



**BİLECİK İLİ AKPINAR VE DÜZDAĞ GÜNEŞ
ENERJİ SANTRALLERİNİN
PERFORMANSLARININ PV SYST PROGRAMI
YARDIMI İLE KARŞILAŞTIRILMASI**

Abdullah Samed NAZİKSOY

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Sezayi YILMAZ**

**BİLECİK İLİ AKPINAR VE DÜZDAĞ GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNİN
PERFORMANSLARININ PV SYST PROGRAMI YARDIMI İLE
KARŞILAŞTIRILMASI**

Abdullah Samed NAZİKSOY

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Sezayi YILMAZ**

**KARABÜK
Nisan 2022**

Abdullah Samed NAZİKSOY tarafından hazırlanan “BİLECİK İLİ AKPINAR VE DÜZDAĞ GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNİN PERFORMANSLARININ PV SYST PROGRAMI YARDIMI İLE KARŞILAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Sezayi YILMAZ

.....

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 28/04/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Metin KAYA (KBÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Sezayi YILMAZ (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Volkan KIRMACI (BÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Abdullah Samed NAZİKSOY

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİLECİK İLİ AKPINAR VE DÜZDAĞ GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNİN PERFORMANSLARININ PV SYST PROGRAMI YARDIMI İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Abdullah Samed NAZİKSOY

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Sezayi YILMAZ

Nisan 2022, 88 sayfa

Dünyada hızla artan nüfus ve sanayileşme enerji arzının taleplerine yetersiz kalmıştır. Enerji üretimi için fosil yakıtlı enerji kaynakları iklimsel bozulmalar ve çevre kirliliğine yol açması ile yenilenebilir enerji kaynaklarına doğru yatırımlar sürekli yükselmiştir. Güneş'ten Dünya'ya ışınım yoluyla gelen enerji fotovoltaik sistemler ile elektrik üretimine dönüştürülür.

Bu çalışmada, Bilecik ili için PVsyst simülasyon programı ile Metenorm 8.0 meteorolojik değerleri şebekeye bağlı örnek bir güneş enerji santrali projesinin tasarımı ayrıntılı olarak açıklanmıştır. PVsyst simülasyon programından elde edilen veriler ile Düzdağ 999 kWh_{AC} - 1146 kWh_{DC} gücünde ve Akpınar 980 kWh_{AC} - 1161 kWh_{DC} gücünde Güneş Enerji Santrallerinde bulunan çift yönlü sayaçlardaki enerji

Üretim değerleri ve inverterlerin uzaktan izleme portal verileri karşılaştırılarak benzerlikleri, farklılıkları hesaplanmıştır.

Tez çalışmasında iki ayrı konumda bulunan GES tesisleri için farklı markalarda ve modellerde bulunan güneş panelleri, inverterler ve trafolar ile ilgili karşılaştırmalar yapılıp santral verimleri hesaplanmıştır. Düzdağ GES tesisinde performans oranı %95 iken Akpınar GES tesisinde performans oranı %93 olarak bulunmuştur.

Anahtar Sözcükler : On grid, Güneş enerji santrali (GES), Alternatif Akım (AC), Doğru Akım (DC), Simülasyon.ve inverter.

Bilim Kodu : 92802

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

COMPARISON OF THE PERFORMANCES OF AKPINAR AND DUZDAĞ SOLAR POWER PLANTS IN BİLECİK WITH THE HELP OF THE PV SYST PROGRAM

Abdullah Samed NAZİKSOY

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Energy Systems Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Sezayi YILMAZ

April 2022, 88 pages

Rapidly increasing population and industrialization in the world have fallen short of the demands of energy supply. Investments in renewable energy sources have steadily increased as fossil fuel energy sources for energy production lead to climatic degradation and environmental pollution. Energy from the Sun to Earth by radiation is converted into electricity generation by photovoltaic systems.

In this study, the design of a sample solar power plant project with meteorological values of Metenorm 8.0 connected to the grid with the PVsyst simulation program for Bilecik Province is explained in detail. The similarities and differences were calculated by comparing the data obtained from the PVsyst simulation program with the energy production values and remote monitoring portal data of inverters in the two-way meters (SPP) with a power of Düzdağ 999 kWh_{AC} - 1146 kWh_{DC} and Akpınar 980

kWh_{AC} - 1161 kWh_{DC}.

In the thesis study, comparisons were made with solar panels, inverters and transformers of different brands and models for (SPP) facilities in two different locations and the efficiency of the plant was calculated. While the performance rate at Düzdağ facility was 95%, the performance rate at Akpınar facility was 93%.

Key Word : On grid, Solar power plant (SPP), Alternating Current (AC), Direct Current (DC), Simulation and inverter.

Science Code : 92802

TEŞEKKÜR

Tez alıőmamda yardımlarını esirgemeyen ve tüm değerli katkılarıyla yol gösteren baőtta danıőman hocam Prof. Dr. Sezayi YILMAZ'a teşekkür ederim.

İş hayatum sürerken yüksek lisans eğitimim için gerekli zamanı, imkânı ve desteği veren Emin Yenilenebilir Enerji firması Genel Müdürü Ünal ÖZALP ve değerli iş arkadaşlarım Adem SANDIKÇI, Mehmet Can BOZDEMİR'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca maddi ve manevi olarak desteğini esirgemeyen, her başarımın mimarı, yoğun çalışma temposunda sevgisini ve őefkatini esirgemeyen aileme özellikle çok değerli eőim Ayőenur NAZİKSOY' a teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. KONU İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	3
BÖLÜM 2	7
YENİLENEBİLİR ENERJİ VE GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ.....	7
2.1. DÜNYADA YENİLENEBİLİR ENERJİ VE GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ.....	7
2.2. TÜRKİYE’DE YENİLENEBİLİR ENERJİ VE GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ.....	8
2.3. BİLECİK İLİ YENİLENEBİLİR ENERJİ VE GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ.....	13
2.3.1. Bilecik İli Güneş Enerjisi Potansiyeli.....	15
BÖLÜM 3	17
GÜNEŞ PİLLERİ (FOTOVOLTAİK SİSTEMLER).....	17
3.1. GÜNEŞ PİLLERİ ÇEŞİTLERİ.....	17
3.1.1. Tek Kristal (Monokristalin) Silisyum Güneş Pilleri.....	18
3.1.2. Çok Kristal (Polykristalin) Silisyum Güneş Pilleri	19
3.1.3. İnce Film Güneş Pilleri	19
3.1.4. Fleksibl ve Bakır İndiyum Galyum Diseleneid (CIGS) Güneş Pilleri ...	20

	<u>Sayfa</u>
3.1.5. Half-Cut (Yarı Kesim) Hücreli Güneş Pilleri.....	20
3.2. FOTOVOLTAİK GÜNEŞ PANELLERİ ÜRETİMİ.....	22
3.2.1. Birinci Aşama İngot (Kütük) Üretimi.....	23
3.2.2. İkinci Aşama Wafer (Yonga) Üretimi	23
3.2.3. Üçüncü Aşama Hücre Üretimi.....	23
3.2.4. Dördüncü Aşama Panel (Modül) Üretimi	23
3.3. GÜNEŞ PANELLERİ BAĞLANTI ŞEKİLLERİ	28
3.3.1. Fotovoltaik Güneş Pilleri Seri Bağlanması	29
3.3.2. Fotovoltaik Güneş Panelleri Paralel Bağlanması	30
BÖLÜM 4	33
MATERYAL VE METOD	33
4.1. PVSYST 7.2 SİMÜLASYON PROGRAMI.....	33
BÖLÜM 5	49
BİLECİK İLİ AKPINAR VE DÜZDAĞ GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNİN PERFORMANS ANALİZİ VE PVSYST SİMÜLASYON PROGRAMI İLE KARŞILAŞTIRILMASI.....	49
5.1. DÜZDAĞ GES VE AKPINAR GES KULLANILAN EKİPMANLAR.....	50
5.1.1. Düздаğ GES ve Akpınar GES Kullanılan Ortak Ekipmanlar	50
5.1.2. Düздаğ GES ve Akpınar GES Kullanılan Farklı Ekipmanlar.....	56
5.2. DÜZDAĞ GES VE AKPINAR GES ENERJİ ÜRETİM PERFORMANSINI ETKİLEYEN PARAMETRELER.....	57
5.2.1. Düздаğ GES ve Akpınar GES Enerji Üretim Performansını Etkileyen Çevresel Faktörler	57
5.2.1.1. Güneşlenme Süresi ve Güneş Işınımı Faktörü.....	57
5.2.1.2. Sıcaklık ve Rüzgâr Faktörü.....	58
5.2.1.3. Güneş Panellerinin Tozlanması veya Kirlenmesi Faktörü.....	58
5.2.2. Düздаğ GES ve Akpınar GES Enerji Üretim Performansını Etkileyen Sistemsel Faktörler.....	58
5.3. DÜZDAĞ GES VE AKPINAR GES TEKNİK BİLGİLER VE ÜRETİM DEĞERLERİ.....	59
5.4. DÜZDAĞ VE AKPINAR GES YILLIK ENERJİ ÜRETİM DEĞERLERİ KARŞILAŞTIRILMASI	69

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 6	72
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	72
KAYNAKLAR	75
EK AÇIKLAMALAR A. DÜZDAĞ GES VE AKPINAR GES ENERJİ ÜRETİM VERİLERİNİN KULLANILMASI İÇİN İZİN EVRAĞI	78
EK AÇIKLAMALAR B. DÜZDAĞ GES VE AKPINAR GES FOTOVOLTAİK GÜNEŞ PANELLERİ VE İNVERTERLERİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ	80
EK AÇIKLAMALAR C. DÜZDAĞ GES VE AKPINAR GES PVSYSY SİMÜLASYON PROGRAMI VERİLERİ	85
ÖZGEÇMİŞ	88

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1.	Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli atlası.....	9
Şekil 2.2.	Türkiye güneşlenme kuşağı haritası	10
Şekil 2.3.	Türkiye yıllık ortalama güneşlenme süresi (1991-2020)	11
Şekil 2.4.	Türkiye aylık ortalama güneşlenme süreleri (1991-2020).	11
Şekil 2.5.	Türkiye aylık ortalama global radyasyon değerleri (2020).....	12
Şekil 2.6.	Bilecik ilinin güneş enerjisi potansiyeli atlası.....	15
Şekil 2.7.	Bilecik ili aylara göre günlük ortalama global radyasyon değerleri	16
Şekil 2.8.	Bilecik ili aylara göre günlük ortalama güneşlenme süresi.....	16
Şekil 3.1.	Tek kristal silikon hücre	18
Şekil 3.2.	Sırasıyla half-cut ve normal güneş pilleri.....	21
Şekil 3.3.	Half-Cut güneş pilleri hücre dizilimi.....	21
Şekil 3.4.	Silikon maddeden güneş paneli üretim aşaması.....	22
Şekil 3.5.	Örnek bir güneş panelinin sıcaklığa göre elektrik parametreleri eğrisi...	25
Şekil 3.6.	Örnek bir güneş panelinin belirli ışık radyasyonlarında (W/m^2) akım – gerilim eğrisi.....	26
Şekil 3.7.	Güneş pillerinin seri bağlantısı.....	29
Şekil 3.8.	Güneş pillerinin örnek bir projede seri bağlantısı.	30
Şekil 3.9.	Güneş pillerinin paralel bağlantısı.....	31
Şekil 3.10.	Güneş pillerinin DC toplama panolarındaki paralel bağlantısı.	32
Şekil 4.1.	PVsyst 7.2 simülasyon programı açılış ekranı.	34
Şekil 4.2.	Şebeke bağlantılı (Grid Connected) bölümü.	35
Şekil 4.3.	Çevrimiçi harita (Interactive map) bölümü.....	36
Şekil 4.4.	Coğrafi koordinatlar (Geographical coordinates) bölümü.	36
Şekil 4.5.	Aylık meteoroloji verileri (Monthly meteo) bölümü.	37
Şekil 4.6.	Proje ve veriler (Project and variant) bölümü.	38
Şekil 4.7.	Veriler sekmesi ve tesis yönlendirilmesi (Variant and Orientation) bölümü.....	39
Şekil 4.8.	Veriler sekmesi ve sistem seçimi (Variant and Sub array) bölümü.	40
Şekil 4.9.	Ufuk çizgisi ve gölgelemeler seçimi (Horizon and far shadings) bölümü.....	41

Şekil 4.10. Gölgelemeler 3 boyutlu çizim seçimi (Near shadings 3D scene) bölümü.....	42
Şekil 4.11. Konstrüksiyon alanı gölgeleme seçimi (Shading scene construction) bölümü.....	43
Şekil 4.12. Enerji işletimi seçimi (Energy management Variant) bölümü.....	44
Şekil 4.13. Ekonomik değerlendirme seçimi (Economic evaluation) bölümü.....	45
Şekil 4.14. Proje ve değişkenler simülasyon seçimi (Project and Variant Simulation) bölümü.....	46
Şekil 4.15. Akpınar Ges simülasyon sonuçları (Results variant Akpınar Ges) bölümü.....	47
Şekil 5.1. Düzdağ ve Akpınar GES kuş uçuşu mesafe	49
Şekil 5.2. Beton köşk trafo binası.....	50
Şekil 5.3. Alçak gerilim (AG) bölümü.....	51
Şekil 5.4. Trafo bölümü.....	52
Şekil 5.5. Orta gerilim (OG) bölümü.....	53
Şekil 5.6. Konstrüksiyon seçimi.....	54
Şekil 5.7. Fotovoltaik güneş paneli seçimi.....	55
Şekil 5.8. İnverter (Evirici) seçimi	55
Şekil 5.9. DC Box.....	56
Şekil 5.10. Düzdağ GES araziye göre yerleşim planı uydu görüntüsü.....	59
Şekil 5.11. Akpınar GES araziye göre yerleşim planı uydu görüntüsü.....	60
Şekil 5.12. Düzdağ GES sahasında 1 MGW gücünde bulunan tesisin yerleşim planı.....	60
Şekil 5.13. Akpınar GES sahasında 1 MGW gücünde bulunan tesisin yerleşim planı.....	61
Şekil 5.14. Düzdağ GES ve Akpınar GES 2020 yılının aylık enerji üretim PVsyst verileri, Çift yönlü sayaç verileri ve Uzaktan izleme portal verileri karşılaştırılması.....	64
Şekil 5.15. Bilecik ili MEVBİS meteoroloji verileri, Düzdağ GES ve Akpınar GES sahaları PVsyst simülasyon programı Metenorm meteoroloji verileri yıllık aylara göre toplam global radyasyon değerleri karşılaştırılması.....	66
Şekil 5.16. Düzdağ GES sahasında PVsyst programının oluşturduğu yıllık ortalama kayıpların diyagramı.....	67
Şekil 5.17. Akpınar GES sahasında PVsyst programının oluşturduğu yıllık ortalama kayıpların diyagramı.....	68

Sayfa

Şekil Ek A.1. Düzdağ GES ve Akpınar GES enerji üretim verilerinin kullanım izni.....	79
Şekil Ek B.1. Düzdağ GES fotovoltaik güneş panelleri teknik özellikleri.	81
Şekil Ek B.2. Akpınar GES fotovoltaik güneş panelleri teknik özellikleri.....	82
Şekil Ek B.3. Düzdağ GES inverterlerin teknik özellikleri.	83
Şekil Ek B.4. Akpınar GES inverterlerin teknik özellikleri.....	84
Şekil Ek C.1. Düzdağ GES PVsyst simülasyon programı verileri.....	86
Şekil Ek C.2. Akpınar GES PVsyst simülasyon programı verileri.	87

