	1,83	79	59
4x16 rm	21,0	960	130	1,15	102	79
4x25 rm	25,5	1450	140	0,727	133	100
4x35 rm	28,5	1900	150	0,524	159	125
4x50 rm	32,5	2500	160	0,387	188	153
4x70 rm	36,5	3420	200	0,268	232	195
4x95 rm	42,0	4650	220	0,193	280	238
4x120 rm	46,0	5720	230	0,153	318	275
4x150 rm	51,0	7000	200*	0,124	359	320
4x185 rm	56,0	8800	210*	0,0991	406	364
4x240 rm	63,0	11200	230*	0,0754	473	430
4x300 rm	70,0	14200	230*	0,0601	535	510
4x400 rm	78,0	18000	210**	0,0470	613	595
5x4 re	16,0	420	110	4,61	47	34
5x6 re	17,5	540	120	3,08	59	43
5x10 rm	21,0	825	130	1,83	79	59
5x16 rm	23,5	1160	140	1,15	102	79
5x25 rm	28,0	1740	150	0,727	133	100
5x35 rm	31,5	2320	160	0,524	159	125
5x50 rm	36,0	3020	180	0,387	188	153
5x70 rm	40,5	4160	220	0,268	232	195
5x95 rm	47,0	5750	240*	0,193	280	238
5x120 rm	50,0	7400	200*	0,153	318	275
5x150 rm	55,0	9000	210*	0,124	359	320
5x185 rm	62,0	11500	220*	0,0991	406	364
5x240 rm	69,0	14500	200**	0,0754	473	430

re: Tek telli iletken YW-U • rm: Bükülü iletken YW-R
* 500 metre kablo için • **250 metre kablo için

NAYY KABLO KATALOG BİLGİLERİ

TEKNİK ÖZELLİKLER								
Normal Kesit	Kablo Dış Çapı	Akım Taşıma Kapasitesi				İletken DC Direnci (20°C)	Net Ağırlık	Sevk Uzunluğu
mm ²	mm	Havada ▲	Toprakta ...	Havada ...	Toprakta ▲	Ohm/Km	Kg/Km	Mt
4x10	19.90	53	59	-	-	3.08	563	1000
4x16	22.30	71	77	-	-	1.91	711	1000
4x25	25.70	93	99	-	-	1.20	962	1000
4x35	28.40	115	119	-	-	0.868	1,192	1000
4x50	33.00	134	135	-	-	0.641	1,598	1000
4x70	37.10	167	165	-	-	0.443	2,069	1000
4x95	43.00	207	198	-	-	0.320	2,806	1000
4x120	46.10	240	225	-	-	0.253	3,268	500
4x150	50.90	277	254	-	-	0.206	3,978	500
4x185	56.50	316	286	-	-	0.164	4,937	500
4x240	63.90	377	332	-	-	0.125	6,373	500
4x300	71.50	433	376	-	-	0.100	7,850	500

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Zeynep TANIŞ
Doğum Tarihi ve Yeri : Alacakaya / 03.09.1991
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : zynpctnts@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Elektrik Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniv.	2019
Lisans	Elektrik-Elektronik Mühendisliği	Marmara Üniv.	2015
Lise	Sayısal	Yavuz Selim Lisesi	2009

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2016	Solvo Solar Enerji	Proje Mühendisi
2015	İnovsa Enerji	Elektrik Mühendisi

YAYINLARI

Bildiri

1. Tanış, Z. ve Altıntaş, N., (2018). “Elazığ’da Yer Alan 3.153,6 kWp Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralinin Performans Analizi”, Uluslararası Fen ve Mühendislik Kongresi, 04-06 Eylül 2018, Girne-Kıbrıs

Proje

2. An Efficient Colour Based Image Retrieval

ÖDÜLLERİ

3. Üniversite Bölüm Derecesi