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. 2017-2019 Yılı Dünya Geneli Güneş Enerji Sistemleri Üretim Kapasiteleri Karşılaştırılması.....	8
Çizelge 2.2. Türkiye’de bölgelere göre yıllık güneş enerjisi potansiyeli.....	9
Çizelge 2.3. TEİAŞ Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik Kapsamında Kapasite Tahsis Tablosu (Mayıs 2019).....	14
Çizelge 3.1. Örnek bir güneş panelinin standart test koşullarında elektrik parametreleri	25
Çizelge 3.2. Örnek bir güneş panelinin nominal çalışma hücre sıcaklığında elektrik parametreleri	27
Çizelge 3.3. Örnek bir güneş paneli termal özellikleri.....	27
Çizelge 3.4. Örnek bir güneş paneli montajında kullanılan yapı malzemeleri özellikleri	28
Çizelge 5.1. Düzdağ GES ve Akpınar GES konumları ve arazi büyüklükleri.....	50
Çizelge 5.2. Düzdağ GES ve Akpınar GES ekipmanları ve bilgileri.	62
Çizelge 5.3. Düzdağ ve Akpınar GES aylara göre 2020 yılının Pvsyst simülasyon, Çift yönlü sayaçtaki (kWh) üretim değerleri ve İnverterlerin uzaktan izleme portal verileri.	63
Çizelge 5.4. Düzdağ GES ve Akpınar GES için Pvsyst simülasyon programı ile oluşturulmuş aylık ortalama ışımaya, sıcaklık, enerji üretimi ve performans verileri.	65
Çizelge 5.8. Düzdağ ve Akpınar GES Yıllık toplam Pvsyst simülasyon, Çift yönlü sayaçtaki kWh üretim değerleri ve inverterlerin uzaktan izleme portal verileri.	69
Çizelge 6.1. Düzdağ ve Akpınar GES aylara göre çift yönlü sayaçtaki kWh üretim değerleri karşılaştırılması.....	72

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Si : silisyum

Pc-Si : çok kristalli silisyum

CdTe : kadmiyum tellür

V : voltaj

A : amper

W : watt

kWp : kilowatt peak

kWh : kilowatt saat

kWe : kilowatt elektrik

MW : megawatt

GW : gigawatt

°K : kelvin derece

°C : santigrat derece

mm : milimetre

cm : santimetre

m : metre

km : kilometre

kg : kilogram

KISALTMALAR

- 3D : Üç Boyutlu
- AC : Alternating Current (Alternatif Akım)
- AG : Alçak Gerilim
- CIGS : Bakır İndiyum Galyum Selenid
- DC : Direct Current (Doğru Akım)
- EF : Energy Fermi (Fermi Enerjisi)
- EPDK : Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
- EVA : Ethylene Vinyl Acetate (Etilen Vinil Asetat)
- GES : Güneş Enerji Santrali
- HES : Hidroelektrik Santrali
- MGM : Meteoroloji Genel Müdürlüğü
- MPPT : Maximum Power Point Tracking (Maksimum Güç Noktası Takibi)
- NOCT : Nominal Operating Cell Temperature (Nominal Hücre Çalışma Sıcaklığı)
- NREL : National Renewable Energy Laboratory (Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı)
- ONAN: Oil Natural Air Natural (Yağ Dolaşımı Hava Dolaşımı)
- OG : Orta Gerilim
- OMGİ : Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonları
- PR : Performance Ratio (Performans Oranı)
- PV : Photovoltaic (Fotovoltaik)
- RES : Rüzgar Enerji Santrali
- OSOS : Otomatik Sayaç Okuma Sistemi
- TL : Türk Lirası

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Geçmişten günümüze enerji, insanların en önemli ihtiyaçları olup doğrudan ve dolaylı olarak taleplerine göre değişkenlik göstermiştir. Enerjiyi diğer enerji biçimlerine dönüştürmeden önce doğada var olan işlenmemiş enerji taşıyıcılarına birincil enerji kaynakları olarak adlandırılır. Ham petrol, taş kömürü, doğal gaz, uranyum bu kaynakların örnekleridir. Bitkiler yaşamlarını sürdürebilmek için klorofil aracılığıyla güneş enerjisinden yararlanmaktadırlar. Biz insanlar ise yaşamını devam ettirmek için vücudumuza aldığımız bitkisel ve hayvansal besin maddelerini yakarak metabolizmamızı işlemesini ve kaslarımızın hareketini sağlarız. Enerji zincirinde ilk sırada olan güneş ve daha sonra bitkiler enerjiyi üretici, hayvanlar ve insanlarda enerjiyi tüketici olarak görülmektedir.

Enerji yoktan var edilemez ve var olandan da yok edilemez. Kelime anlamı olarak enerji, depolanmış iş gücü veya iş yapabilme yeteneğine denir. Örnek olarak bir motosiklete için yakıt olarak kullanılan benzin göz önünde bulundurulduğunda; benzin depo edilmiş kimyasal enerji türüdür. Benzinin içten yanmalı motorunda ısı enerjisine ve pistonların hareketiyle de kinetik enerjiye dönüşür. Motosikletin hareketinde oluşan mekanik enerji ise ısı ve kinetik enerjisi ile birlikte oluşmuştur. Eğer motosiklet bir yokuşa tırmanır ise enerji, potansiyel enerjiye dönüşecektir. Depolanmış enerjinin bir başka biçimleri de nükleer santrallerde ve atom bombasında kullanılan ağır bir atom çekirdeğinin parçalanırken çok büyük enerji açığa çıkarması ve güneşte sürekli olan tepkimelerden küçük çekirdekler (döteryum ve trityum) birleşirken çok büyük miktarda enerji açığa çıkar [1].

Güneş enerjisi sınırlı bir kaynak değildir. Güneş de oluşan tepkimeler çok uzun yıllar daha devam edileceği düşünülüyor. Nüfus artışı ile enerji kaynaklarındaki yetersizlik ile güneş ışınları olduğu müddetçe güneş enerjisine olan ihtiyaçta devam edecektir.

Canlıların da yaşamaya devam edebilmesi için güneş ışınlarına da her zaman ihtiyacı olacaktır. Yeryüzünde bütün yenilenebilir enerji kaynakları, farklı teknolojiler kullanılarak doğrudan veya dolaylı olarak başka enerjiye dönüştürülebilir. Bu kaynakların temelini ise güneş enerjisi oluşturur. Güneşten ışınım yayılımı, kızılötesi ışınımından mor ötesi ışınımına kadar uzanan, geniş bir dalga boyu spektrumunda yayıldığından, beyaz ışık olarak adlandırılır. Bu tür ışınım yayılımından bir sulama motorunu çalıştıracak bir makineye mekanik enerjisi olarak güç vermek için yüksek derecede ısı enerjisinden elektrik üretmek veya fotovoltaik (PV) etki ile doğrudan elektriğe dönüştürülerek kullanılır.

Güneş enerjisinden elektrik üretimi günümüzde büyük ölçüde artarak binalarda, sanayilerde ve elektrik üretim tesislerinde yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır.

PV panellerin elektrik üretimi avantajları, herhangi bir fosil yakıt kullanılmadan bağımsız enerji üretebilirler. Kullanılan enerji doğada var olan bedelsiz ve güneş ışınları olduğu sürece sürekli olan bir kaynağı vardır. PV güneş enerji santrallerinde bulunan güneş panelleri kurulumdan sonra uzun yıllar arıza oluşturmadan çalışabilirler. Güneş takip sistemi olmayan sabit konstrüksiyonlu güneş enerji santrallerinde mekanik aksam az olduğu için, bakımları ve işletme maliyetleri de az olmaktadır. PV güneş enerji santralleri iklim koşullarına ve doğa olaylarına karşı dayanıklıdır. Enerji ihtiyacına yakın olan yerlerde buldukları için enerji kaybı ve enerji iletim maliyeti yoktur. Modüler yapıda oldukları için enerji talebinin artması ile sistem ekipmanları da arttırılabilir.

PV panellerin elektrik üretimi dezavantajları, kullanılabilir düzeyde enerji üretebilmek için geniş alan kaplayan daha fazla sayıda PV panellere ihtiyaç vardır. Enerji üretimi yaz aylarında fazla iken kış aylarında azalmaktadır ve güneş battığından doğana kadar üretim yoktur. Güneş ışınımı değişken ve süreli olduğundan depolama için alan gereklidir. PV güneş enerji santralleri ilk kurulum maliyeti yüksek olduğu için yatırım olarak ekonomik görülmez. Güneş ışınımından sürekli olarak faydalanmak için santralin bulunduğu alanın etrafı açık olmalı ve gölgelemeler oluşmamalıdır [2].

Güneş enerji santrallerinin elektrik üretimlerinde bölgenin enlemi, boylamı, ışınım değeri, sistemde kullanılan malzeme ve teknoloji, bölgenin yükseltisi (rakım), rüzgâr, sıcaklık, nem, bitki örtüsü vb. faktörler etkili olmaktadır. Güneş enerji santralleri birbirleri ile kıyaslanırken bu parametreler dikkate alınmalıdır.

Bu çalışmada konum uzaklıkları, güçleri (DC-AC) birbirine yakın ancak yükseltileri farklı iki güneş enerji santrallerinden (GES) aylık - yıllık elde edilen veriler, üretim değerleri ve performansları (7.2 PVsyst) simülasyon programı yardımı ile karşılaştırılmıştır. Yükseltinin üretimi etkileyen durumları detaylı olarak açıklanmıştır. İki güneş enerji santralinin iklimsel meteorolojik verileri birbirine benzerdir. Rakımı yüksek olan Düzdağ güneş enerji santralinde rüzgâr hızı daha fazladır. İki güneş enerji santraline de yakın Meteoroloji istasyonu Bozüyük ilçesinde bulunmaktadır. Santrallere yakın olan bir başka Meteoroloji istasyon bulunmadığı için iklimsel veriler araştırmada eklenmemiştir. Karşılaştırılan güneş enerji santrallerinde doğru akım (DC) ve alternatif akım (AC) güçleri arasında çok az fark vardır. İki santralde bulunan malzeme ve teknolojiler farklı markalarda olmasına rağmen güçleri, verimlilikleri, kayıpları birbirine çok yakın değerlerdedir.

1.1. KONU İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Literatürde dünyadaki güneş enerji santrallerinin verimliliklerinin veya kayıplarının incelendiği çalışmalar mevcuttur. Yapılan incelemelerde kullanılan simülasyon yazılımları, güneş enerji santralleri üretim değerleri daha önce benzer konularda yazılmış çalışmalar incelenmiş ve genel olarak fotovoltaik solar sistemlerin açıklamalarına yer verilmiştir. Fotovoltaik solar sistem simülasyon programı vasıtasıyla modelleme yapılarak elde edilen simülasyon sonuçlarının kullanıldığı ya da üretimde olan fotovoltaik sistem verileri kullanılarak performans değerlendirmesinin yapıldığı birçok çalışma mevcuttur.

Girgin yaptığı çalışmada, PVsyst programı ile farklı fotovoltaik solar sistemlerde enerji üretim değerlendirilmesini ve ekonomik analizini gerçekleştirmiştir. Ayrıca güneş enerji santrali kurulacak sahayı detaylı olarak incelemiş ve fotovoltaik güneş

paneli yerleşimini farklı deneysel çalışmalar ile incelemiştir. Çalışmada en verimli güneş paneli eğim açısını 30^0 olacağı değerlendirilmiştir [3].

Sharma ve diğ. (2013), bu çalışması Hindistan Khatkar - Kalan'da 190 kWp kurulu gücünde ve on grid etkileşimli fotovoltaik güneş enerji sistemi üzerinedir. Bu çalışmada tesisin performans oranları, Tesisden elde edilen pratik ölçüm sonuçları ve PVsyst simülasyon sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Yıllık olarak 190 kWp fotovoltaik güneş pili tesisinin kapasite faktörü, ortalama performans oranı (PR) ve sistem verimliliği sırasıyla %74, %9,27 ve %8,3 'dür [4].

Kumar ve diğerleri (2017), 100 kWp şebekeye bağlı Si-poli fotovoltaik güneş pili sistemin performansını analiz etmektedir. Simülasyon edilmiş sistemde 323 adet Si-poli fotovoltaik güneş pili modülü vardır. Her bir fotovoltaik güneş pili modülü 310 Wp gücündedir. Simülasyon PVsyst V6.52 yazılımını kullanılmıştır. 100 kWp PV sistemi 165.38 MWh / yıl üretmekte ve bunun dışında sadece 161.6 MWh / yıl şebekeye enerji aktarılmıştır. Yıllık performans oranı %80 olup ve inverterlerden aktarılan enerji 4.42 kWh / kWp gündür [5].

Atalay Ayran çalışmasında, Kütahya Belediyesi tarafından inşası düşünülen 500 kWe güce sahip Evliya Çelebi Güneş enerji santrali için, PVsyst V6.78 programı ile benzetimi yapmış ve yıllık olarak olası enerji üretim değerlerinin analizlerini eklemiştir. 336 kWh güce sahip farklı tipte fotovoltaik güneş pili kullanılarak sistem tasarımı ve bu sistemin ekonomik analizini yapmıştır. Çalışmasında yatırım geri dönüş süresini 6 yıl olarak bulmuştur [6].

Keskin çalışmasında, Niğde Güneş enerji santrali yapımında kullanılan malzemelere bağlı olarak PVsyst V6.78 programının deneme sürümünde modelleme yapmış. Güneş enerji santralinde en yüksek performans oranı Ocak ayında gerçekleşmesi ve fotovoltaik güneş pili modüllerin kışın 33^0 , yazın ise 10^0 lik eğime ayarlanması ile en verimli çalıştığını ortaya çıkarmaktadır. Projesinde öngörülen rakamlarla gerçekleşen üretim rakamları kıyaslayıp tahmin edilenden %1.72 oranında daha yüksek bir performans gerçekleştiği gözlemiştir [7].

Koçak çalışmasında, Büyükçekmece ilinde kurulması planlanan Güneş enerji santrali için 4 farklı güneş panel türü ve 2 farklı evirici modeliyle üretim değerlerini PV*SOL simülasyon programı ile hesaplayıp ekonomik ve enerji analizlerini karşılaştırma yapmıştır. Bu karşılaştırmalar neticesinde verimi en yüksek sistemin Ç grubu (Canadian Solar- ABB evirici) ile elde edildiği gözlemlenmiş ve maliyet analizi için değişkenlerin de detaylı bir şekilde incelenmesine ihtiyaç duyulup karar verilmesi sonucuna varmıştır [8].

Demiryürek çalışmasında, PVSyst simülasyon programının kullanılması ile ilgili detaylı bilgiler vermiştir. Siirt ilinde bulunan 200 kWp gücündeki Lebit Güneş enerji santrali için PVSyst simülasyon programı ile verilerin oluşturulması için uygulama adımları detaylı olarak inceleme yapmıştır. Güneş enerji santralinin üretim değerleri ve PVSyst simülasyon programı üretim değerleri arasında %0,56'lık bir fark bulmuştur. Düzenli olarak kar ve toz temizliğinin yapılmasının daha fazla enerji üreteceği sonucuna varmıştır [9].

Aksangör çalışmasında, Ankara ilinde bulunan bir binanın çatısında kurulması planlanan şebekeye bağlı fotovoltaik güneş enerji santrali için PVSyst simülasyon programı ile performans verilerini oluşturmuştur. Çatı alanına yerleştirilecek fotovoltaik güneş panellerini gücünü 604,8 kWp hesaplayıp, yıllık üretim değerini 712 MWh olacağını öngörmüştür. Sistem performans değerini %84,1 olarak hesaplayıp başarılı olarak bir yatırım olacağını bulmuştur [10].

Kılıcı çalışmasında, Kayseri ilinde bulunan 500 kWe şebekeye bağlı fotovoltaik güneş enerji santrali 6 yıllık elektrik üretim verileri ile PVSyst simülasyon programında elde edilen veriler arasında %2'lik bir fark olduğu yıllara göre kıyaslanmıştır. Kayseri ilinde 5 farklı güneş enerji santrali tasarımı yapıp bu sistemlerin en verimlisi sabit sistemli çift yüzeyli fotovoltaik güneş paneli performans oranı olarak %90,48 bulmuştur [11].

Çınaroğlu çalışmasında, Kilis ilinde bulunan üç adet on grid güneş enerji santralinin son üç yıla ait enerji üretim verileri ile PVSyst simülasyon programı verilerini karşılaştırmıştır. Her üç santralin de kış aylarındaki üretim değerleri simülasyon

programındaki üretim değerlerinin altında olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca Kilis 7 Aralık Üniversitesi kurulacak GES projesi için PVsyst simülasyon programı ile yıllık üretim değerini 1736 MWh olup ve tüketimin %57,59 kısmını karşıladığını bulmuştur [12].

BÖLÜM 2

YENİLENEBİLİR ENERJİ VE GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ

2.1. DÜNYADA YENİLENEBİLİR ENERJİ VE GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ

Yakın zamanda enerji arz-talebinin artmasıyla ve bununla birlikte iklim koşullarının değişmesi, çevre kirliliği, sanayileşme ve fosil yakıtların bir gün tükenecek olması enerjiyi temiz ve sınırsız üretilmesi için insanlar yenilenebilir enerjiye yönelimi artırmışlardır. Yenilenebilir enerji termik enerji ile karşılaştırıldığında giderek daha ucuz maliyetli duruma gelmiştir. Tüm dünyada yenilenebilir enerjinin yükselişi, ülkelerin politikaları, hedefleri ve karbon gazının azaltılması çabası ile olmuştur. Gelişen ve gelişmekte olan ülkeler yatırımlarını yenilenebilir enerji tarafında ve arge çalışmalarında kullandılar. Yenilenebilir enerji yatırımları, kurulumları sırasında özel sektör ve insanlar için iş kaynağı olmakla beraber yatırımların işletme sonrasında iş olanakları devam etmiştir. Dünyada genel olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları güneş, rüzgâr, hidrolik, biokütle, jeotermal, hidrojen ve dalga olmak üzere sınıflandırılmıştır [9].

Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş, dünyadan kilometrelerce uzakta ve diğer enerji kaynaklarının da kökeni olmuştur. Güneşin çekirdeğinde gerçekleşen sürekli olarak hidrojen yüksek ısı ve basınç altında helyum atomlarına dönüşmesi ile nükleer füzyon olur. Bu tepkimede oluşan ısı ve ışık uzaya yayılarak daha sonra da yeryüzüne ulaşmaktadır. Dünyaya ulaşan bu enerjinin az bir kısmı farklı yöntemlerle enerji üretimi için kullanılmaktadır. Güneş enerjisinden en fazla faydalanılan enerji üretim yöntemleri fotovoltaik enerji ve ısıl güneş enerjisi teknolojileridir. Fotovoltaik hücreler diğer adıyla güneş pilleri yarı-iletken malzemelere gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çevirirler. Isıl güneş enerjisi sistemlerinde güneş enerjisinden gelen ısı enerjisi doğrudan veya dolaylı olarak kullanılmaktadır. Güneş

enerjisi sistemlerinde üretilen bu ısı enerjisi su ısıtma gibi diğer farklı sıvıları ısıtıp bu enerji elektrik enerjisine dönüştürülmektedir.

Fotovoltaik ve güneş enerjisi uygulamaların ülkelere ait sistem kurulu güçleri ve toplam elektrik enerjisi üretim miktarları 2017 ve 2019 yılları arasındaki karşılaştırılması Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. 2017-2019 Yılı Dünya Geneli Güneş Enerji Sistemleri Üretim Kapasiteleri Karşılaştırılması [10,11].

Ülke	Fotovoltaik Sistem Kurulu Güç (2017) (MW)	Fotovoltaik Sistem Kurulu Güç (2019) (MW)	Toplam Elektrik Üretimi (2017) (GW)	Toplam Elektrik Üretimi (2019) (GW)
Çin	131.000	204.700	108.200	223.800
ABD	51.000	61.000	77.965	72.200
Almanya	42.394	49.000	39.996	46.500
Japonya	49.000	63.000	62.343	74.000
İtalya	18.910	20.800	25.215	24.000
Fransa	6.549	9.400	9.245	11.600
Türkiye	3.400	6.000	2.720	9.500
Dünya	399.613	629.000	442.600	699.000

Güneş enerjisi uygulamalarında fotovoltaik güneş enerjisi teknolojileri son yıllarda kayda değer artışlar görülmektedir. Büyümelerde artış da ilk sıralarda Çin ve Amerika olmak üzere Türkiye de büyük ilerlemeler olmuştur. Güneş enerjisi fotovoltaik sistemleri üretim kapasiteleri kıyaslandığında Çin 204.700 Megawatt (MW) ile dünya genelinde ilk sıradadır. Sonrasında Amerika ve Japonya gelmektedir. Dünya da 2019 yılı güneş enerjisi kurulu gücü 629.000 MW olup, toplam elektrik enerjisi üretimi 699.000 GWh’tir [10,11]. 2020 yılında en büyük güneş fotovoltaik sistemli enerji üretim kapasitesi 2245 MW ile Hindistan’daki Bhadla Solar Park santralidir [13].

2.2. TÜRKİYE’DE YENİLENEBİLİR ENERJİ VE GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ

Türkiye güneş enerjisi bakımından diğer ülkelere göre daha avantajlı bir coğrafi konuma sahiptir. Ülkemiz Avrupa ülkelerinden İspanya dışında diğer tüm ülkelerden enerji potansiyeli fazladır. Türkiye’nin güneş enerjisinden faydalanabilme potansiyeli 1400 – 1800 kWh/m² – yıl ortalamalarıdır.



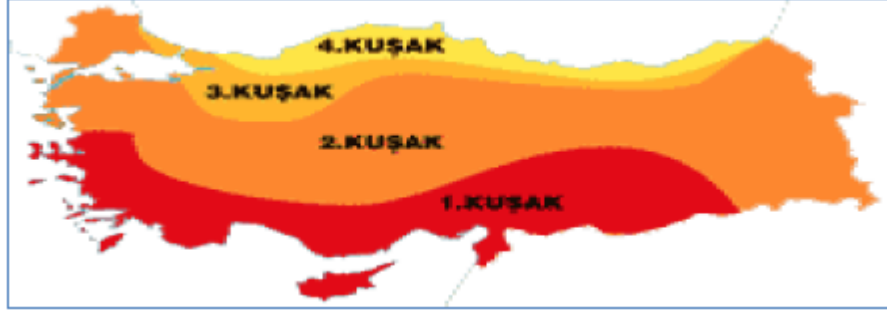
Şekil 2.1. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli atlası [14].

Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli atlasında radyasyon dağılımı en yüksek olan bölgelerde turuncu, kırmızı ve koyu kırmızı renklerde olduğu görülmüştür (Şekil 2.1). Türkiye'de coğrafi bölgelere göre kıyasla Akdeniz, Güneydoğu Anadolu, İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde radyasyon oranı yüksek kırmızı renklerde iken Marmara, Karadeniz ve Ege bölgelerinde radyasyon oranı düşük sarı yeşil ve mavi renklerde. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyel atlasına göre yıllık güneş enerjisi potansiyeli verileri bölgelerin ışınlam değerleri verilmiştir (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2. Türkiye'de bölgelere göre yıllık güneş enerjisi potansiyeli [14].

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (KWh/m ² -yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/yıl)
Güneydoğu Anadolu	1.460	2.993
Akdeniz	1.390	2.956
Doğu Anadolu	1.365	2.664
İç Anadolu	1.314	2.628
Ege	1.304	2.738
Marmara	1.168	2.409
Karadeniz	1.120	1.971

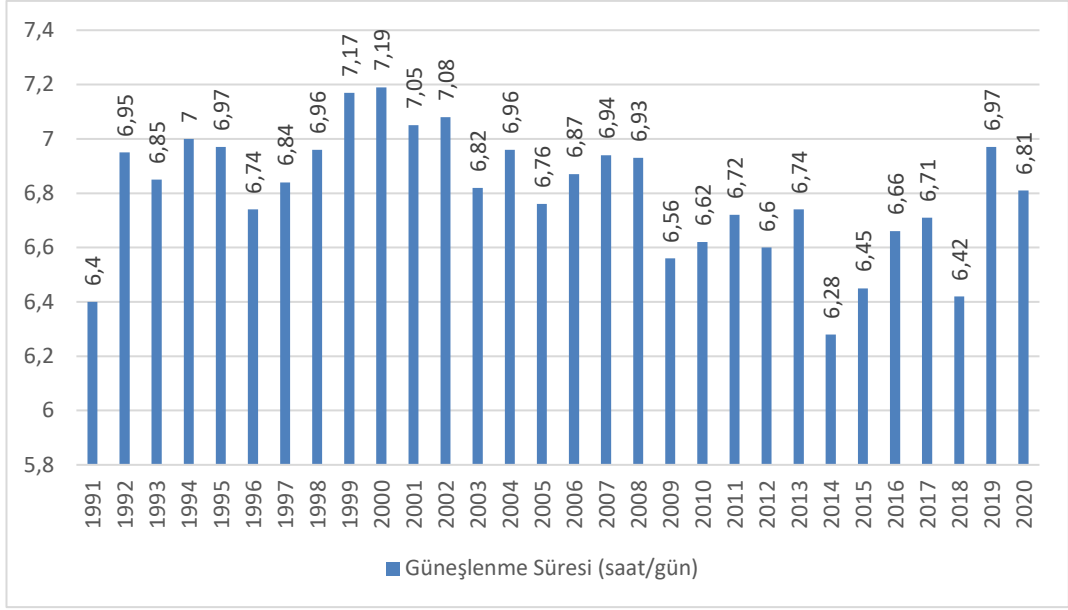
Ülkemizde yıllık ortalama toplam güneş ışınımının en küçük değeri 1120 kWh/m²-yıl ile Karadeniz Bölgesi'nde ve en büyük değeri ise 1460 kWh/m²-yıl ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde gerçekleşmektedir.



Şekil 2.2. Türkiye güneşlenme kuşağı haritası [15].

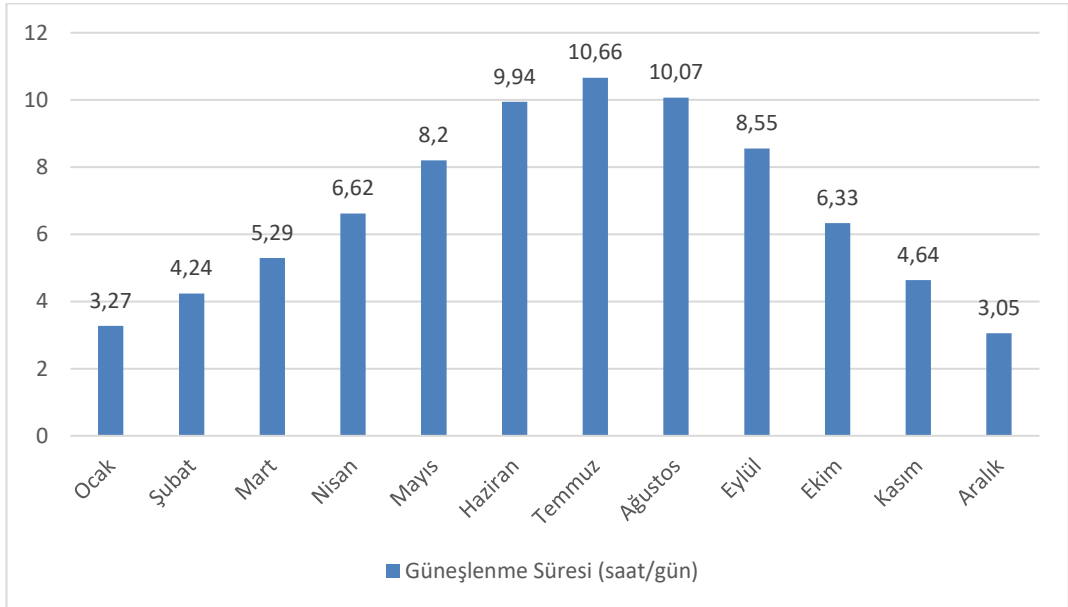
Güneş ışınım değerlerine göre Türkiye 4 kuşağa ayrılmıştır ve en verimli kuşak 1. Kuşaktır (Şekil 2.2). Türkiye'nin genel olarak güneşlenme potansiyelinin yüksek olduğunu ve bölgeler arasında çok büyük bir fark olmadığını yapılan çalışmalar göstermiştir. Bu açıdan bakılacak olursa Türkiye'de güneş enerjisinden faydalanma oranının oldukça düşük olduğu görülmektedir.

Türkiye, yıllık 110 gün gibi yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Ülkemizde gerekli yatırımların yapılması durumunda yılda birim metre kareden ortalama olarak 1100 kWh' lik güneş enerjisi üretilebilir. Şekil 2.3'te Türkiye Ortalama Güneşlenme Süresi (1991-2020) verilmiştir.



Şekil 2.3. Türkiye yıllık ortalama güneşlenme süresi (1991-2020) [16].

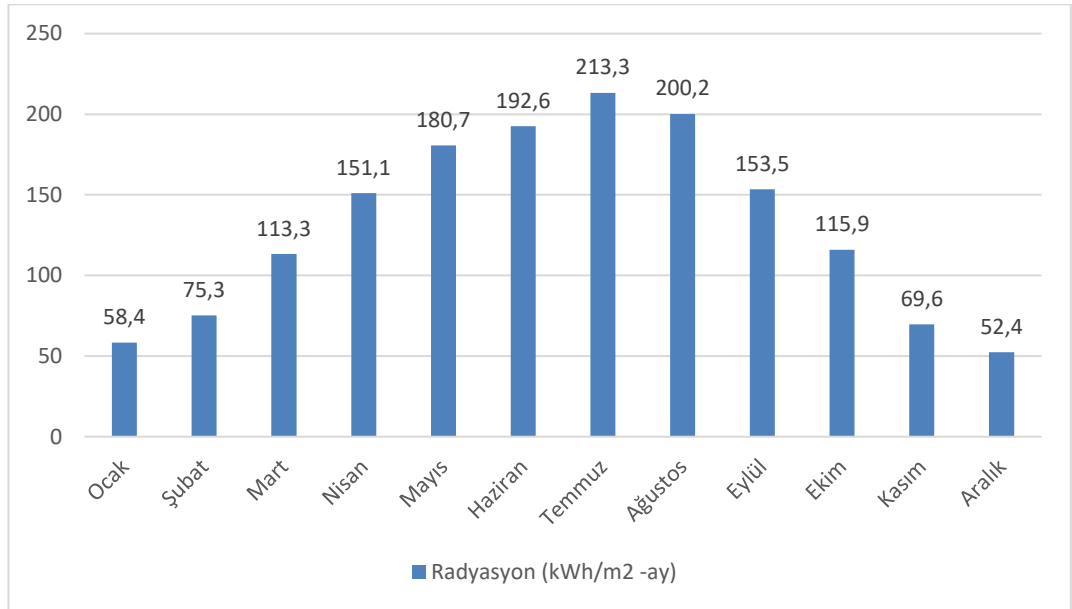
Türkiye'nin yıllara göre günlük ortalama güneşlenme sürelerine bakıldığında son otuz yılda 2020 yılında 6,81 saat/gün, 2000 yılında en yüksek değer 7,19 saat/gün, 2014 yılında en düşük değer 6,28 saat/gün' dür.



Şekil 2.4. Türkiye aylık ortalama güneşlenme süreleri (1991-2020) [17].

Türkiye'nin güneşlenme saatleri değerleri incelendiği zaman günlük ortalama güneşlenme süresinin en düşük değerine 3,05 saat ile aralık ayında, en yüksek değerine ise 10,66 saat ile temmuz ayında ulaştığı görülmektedir (Şekil 2.4).

Şekil 2.3 ve şekil 2.4'te alınan veriler 1991-2020 yılları arası Meteoroloji Genel Müdürlüğü istasyonlarında ölçüm yapılan günlük toplam güneşlenme süresi verilerinden yapılmıştır. Meteoroloji uzun yıllardır helyograf cihazı ile yapılan güneşlenme süresi ölçümleri, 2000 yılından sonra Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonlarına (OMGİ) monte edilmiş güneşlenme süresi ölçer cihazlar ile oluşturulmaktadır [18].



Şekil 2.5. Türkiye aylık ortalama global radyasyon değerleri (2020) [19].

Türkiye'nin Global Radyasyon Değerleri (kWh/m²-ay) incelendiğinde ise global radyasyon değerlerinin en yüksek oranına 213,3 ile temmuz ayında, en düşük oranına ise 52,4 ile aralık ayında ulaştığı görülmektedir.

Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası verilerinden alınan Türkiye iç güneş enerjisinden elektrik üretimi Türkiye'de iki ayrı metotla yapılmaktadır. Bunlar;

1. Elektrik enerjisi üreten tüzel ve gerçek kişilerin, ihtiyacının üzerinde ürettiği elektrik enerjisi sisteme verilmektedir. Kurulu gücü en fazla 1 MW veya Kanun'un 14'üncü maddesi çerçevesinde kurulu güç üst sınırına kadar olan şebeke bağlantılı lisanssız üretim modeli veya dağıtım - iletim sistemiyle bağlantısı olmayan şebekeden izole üretim modeli bulunmaktadır. Ülkemizde lisanssız elektrik üretimi yapan santraller; küçük sistemler şeklinde şebekeye ihtiyaç duyulmadan kendi öz tüketimini karşılayan veya şebekeye bağlantılı olup üretiminin fazlasını şebekeye veren sistemler olarak kurgulanmıştır. Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) trafo kapasitelerini lisanssız elektrik üretimi için güncel olarak açıklamaktadır.
2. Kurulu gücü 1 MW' tan daha büyük olan lisanslı üretim modelidir. Bu üretim modelinde piyasada faaliyet göstermek üzere, öz tüketim göstermek zorunda kalmadan direkt şebekeye bağlantı sağlanır. TEİAŞ tarafından açıklanan kapasite çerçevesinde her yıl Kasım ayının ilk beş iş gününde güneş enerjisine dayalı üretim tesisi kurmak amacıyla yapılacak önlisans başvuruları, EPDK tarafından alınır. EPDK başvuruların ön inceleme ve değerlendirmesini yapmaktadır. TEİAŞ ise teknik değerlendirme, şebekeye bağlantı görüşlerinin değerlendirmesini yapmaktadır. Aynı bağlantı bölgesi ve/veya aynı bağlantı noktasına bağlanmak isteyen birden fazla başvuru olması halinde sisteme bağlanacak olanın seçimi sağlanır. TEİAŞ bu seçimi üretim sahasına kurulacak alanlara verilen kapasiteler doğrultusunda düzenlediği yarışma sonucunda yapar [20].

2.3. BİLECİK İLİ YENİLENEBİLİR ENERJİ VE GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ

Bilecik ilinde yenilenebilir enerji santrallerinden; Hidroelektrik Santralleri (HES), Rüzgâr Enerjisi Santralleri, Biyokütle Enerji Santralleri ve Güneş Enerji Santralleri yer almaktadır.

Hidroelektrik Santrallerinin 3 adet olup hepsi Sakarya Nehri üzerinde özel sektör firmalarınca kurulmuştur. Toplam enerji güçleri Gök HES 13 MW, Bükör 2 HES 13 MW, Darca HES 8,91 MW elektrik değerlerindedir [21].

Bilecik ilinde bulunan rüzgâr enerjisi santralleri özel sektöre ait ve üç adet olup, ikisi aktif üretimde bir tanesi de kurulum aşamasında 2022 yılı sonu itibariyle bitmesi planlanmaktadır. Bilecik ili Bozüyük ilçesinde Metristepe Köyü mevkiinde 40 MW ve Bilecik ili Merkez Kuyubaşı, Örenköy, Yenice Köyleri mevkiisinde 32 MW güçlerinde ve faal üretimdedir. Kurulumu devam eden rüzgâr enerji santrali Bilecik ili Bozüyük ilçesi Çamyayla, Muratdere, Delielmacık, Erikli köyleri mevkiinde 90 MW gücündedir [22].

Biyokütle Enerji Santrali olarak entegre katı atık yönetimi tesisi Biosun Bilecik Entegre Katı Atık Yönetimi (EKAY) Tesisi metan gazını kojen motorlarında yakarak elektriğe dönüştürerek yılda 35 milyon kWh saat elektrik üretimi yapıyor [23].

Güneş Enerji Santralleri Bilecik ilinde Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) tarafından yayınlanan Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik Kapsamında Kapasite Tahsis Tablosu aylık belirttiği illerde veya ilçelerde bulunan her Trafo Merkezi (TM) boşlukları MW cinsinden belirtmiştir

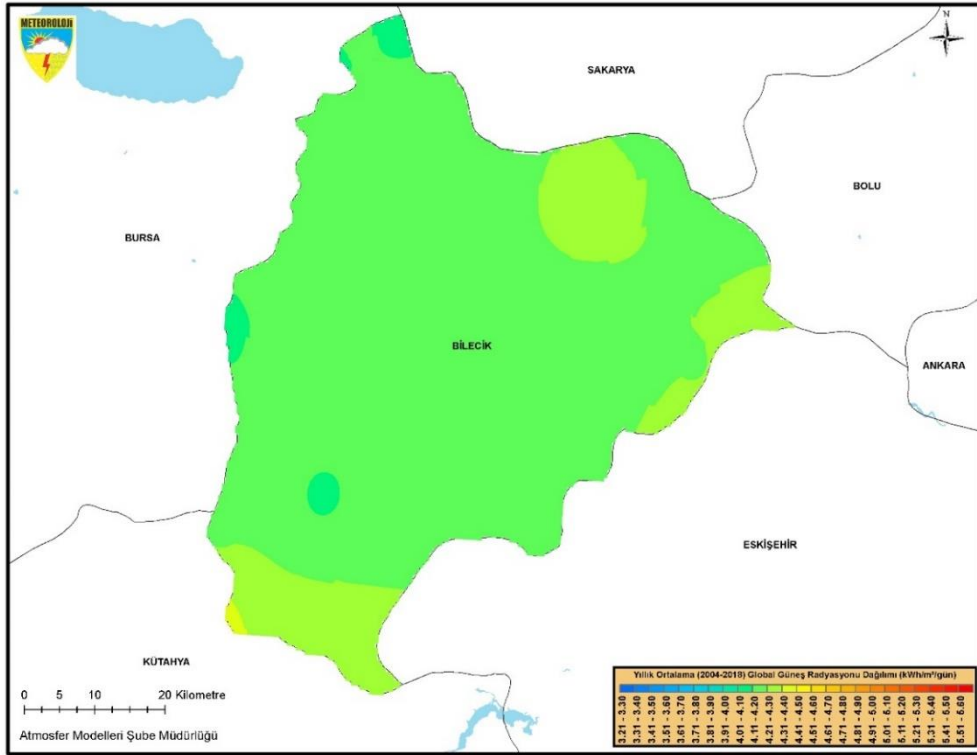
Çizelge 2.3. TEİAŞ Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik Kapsamında Kapasite Tahsis Tablosu (Mayıs 2019) [24].

TRAFO MERKEZİ ADI	OG BARA / DAĞITIM ŞİRKETİ	ÇAĞRI MEKTUBU VERİLEN GES KAPASİTESİ (MW)	ÇAĞRI MEKTUBU VERİLEN RES KAPASİTESİ (MW)	TAHSİS EDİLEN MAKSİMUM GES+RES KAPASİTESİ (MW)
Bilorsa TM	Osmangazi EDAŞ	7,59	0	7,59
Bozüyük TM	Bara A	24,45	0,05	24,5
	Bara B	12,83	0	12,83
Bozüyük OSB TM	Bara A (Osmangazi EDAŞ)	12	0	12
	Bara B (OSB)	0	0	0
Paşalar TM		8	0	8
Söğüt TM		15,9	0	15,09

Bilecik ilinde bulunan Trafo Merkezleri; Bilorsa TM, Bozüyük TM, Bozüyük OSB TM, Paşalar TM, Söğüt TM olmak üzere toplam 79,96 MW gücünde Güneş Enerji Santralleri için kapasite tahsis edilmiştir (Çizelge 2.3).

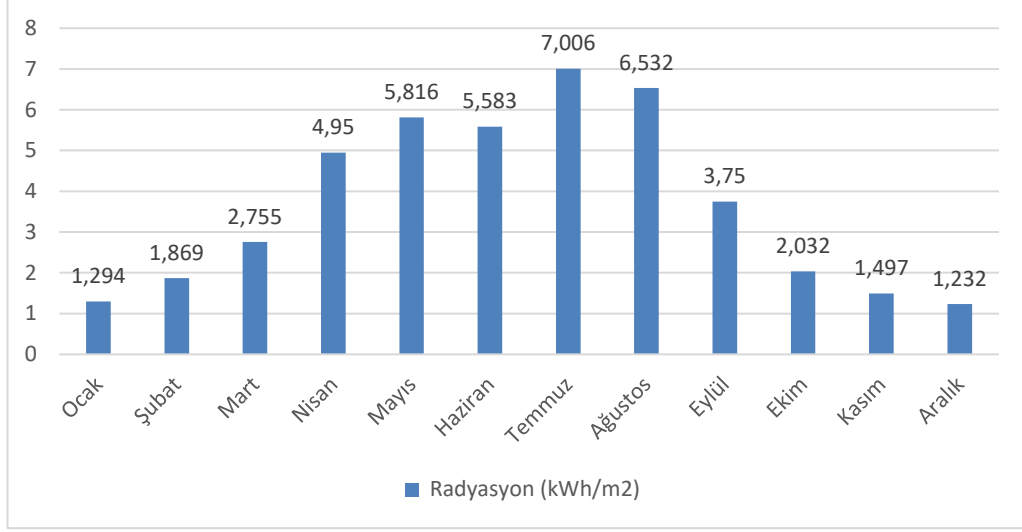
2.3.1. Bilecik İli Güneş Enerjisi Potansiyeli

Bilecik ili güneş enerjisi potansiyeli Meteoroloji Genel Müdürlüğü bilgileri doğrultusunda 2020 yılı ortalama güneş radyasyonu değeri 4,159 kWh/m²-yıl değerinde ve 2020 yılı ortalama güneşlenme saati 77,6 saat değerindedir. Şekil 2.8'de Bilecik ilinin güneş enerjisi potansiyeli haritası gösterilmiştir. Güneş enerjisi potansiyel haritası, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün resmî web sitesinden (<http://www.mgm.gov.tr>) alınmıştır.



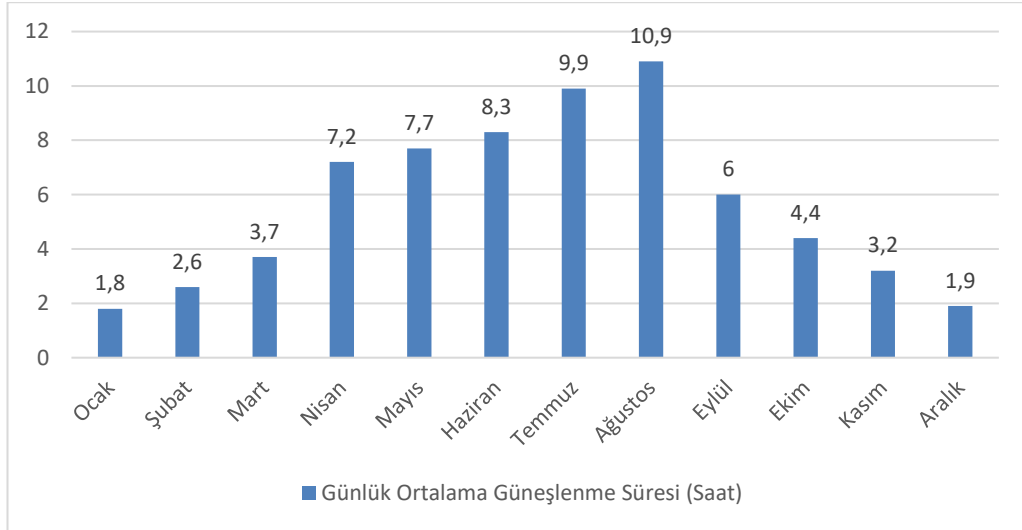
Şekil 2.6. Bilecik ilinin güneş enerjisi potansiyeli atlası [13].

Meteoroloji Genel Müdürlüğü, resmî sitesinden alınan bilgiler ile oluşturulan Şekil 2.7'de Bilecik ili toplam güneş radyasyonu miktarı aylara göre günlük ortalama (kWh/m²) ve Şekil 2.8'de aylara günlük ortalama güneşlenme süreleri verilmiştir.



Şekil 2.7. Bilecik ili aylara göre günlük ortalama global radyasyon değerleri [13].

Bilecik ilinin global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) incelendiğinde ise global radyasyon değerlerinin en yüksek oranına 7,006 ile temmuz ayında, en düşük oranına ise 1,232 ile aralık ayında ulaşıldığı görülmektedir.



Şekil 2.8. Bilecik ili aylara göre günlük ortalama güneşlenme süresi [13].

Bilecik ilinin günlük ortalama güneşlenme süreleri (saat) incelendiğinde ise en yüksek değer 10,9 saat ile ağustos ayında, en düşük değer ise 1,8 saat ile ocak ayında olduğu görülmektedir (Şekil 2.8).

BÖLÜM 3

GÜNEŞ PİLLERİ (FOTOVOLTAİK SİSTEMLER)

Güneş sistemi dünyanın kesintisiz bir enerji kaynağıdır. Dünyaya ulaşan güneş enerjisi, yaklaşık 6000 °K ve birkaç yüz kilometrelik dar bir üst kısmında ulaşmaktadır. Bu alandaki atomlar, sıcaklıklarıyla orantılı olarak ışıma yapmakta ve böylece bu bölgenin ışımasına yol açmaktadırlar. Dünya, Güneşten yaklaşık 150 milyon km uzaklıkta bulunmaktadır. Dünyaya gelen güneş enerjisi çeşitli dalga boylarındaki ışınlardan oluşmaktadır. Güneş ışınları Dünya arasını yaklaşık 8 dakikada aşarak dünyaya ulaşmaktadır. Işınlamalar saniyede 300.000 km hızla, bir başka deyişle ışık hızıyla yol almaktadırlar.

Güneş pilleri ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaiik araçlardır. Güneş pilleri yarı iletken bir diyot olarak çalışırlar. Güneş pili hücrelerinin üst tabakaları çatlamaların, kırılmaların ve enerji kaybının önlenmesi için yansımayı önleyici kaplama ve korumalardan oluşur. Bu katmanların altında ise N tipi ve P tipi yarı iletken maddeler bulunur. N ve P tipi maddeler yarı iletken maddelerin eriyik duruma geldiğinde istenilen maddeler ile kontrollü olarak eklenmesi sonucu oluşurlar. Güneş pillerinde yarı iletken madde olarak genellikle çok kristalli silisyum kullanılmaktadır [25].

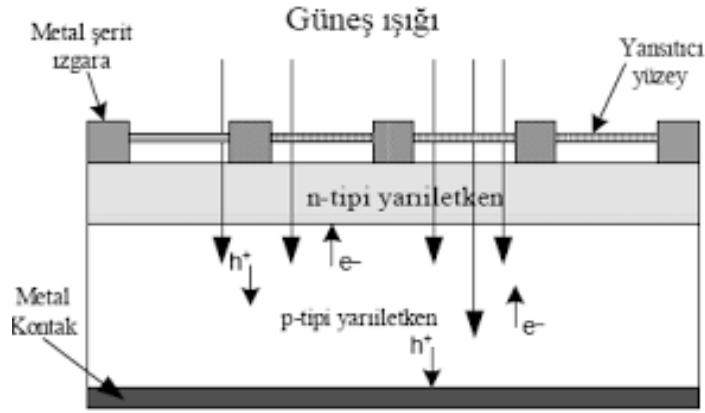
3.1. GÜNEŞ PİLLERİ ÇEŞİTLERİ

Güneş pilleri yaygın olarak kullanılan altı çeşidi açıklanacaktır. Bunlar Tek kristal silisyum, Çok kristal silisyum, ince film, Fleksibl ve bakır indiyum galyum diselenid (CIGS), Haf-Cut (Yarı kesim) güneş pili olarak sıralanabilir. Tüm güneş pili çeşitleri ise aşağıda sıralanmıştır.

3.1.1. Tek Kristal (Monokristalin) Silisyum Güneş Pilleri

Tek kristal silisyum, (veya " Monokristalin silikon ", "tek-kristal Si", "mono k-Si" veya sadece mono-Si) güneş pili üretiminde kullanılan malzemelerden biridir. Silisyum maddesinin güneş pili yapımında yaygın olarak kullanılmasının pek çok sebebi vardır. Bunlar silisyumun elektriksel, optik ve yapısal özelliklerini uzun süre koruyabilmesinden dolayıdır.

Saf tek kristal silisyum üretimi oldukça pahalı ve zordur. Dünya’da oksijenden sonra en çok silisyum elementi bulunur. Bu elementin kum ve kuvars biçimleri en yaygın olanlarıdır. Kum saflık yapısı çok az olduğu için tercih edilmez. Ama kuvars maddesinin yaklaşık %90’ı silisyumdan oluşur. Kuvars birçok işlemde geçirilerek %99 gibi bir saflıkta silika elde edilir. Kristal silikon piller, güneş pili pazarının yaklaşık %80’ini oluşturmaktadır. Bu güneş hücresi çeşidinin verimi %15 ila %23 arasında değişmektedir.



Şekil 3.1. Tek kristal silikon hücre [26].

Yukarıdaki Şekil 3.1’de gösterilen tek kristal silikon hücre; en üst yüzeyde iletici ızgara, yansıtmayan kaplama veya işlemde geçmiş yüzey katman, toplaç olarak adlandırılan ve yaklaşık 1µm kalınlığında çok ince genellikle n-tip silikon katmanı, akım üretilmesine olanak sağlayan ve birleşme yerinde yer alan, çok dar elektrik alan bölgesi, toplaç ile ters bir şekilde katkılanmış ve genellikle p-tip silikondan olan taban katman, alt kontak elektrot katmanlarından oluşur.

İlk fotovoltaik teknoloji tasarımları, fotovoltaik modül tasarımı için bir araya getirilmiş güneş hücrelerini üretmek amacıyla silisyum (Si) kullanılmıştır. Bu teknoloji günümüzde henüz önemini yitirmemiştir. Aksine kapasite ve verimliliği artırmak için sürekli geliştirilmektedir.

3.1.2. Çok Kristal (Polykristalin) Silisyum Güneş Pilleri

Çok kristal silisyum güneş pili malzemesi, elektriksel, optik ve yapısal olarak ayırdır. Damarların boyutları kalitesi ile doğru orantılıdır. Damarların arasındaki süreksizlik, elektriksel yük taşıyıcılarının aktarılmasında engelleyici rol oynar.

Çok kristal silisyum hücrelerin üretimi daha kolay ve az maliyetlidir. Çok kristalli silisyum maddesi üretiminde dökme yöntemi kullanılmaktadır. Üretim aşaması kısaca tek kristalli silisyum'un elde edilmesi için yapılan işlemlerin birçoğu aynen yapılır. Daha sonra silikadan da silisyum elde edilir. Bu aşamalardan sonra, silisyum saflaştırılarak yarı iletken özelliği taşıyan çok kristalli silisyum elde edilir. Erimiş yarı iletken silisyum, kalıplara dökülerek soğuması beklenir. Kalıplardan elde edilen bloklar kare şeklinde kesilir. Bu yöntemle üretilen güneş pili daha az verimlidir. Ama maliyeti oldukça düşüktür. Çok kristalli silisyum (pc-Si) güneş pili verimi %17-20 arasında değişmektedir.

3.1.3. İnce Film Güneş Pilleri

İnce film güneş pili, üst üste yerleştirilen aşırı ince yarı iletken katmanlardan oluşur. Ticari olarak kullanılan ince film güneş pili amorf silikondan yapılır. Bunun dışında yapımında çok kristal bakır indiyum diselenid ve kadmiyum tellür de kullanılır.

İnce film hücre teknolojisinde farklı çökeltme yöntemleri kullanılır. Bu yöntemler oldukça ucuzdur. Ayrıca kullanılan bu yöntem ile ihtiyaca göre büyüklüklerde güneş pili elde edilebilir. Dış katman olarak maliyeti düşük olan cam veya plastik esaslı malzemeler kullanılır.

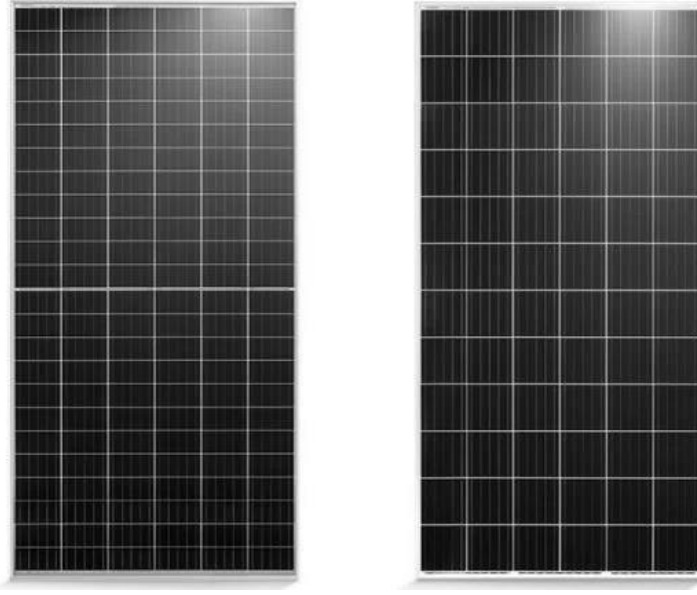
Tek kristal silikon, solar modül içinde birbirine bağlı olarak tasarlanırken, yarı iletken malzeme ve arka elektrik kontaklarına yansıtmayan kaplama ve iletken oksit katmanlar eklenir. İnce film güneş pili %12-20 arasında bir verime sahiptir.

3.1.4. Fleksibl ve Bakır İndiyum Galyum Diseleneid (CIGS) Güneş Pilleri

İnce film güneş pili çeşitlerinden bir diğeride Bakır indiyum galyum diseleneid olanıdır. Kısaca CIGS olarak adlandırılır. CIGS güneş pili diğer ince film güneş hücrelerinden daha yüksek bir verime sahiptir. CIGS Kadmiyum Tellür (CdTe) güneş pilleri teorik olarak %30 verime sahipken, uygulama koşullarında en fazla %25 verime ulaşmaktadır. Bu güneş pilleri elektriksek olarak içten bağlantılı olup tek parça halinde üretilebilir. Son yıllarda rulo halinde olan esnek güneş pilleri oldukça popülerdir. Hatta, özellikle solar çatı sistemleri için fleksibil CIGS güneş pili çeşidi kullanılmaktadır. Hafif ve rulo şeklini alabilen bu CIGS güneş pilleri, uzay teknolojisi uygulamalarında yüksek potansiyele sahiptir.

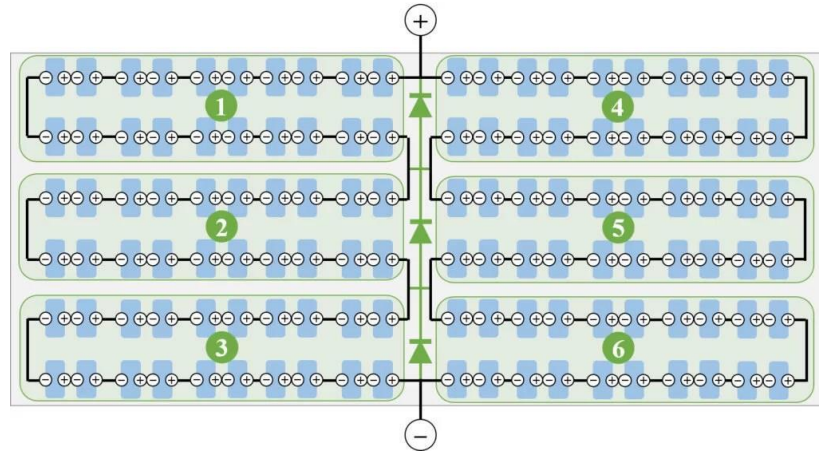
3.1.5. Half-Cut (Yarı Kesim) Hücreli Güneş Pilleri

Half-Cut hücreli güneş pilleri polikrsital veya monokristal hücrelerin yarıya bölünmesiyle oluşturulur. Bu işlem sonucunda birtakım avantajlara sahip olan güneş pilleridir. Half-cut güneş pilleri normal güneş pillerinden daha fazla yarı boyutlu hücrelerden oluşur. Bu sayede panelin iç yapısında daha düşük bir elektriksel direnç elde edilir ve panelin verimi arttırılmış olur.



Şekil 3.2. Sırasıyla half-cut ve normal güneş pilleri [27].

Hücrelerin yarıya bölünmesi güneş pilinin iç yapısında bağlantı şeklinin değiştirilmesiyle half-cut güneş pilleri gölgelenme etkisi altında çok daha verimli çalışmaktadır. Üretici firmalar günümüz teknolojisinin geldiği konumu göz önünde bulundurarak half-cut güneş pillerin pazar payını artırmıştır.



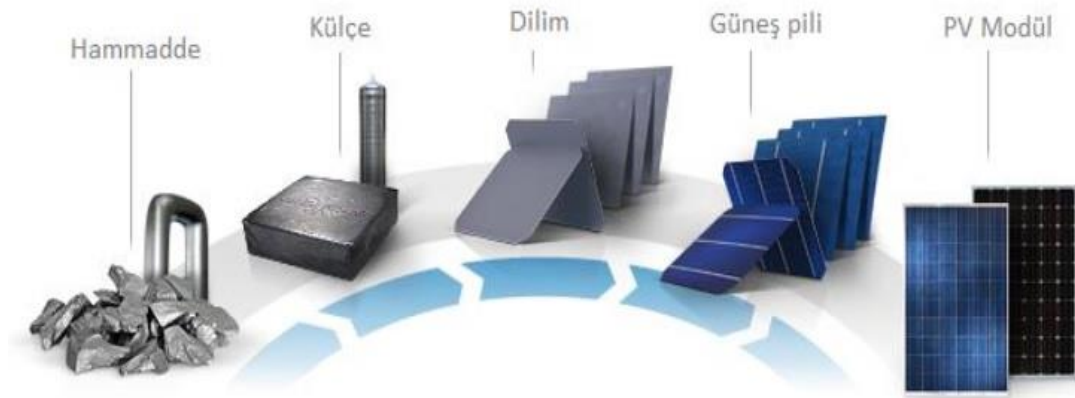
Şekil 3.3. Half-Cut güneş pilleri hücre dizilimi [27].

Half-cut güneş pilleri diğer güneş pilleri gibi üç adet hücre dizisi yerine altı adet hücre dizisi bulunur (Şekil 3.3). Herhangi bir gölgelenme olması durumunda bypass diyotlar sayesinde sadece gölgelenen alanda hücre dizisinin çıkışı bu gölgelenmeden etkilenir.

Hücre dizisi ne kadar fazla oluşturulmuşsa gölgelenmeden etkilenen hücre sayısı da o kadar azalır. Half-cut güneş pillerde normal güneş pillere göre iki kat daha fazla hücre dizisi olduğu için kısmi gölgelenme durumlarında çok daha az bir kısım etkilenmiş olur.

3.2. FOTOVOLTAİK GÜNEŞ PANELLERİ ÜRETİMİ

Kristal-silikon teknolojisi fotovoltaik üretiminde dünya genelinde en çok rağbet gören teknoloji durumundadır. Silikon maddeden güneş pili elde etme süreci hammadde, külçe oluşturma, dilimleme, güneş pili ve fotovoltaik güneş paneli olarak 5 aşamada oluşur (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Silikon maddeden güneş paneli üretim aşaması [28].

İngot (Külçe) üretim teknolojisinde, dünya genelinde monokristal ve polikristal yöntemleri kullanılmaktadır. Üretim süreci boyunca yüzey pürüzlendirme ve kaplama prosesleri de titizlikle oluşturuluyor. Kaplama proseslerinde nano kalınlıkta metal buharlama ile kaplama yapılıyor veya yüzey üzerine farklı atomlar emdirilir. Bu prosesler; araştırma geliştirmeleri devam eden yüksek uzmanlık ve güncel teknik bilgi gerektiren, çok detaylı hassasiyet içeren ve birçok global patent altında yapılan işlemlerdir [29].

3.2.1. Birinci Aşama İngot (Kütük) Üretimi

İngot üretiminde hammadde olarak, kumdaki silisyumun saflaştırılmasıyla elde edilen poli-silisyum kullanılıyor. Poli-silisyum daha sonra 1.450 °C (santigrat derece)'de eritilerek mono-kristal silisyum, ingot (kütük) haline getiriliyor. Eritilen hammadde bir silindire dönüştürülür. Bu dönüşüm ise milimetrik olarak hesaplanıp saatte 5-10 milimlik mesafe alınabiliyor. Üretim aşamasında elde edilecek saflık, ortaya çıkacak ürünün kalitesini de belirlemiş olacaktır.

3.2.2. İkinci Aşama Wafer (Yonga) Üretimi

Bu aşamada öncelikle silindir şeklindeki ingot uç kısımları gövdeden ayrılmaktadır. Ardından kenarlar kesiliyor ve köşeli bir şekilde külçe ortaya çıkıyor. Üretilen külçeler; elmas kaplı, 60 mikron kalınlığında, saniyede 15 metre hıza sahip tel testereler ile 180 mikron kalınlığında dilimleme yapılmaktadır. İleri teknoloji ekipmanların kullanımıyla elde edilen wafer, daha sonra özel yöntemlerle ayrıştırılıyor.

3.2.3. Üçüncü Aşama Hücre Üretimi

Silisyum dilimler çok sayıda çeşitli kimyasal ve fiziksel yarı iletken üretim sürecinden geçirilerek, fotovoltaik güneş hücresi özelliği kazandırılır. İki yüzeyi de güneş ışığını elektrik enerjisine üretecek özelliğe kavuşturuluyor. Ön yüzeyde üzerine belirli aralıklara çekilen bakır şeritlerle güneşten doğrudan gelen ışınları elektrik enerjisine dönüştürür. Arka yüzeyi de farklı kaplamalar ile hücrenin kırılması veya çatlamasına karşı korurken, güneş ışınlarının da yansımalarını engellemektedir.

3.2.4. Dördüncü Aşama Panel (Modül) Üretimi

Son aşamada hücreler birleştirilerek güneş paneli üretiliyor. Üretilen panelin gücüne göre değişen hücreler, her biri birbirine seri bağlanarak özel bir zemin üzerinde birbirlerine lehimlenerek birleştirilir.

Güneş enerjisinden elektrik üretimi konusunda çalışmalar hız kesmeden devam etmektedir. En temel amaç; az alan kullanarak daha fazla güç elde edebilmektir. Yakın zamanda en verimli güneş pili Amerika'nın Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (National Renewable Energy Laboratory (NREL)) tarafından baş bilim insanı ve rekor kıran hücre üzerine yeni bir makalenin baş yazarı John Geisz Nature Energy dergisinde " 143 güneş yoğunluğu altında %47,1 dönüşüm verimliliğine sahip altı bağlantılı III-V güneş pilleri " başlıklı makalede yayınlamıştır [30].

Güneş panelleri dıştan içeri doğru; alüminyum çerçeve, yalıtım malzemesi, özel temperli cam, EVA film, hücre ve sırt folyosu (backsheet), bağlantı kutusu (junction box)'dan oluşmaktadır.

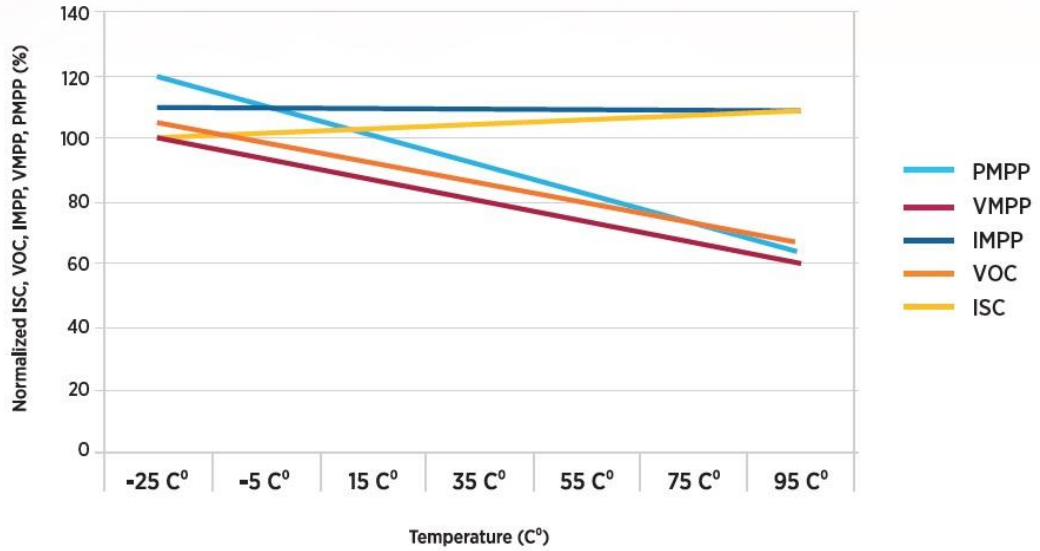
1. Alüminyum Çerçeve: Montaj için gerekli yapıyı oluşturur ve paneli fiziksel etkenlerden korur. Sektörde bulunan boyut standartlarına uyumluluğu ve bağlantı aparatı çeşitliliği sayesinde panel montajının kolay yapılmasını sağlamaktadır. Çerçeve ile cam arasında su geçirmez yalıtım malzemesi bulunmaktadır.
2. Temperli Solar Cam: Yüksek darbe dayanımına sahip ve yüzeyi güneş ışığının büyük kısmını absorbe edecek şekilde tasarlanmıştır. Güneş panelini dolu, rüzgâr, taş ve benzeri cisim çarpmalarından korumaktadır. Yine de bir miktar güneş ışığı camdan atmosfere yansımaktadır.
3. EVA (Ethylene Vinyl Acetate): EVA; cam, hücreler ve sırt folyosu (Backsheet) arasını dolduran, parçaları birbirine yapıştıran özel bir tabakadır. Üretim aşamasında güneş hücrelerinin her iki tarafına da uygulanan EVA, sıcak laminasyon yöntemi ile eritilerek hücreleri tamamen çevreler.
4. Sırt Folyosu (Backsheet): Panelin arka tarafının yalıtımını sağlar ve panelin optimum sıcaklıklarda çalışması için özel olarak tasarlanmıştır.
5. Bağlantı Kutusu (Junction Box): IP64 seviyelerinde su geçirmez yapıda olup, güneş paneli kablo bağlantılarını ve bypass (köprüleme) diyotunu içerir. Bypass

diyotu, güneş panellinin belirli bir bölgesinde gözlenen gölgeleme veya arıza durumlarında panelin elektrik üretmesini sağlayan diyottur. Farklı güçlerdeki polikristal güneş panellerinin teknik ve mekanik değerleri örnek olarak aşağıda Çizelge 3.1’de, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6’da gösterilmiştir.

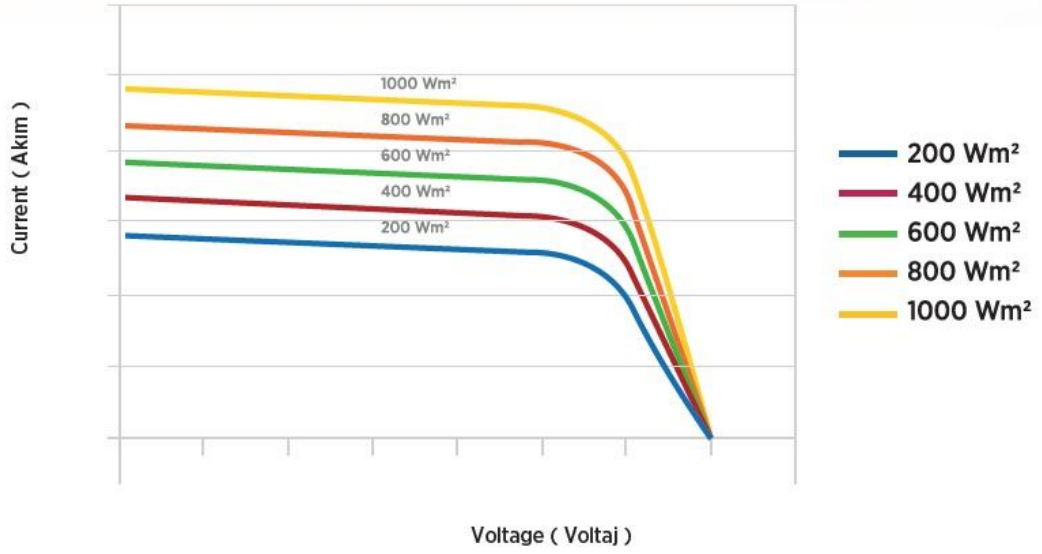
Çizelge 3.1. Örnek bir güneş panelinin standart test koşullarında elektrik parametreleri [28].

Standart Test Koşullarında (STC) Elektrik Parametreleri							
Modül Tipi			Güneş Paneli Kısa Adı ve Gücü				
Güç Çıkışı	P max	W	260	255	250	245	240
Güç Çıkışı Toleransı	ΔP max	W	0 / +5				
Modül Verimi	η m	%	15,9	15,6	15,3	15,0	14,7
Maksimum Güç Voltajı	V mp	V	30,3	30,0	29,8	29,6	29,3
Maksimum Güç Akımı	I mp	A	8,59	8,49	8,39	8,28	8,18
Açık Devre Voltajı	V oc	V	37,7	37,7	37,6	37,5	37,5
Kısa Devre Akımı	I sc	A	9,09	9,01	8,92	8,83	8,75

STC: 1000W/m² ışımaya 25⁰C hücre sıcaklığı, AM 1.5, EN 60904-3 uyarınca. (Ölçüm Hassasiyeti \pm %3 / 1m/s Rüzgar hızı)
EN 60904-1 Uyarınca 200W/m² de %3.3 ortalama bağıl verim düşüşü.



Şekil 3.5. Örnek bir güneş panelinin sıcaklığa göre elektrik parametreleri eğrisi [28].



Şekil 3.6. Örnek bir güneş panelinin belirli ışık radyasyonlarında (W/m^2) akım – gerilim eğrisi [28].

Tüm güneş panelleri; standart test koşulları (STC) olan $25^{\circ}C$ sıcaklık ve $1000 W/m^2$ ışınım gibi bazı değerler laboratuvar ortamında test edilerek elde edilir. Örnek bir güneş panelinin sıcaklığa, ışınımına göre test koşullarındaki elektrik parametreleri aşağıda gibi özetlenebilir.

1. Güç Çıkışı (P_{max}): Güneş panelinin içinde elektrik üretimi sağlayan hücrelerin seri veya paralel bağlanması ile gücünün belirlendiği değerdir.
2. Güç Çıkışı Toleransı (ΔP_{max}): Güneş panelinin ortalama gücünde bulunan değerlerin belirtilen gücün altında veya üstünde verilen tolerans değeridir.
3. Modül Verimi (η_m): Standart test koşullarında, maksimum gücün (P_{max}) giriş gücüne oranı olarak ifade edilir. Güneş panelinin giriş gücü $1000 W/m^2$ (güneş radyasyonu değeri) olarak kabul edilmektedir.
4. Maksimum Güç Voltajı (V_{mp}): Hücrenin veya panelin akım - gerilim eğrisinden yararlanarak tesbit edilen en yüksek gücündeki gerilim değeridir.

5. Maksimum Güç Akımı (I_{mp}): Hücrenin veya panelin akım - gerilim eğrisinden yararlanarak tesbit edilen en yüksek gücündeki akım değeridir.
6. Açık Devre Voltajı (V_{oc}): Hücre veya panelin standart test koşulları altında artı ve eksi çıkış uçları arasında herhangi bir yük yokken, herhangi bir akım akmadığında ölçülen açık devre gerilimidir.
7. Kısa Devre Akımı (I_{sc}): Hücrenin veya panelin artı ve eksi güç çıkışlarının yüksüz olarak direkt, kısa devre edilmeleri durumunda akan akımdır.

Çizelge 3.2. Örnek bir güneş panelinin nominal çalışma hücre sıcaklığında elektrik parametreleri [28].

Nominal Çalışma Hücre Sıcaklığında (NOCT) Elektrik Parametreleri							
Güç Çıkışı	P max	W	189,7	186,0	182,4	178,7	175,1
Maksimum Güç Voltajı	V mp	V	27,6	27,4	27,2	27,0	26,8
Maksimum Güç Akımı	I mp	A	6,87	6,71	6,71	6,62	6,54
Açık Devre Voltajı	V oc	V	34,8	34,4	34,7	34,6	34,6
Kısa Devre Akımı	I sc	A	7,28	7,21	7,21	7,14	7,07
NOT: 800W/m ² ışınma 20°C ortam sıcaklığı, 45°C hücre sıcaklığı, %3.3 ortalama bağıl verim düşüşü.							

Nominal çalışma hücre sıcaklığı (NOCT), Akım - Gerilim ($I - V$) eğrilerinin ölçümlerinin, hücre veya panele dikey 800 W / m²; 600 W / m²; 400 W / m² ve 200 W / m² ışınım değerlerinde, 20°C çevre sıcaklığı derecesinde, 1m/s rüzgâr hızında ve AM 1,5 güneş spektrumunda yapılmasıdır (Çizelge 3.2). Modüller direk olarak güneş ışığını elektriğe bu özellikleri doğrultusunda çevirdikleri için, elektrik performans değerleri çok önemlidir. Elektrik performansını etkileyen en önemli koşullardan biri de malzemenin termal özellikleri ve çalışma koşulları olup, her markanın üretim kalitesi farklılıklar oluşturmaktadır.

Çizelge 3.3. Örnek bir güneş paneli termal özellikleri [28].

Nominal Çalışma Hücre Sıcaklığı	NOCT	°C	46 +/- 2
P max Sıcaklık Katsayısı	Y	%/°C	-0,42
V x Sıcaklık Katsayısı	B voc	%/°C	-0,32
I sc Sıcaklık Katsayısı	A isc	%/°C	0,05
V mmp Sıcaklık Kat Sayısı	B vmpp	%/°C	-0,42

Örnek bir güneş panelinin nominal çalışma hücre sıcaklığında, Akım - Gerilim (I – V) eğrilerinin ölçüleriyle birlikte hesaplanan yüzdelik termal değerlerdir (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.4. Örnek bir güneş paneli montajında kullanılan yapı malzemeleri özellikleri [28].

Kullanılan Malzeme	Malzeme Özelliği
Ön muhafaza (malzeme/kalınlık)	Düşük demir kırılmaz cam / 3,2 mm
Hücre (adet/malzeme/boyutlar/bara)	60 /multikristalin silikon / 156mm x 156mm / 2 veya 3
Enkapsülan (malzeme)	Etilen vinil asetat (EVA)
Çerçeve (malzeme/renk/anotlama rengi/kenar dolgusu)	Anotlu alüminyum alaşım/gümüş/açık/silikon veya bant
Bağlantı kutusu (koruma derecesi)	>IP65
Kablo (uzunluk/kesişme noktası)	1100mm /4 mm ²
Konnektör bağlantısı (tip/koruma derecesi)	MC4/IP67 veya YT08-1 / IP67 veya Amphelon H4 /IP68

Yukarıda Çizelge 3.4’te güneş panelinin montajında kullanılan malzemeler her marka tarafından farklı teknik özellik sayfası (data sheet) olarak açıklama yapılmaktadır. Her projenin ihtiyaçlarına göre belirlenmiş montaj için konstrüksiyon yapıları değişiklik gösterebilmektedir.

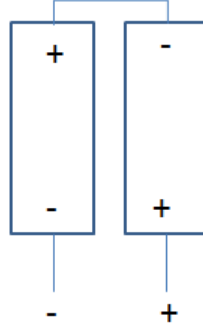
Güneş panelleri santral kurulumunda sahada mekanik montaj esnasında ve kabloların montajı durumlarında en kolay ve en hızlı bir şekilde montajı için çerçevesindeki ölçü ve deliklerin yerleri belirlenir. Dikey eksenli veya yatay eksenle montaj edilen paneller, birbirine seri bağlanırken kabloları uzunlukları genelde standart (80-100 cm) uzunluklarda olmalıdır. Güneş panelleri bağlantı şekilleri hesabından önce inverter hakkında bilgi verilmesi gereklidir.

3.3. GÜNEŞ PANELLERİ BAĞLANTI ŞEKİLLERİ

Fotovoltaik güneş pilleri güç çıkışını artırmak için kendi aralarında üç farklı şekilde bağlanırlar. Fotovoltaik güneş pilleri güç sisteminin durumuna bağlı olarak bazen akımın artırılması gerektirirken, bazen de gerilimin artması gerekmektedir.

Fotovoltaik güneş pilleri birbirleri ile bağlanması sonucunda dizinler elde edilir. Bunların gücü birkaç watt'tan megawatt'lara kadar çıkar.

3.3.1. Fotovoltaik Güneş Pilleri Seri Bağlanması



Şekil 3.7. Güneş pillerinin seri bağlantısı.

Fotovoltaik güneş pilleri Şekil 3.7' de seri bağlanmasında çıkış gerilimim ifadesi,

$$U=U_1+U_2+U_3+\dots+U_n \quad (3.1)$$

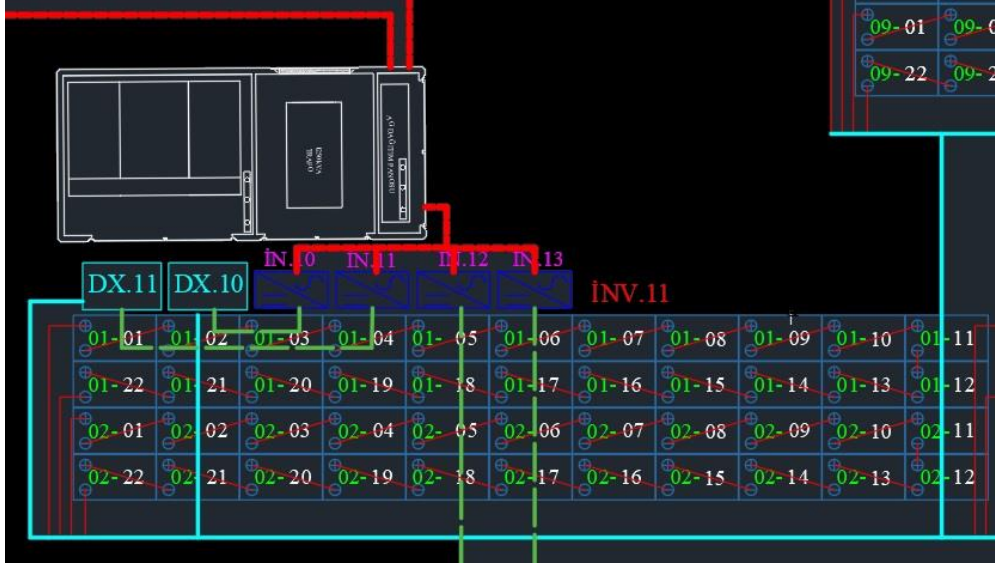
formülü ile bulunur. FV hücrelerin iç direncini göstermek üzere r, toplam iç direnç,

$$r_T=r_1+r_2+r_3+\dots+r_n \quad (3.2)$$

şeklinde hesaplanır. FV güç sistemin R yükünü beslemesi durumunda akım değeri,

$$I = \frac{U}{R+r_T} \quad (3.3)$$

formülü ile hesaplanır. Örnek olarak dizi inverttere 22 adet güneş pili seri bağlantı yapılıp ile Şekil 3.8'de gösterilmiştir.

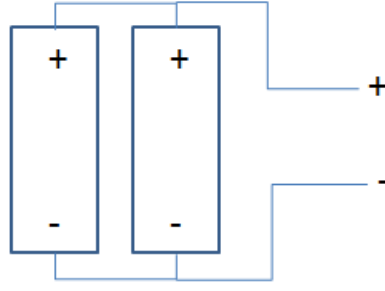


Şekil 3.8. Güneş pillerinin örnek bir projede seri bağlantısı.

Fotovoltaik güneş pilleri seri bağlanması sonucunda çıkış gerilimin değeri artmaktadır. Daha üst değerlerde gerilim ihtiyacı durumunda seri bağlanacak fotovoltaik güneş pilleri adedini artırmalıyız. Güneş pillerinin seri bağlantısında pillerin tümünden aynı değerde akım geçer. Bağlantılar güneş pilleri üzerindeki mc4 su geçirmez konektörler ile yapılır. Fotovoltaik güneş pilleri seri bağlantısında güneş panelinin artı ucu ardışık gelen diğer güneş panelinin eksi ucuyla birleştirilir. Projede olması istenilen seri bağlantı adedi kadar fotovoltaik güneş panelleri birbirleri ile bağlantı yapılır. Güneş panellerinde üzerinden geçen maksimum gerilim her güneş panelinde farklı olarak belirtilen veri sayfasındaki değeri aşılmamalıdır.

3.3.2. Fotovoltaik Güneş Panelleri Paralel Bağlanması

Fotovoltaik güneş panellerinde çıkış akımının artırılması için kendi aralarında paralel bağlantı yapılır. Bu bağlantı türünde çıkış gerilimi sabittir ve bağlantı yapılan fotovoltaik güneş pili açık devre gerilimi ne kadarsa o gerilimdedir.



Şekil 3.9. Güneş pillerinin paralel bağlantısı.

Fotovoltaik güneş pilleri Şekil 3.9’da paralel bağlanmasında çıkış gerilimi,

$$U=U_1=U_2=U_3=\dots\dots U_n \quad (3.4)$$

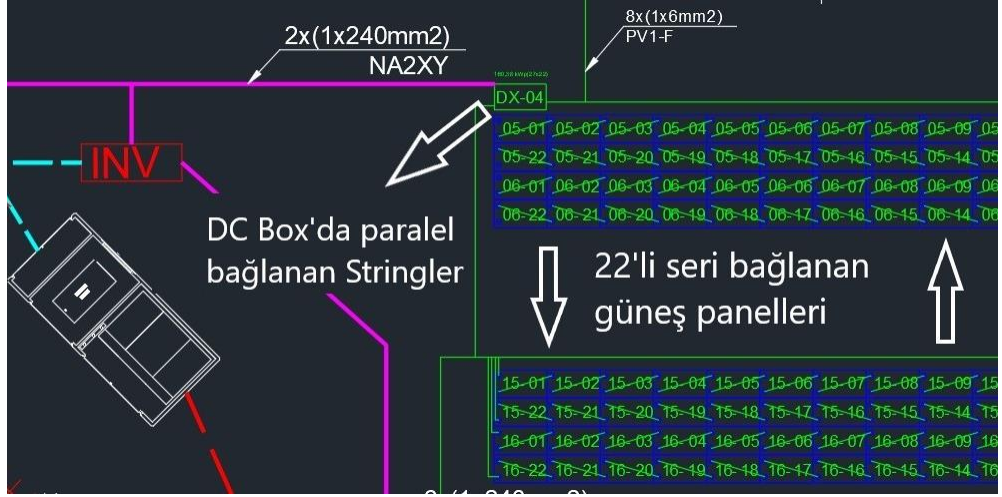
Burada, U, fotovoltaik güneş pili dizinin çıkış gerilimi, U_1 , birinci fotovoltaik güneş pili gerilimini, U_n n’inci fotovoltaik güneş pili gerilimini, fotovoltaik güneş pili iç direnci r_1 ise, birinci fotovoltaik güneş pili iç direnci,

$$r_T = \frac{r_1}{n} \quad (3.5)$$

formülü ile hesaplanır. Burada, r_T , paralel bağlı fotovoltaik güneş pili dizisinin toplam iç dirençlerini, r_1 , birinci fotovoltaik güneş pilinin iç direncini n, fotovoltaik güneş pili dizisinde bulunan toplam güneş pili sayısıdır. Fotovoltaik güneş pili güç sistemi R direnç değerindeki bir yüke bağlı ise yük akımı,

$$I = \frac{U}{R + \frac{r_1}{n}} \quad (3.6)$$

formülü ile bulunur. Burada I, fotovoltaik güneş pilinin dizinine bağlı yükün çektiği akımı, R, fotovoltaik güneş pilinin sisteme bağlı yük direncini, r_1 , fotovoltaik güneş pilinin sisteme bağlı birinci güneş pili iç direncini, n, fotovoltaik güneş pili sistemde bulunan fotovoltaik güneş pili sayısını göstermektedir. Örnek olarak merkezi inverter de 22 adet güneş pili seri bağlantı yapılan her string daha sonra DC toplama panosunda baralar ile paralel bağlantısı Şekil 3.10’da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Güneş pillerinin DC toplama panolarındaki paralel bağlantısı.

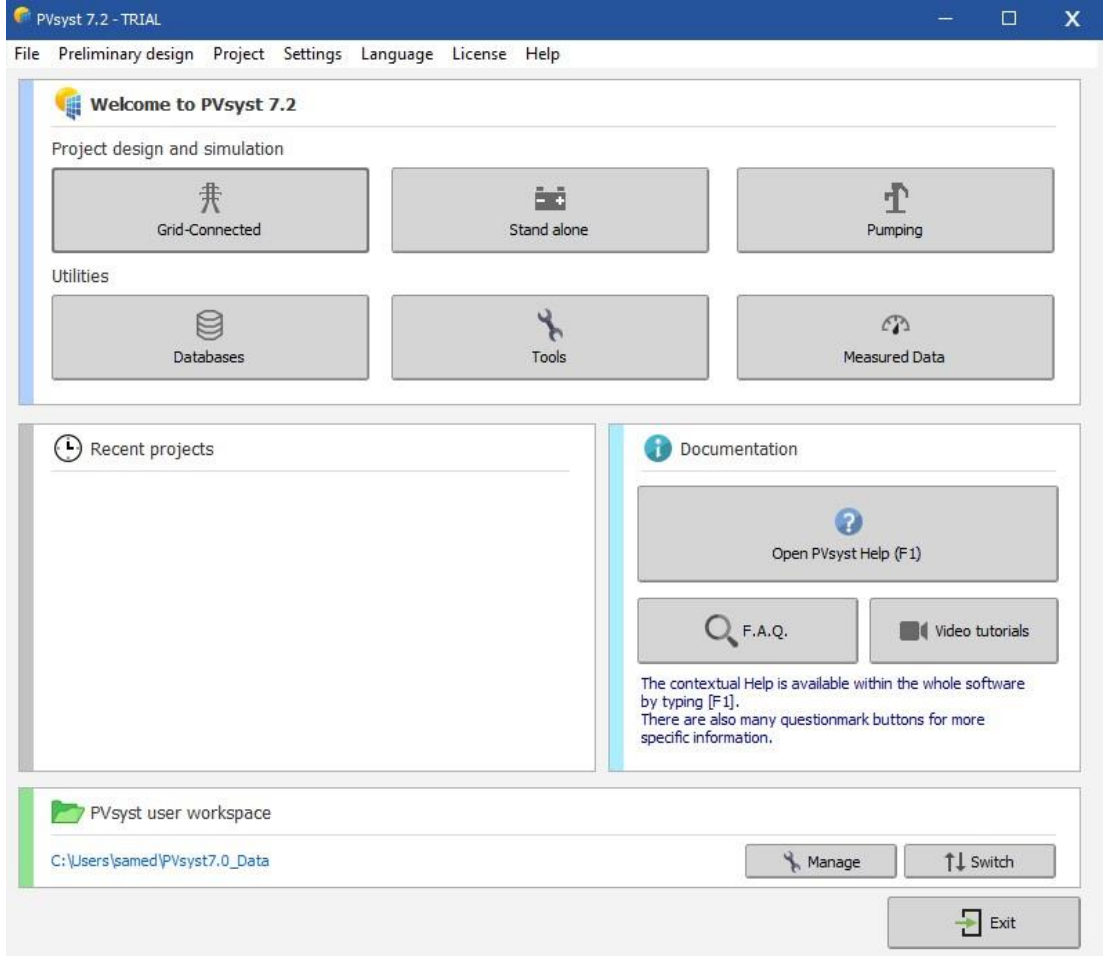
Fotovoltaik güneş pilinin sistemde paralel bağlamada bir bağlanacak fotovoltaik güneş pili artı ucu diğer fotovoltaik güneş pili artı ucuyla birleştirilir veya yukarıda görüldüğü gibi seri bağlantı yapılan her string DC toplama panolarında paralel bağlantı ile invertere geçmiştir.

BÖLÜM 4

MATERYAL VE METOD

4.1. PVSYST 7.2 SİMÜLASYON PROGRAMI

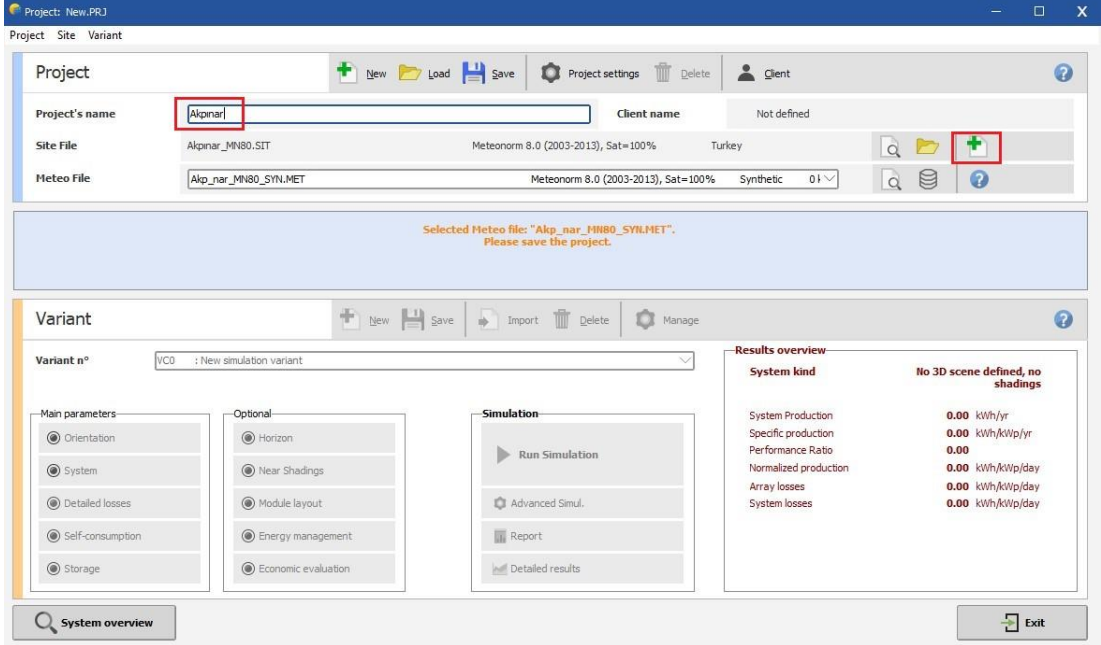
Bu çalışmada Güneş enerji santrali tasarımı ve simülasyon verileri oluşturmak için PVsyst 7.2 programı kullanılmıştır. Fotovoltaik güneş enerji santralleri için kurulumdan önce üretim değerleri, güneş panelleri yerleşimi gölgelemeler ve kayıpların hesaplanıldığı ücretli bir simülasyon programıdır. On grid (şebeke bağlantılı), Off grid (şebeke bağlantısız) ve solar pump (solar pompa) sistemleri için güneş paneli, inverter, konstrüksiyon, pompa vs. kullanılacak malzemelerin modelleri ve marka seçimleri yapılmaktadır. Kurulum yapılacak yerin konumu ve meteorolojik verileri Metenorm 8.0 veritabanı ile sistemin simülasyon verilerini oluşturur. PVsyst 7.2 programının en son güncel sürümüyle ve açılış ekranı Şekil 4.1' de verilmiştir.



Şekil 4.1. PVsyst 7.2 simülasyon programı açılış ekranı.

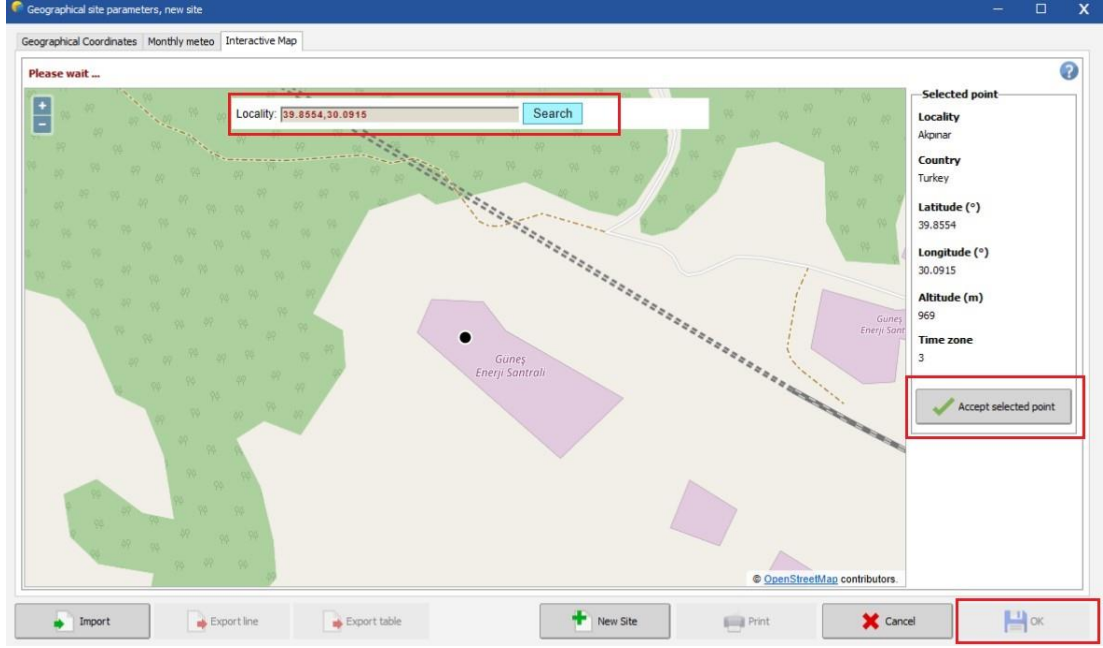
1. Grid connected (Şebekeye bağlı): Tasarımı yapılacak on-grid güneş enerji santralinde üretilen enerjinin şebekeye aktarımı için verilerin oluşturulacağı bölümdür.
2. Stand alone (Şebekeden bağımsız): Off-grid güneş enerji santralinde üretilen enerjinin depolanması ve iç ihtiyaçta kullanımdaki verilerin oluşturulacağı bölümdür.
3. Pumping (Pompalama): Fotovoltaik güneş panelleri ile solar pompa, dalgıç gibi sistemlerin çalışması için tasarım yapılır.
4. Databases (Veri tabanları): Fotovoltaik sistemler için meteorolojik iklim verilerin oluşturulduğu kısımdır.
5. Tools (Araçlar): Güneş enerji santrali simülasyon görselleri için ek ayarların oluşturulduğu bölümdür.

Şebekeye bağlantılı sistem tasarımı için karşılaştırma yapılacağı için Grid connected bölümü seçilecektir.



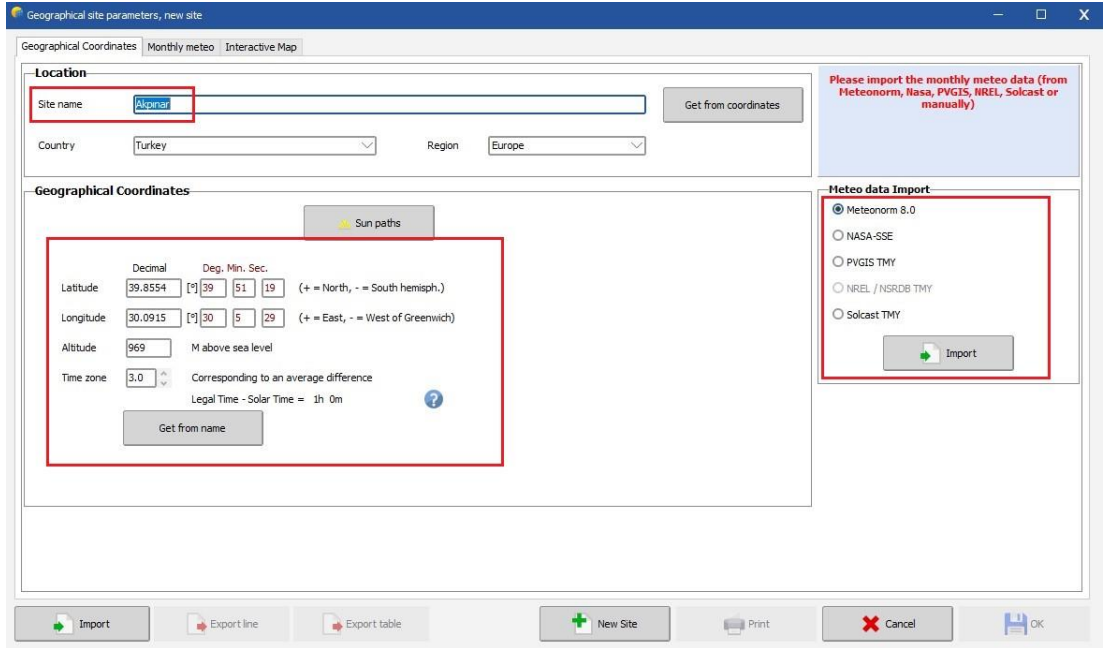
Şekil 4.2. Şebeke bağlantılı (Grid Connected) bölümü.

Güneş enerji santralının kurulması planlanan yer hakkında meteorolojik verilerin oluşturulması için proje ismi yazıldıktan sonra Site file kısmından sağda taraftaki konum bilgileri eklenmelidir (Şekil 4.2).



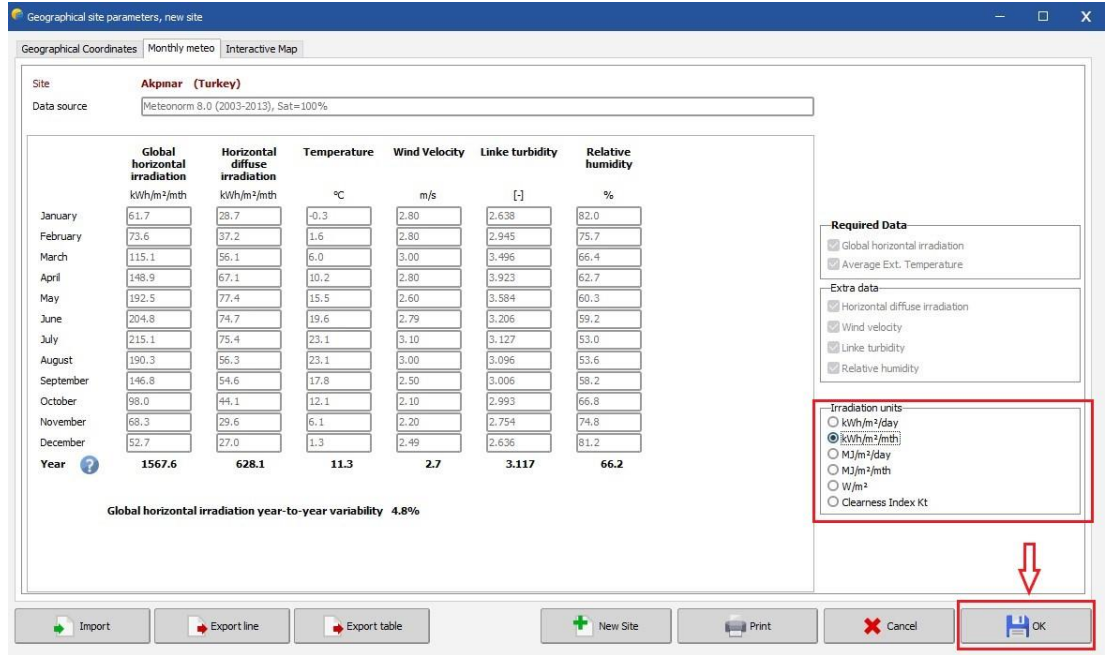
Şekil 4.3. Çevrimiçi harita (İntractive map) bölümü.

Güneş enerji santrali kurulumu yapılacak tesisin Şekil 4.3’ de konumu haritadan işaretleme yapılır. Daha sonra sağdaki noktayı kayıt kısmından konum bilgileri eklenmiş olacaktır.



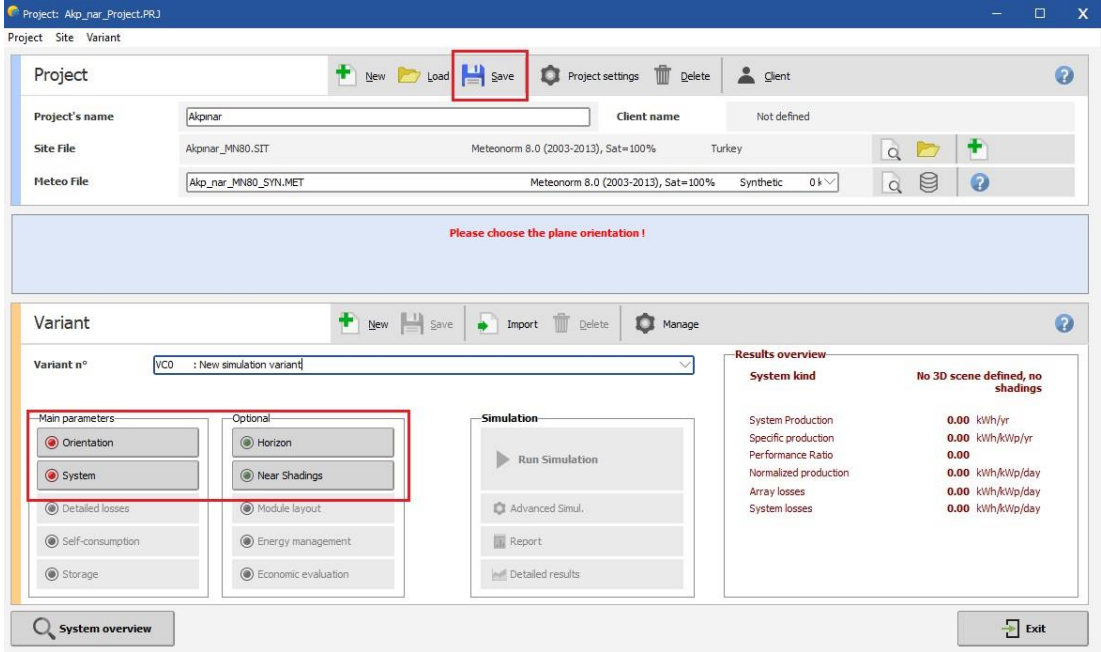
Şekil 4.4. Coğrafi koordinatlar (Geographical coordinates) bölümü.

Çevrimiçi haritadan konum bilgisi girişi yapıldıktan sonra konum adı yazılır. Coğrafi koordinatların olduğu bölümde konum enlemi, boylamı, yükseltisi ve saat dilimi belirlenmiştir (Şekil 4.4). Simülasyon programının bu koordinatlara göre farklı azimut açılarında enerji üretim verilerini oluşturacaktır. Sağda Meteo data import kısmında meteorolojik verilerin içe aktarımı kısmında Metenorm 8.0, NASA-SSE, PVGIS TMY, NREL/NSRDB TMY, Solcast TMY farklı veri aktarımları vardır. Bu çalışmada Metenorm 8.0 meteoroloji verileri kullanılacaktır.



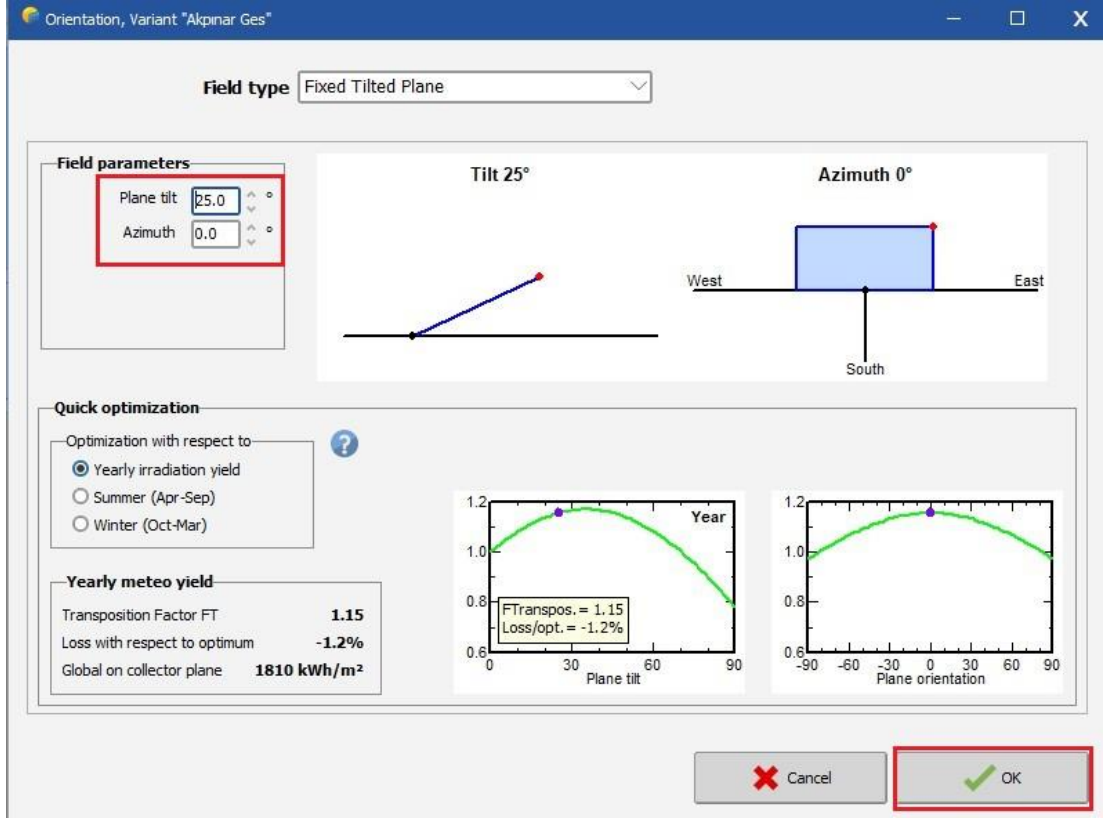
Şekil 4.5. Aylık meteoroloji verileri (Montly meteo) bölümü.

Metenorm 8.0 2003-2013 yıllarında ortalama aldığı meteoroloji verileri aylara göre ortalama değerleri veri tablosu oluşturmuştur. Bu tabloda aylık ortalama; global radyasyon değeri, yatay ışımaya, sıcaklık, rüzgâr, bağlantı karışıklığı ve bağıl nem değerleri bulunmaktadır. Sağda radyasyon ölçüm birimlerini değiştirmek için aylık yıllık ortalama güç birimi gibi değişkenler bulunmaktadır. Son olarak kayıt işlemi yapılır ve proje ve varyant seçimi sayfasına geçilir (Şekil 4.5).



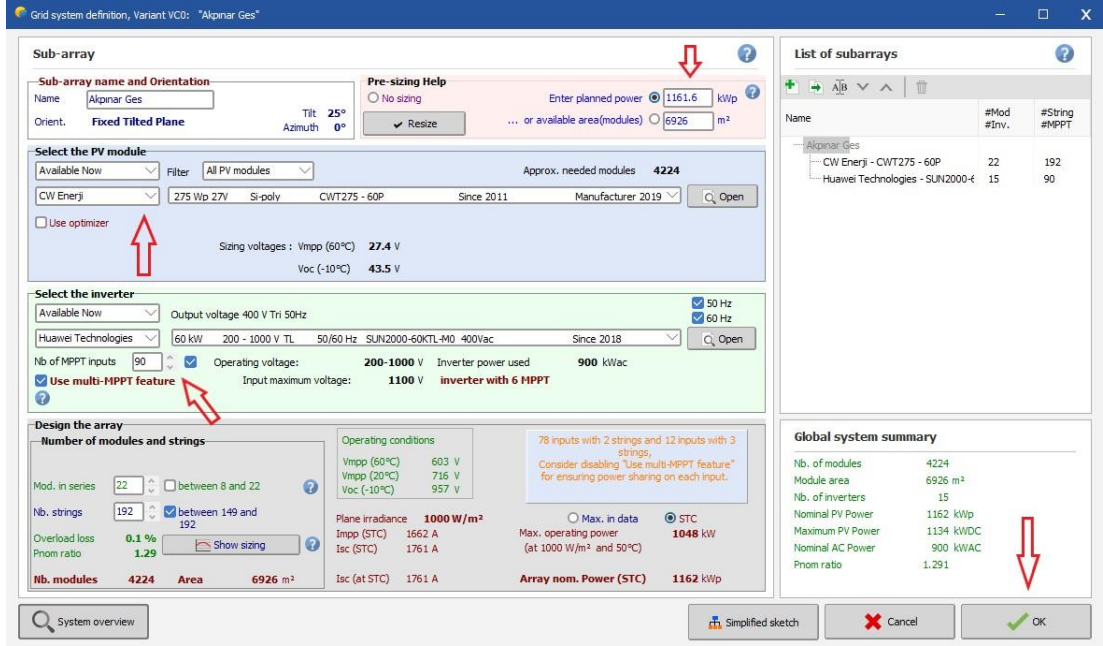
Şekil 4.6. Proje ve veriler (Project and variant) bölümü.

Meteoroloji verilerini kayıt işlemi yapıldıktan sonra üst kısımda Save bölümünden tekrar kayıt işlemi yapılır. Variant bölümünde güneş enerji santrali tesisi hakkında güneş panelleri yerleşimi diğer malzemelerin seçimi gibi bölümler bulunmaktadır (Şekil 4.6).



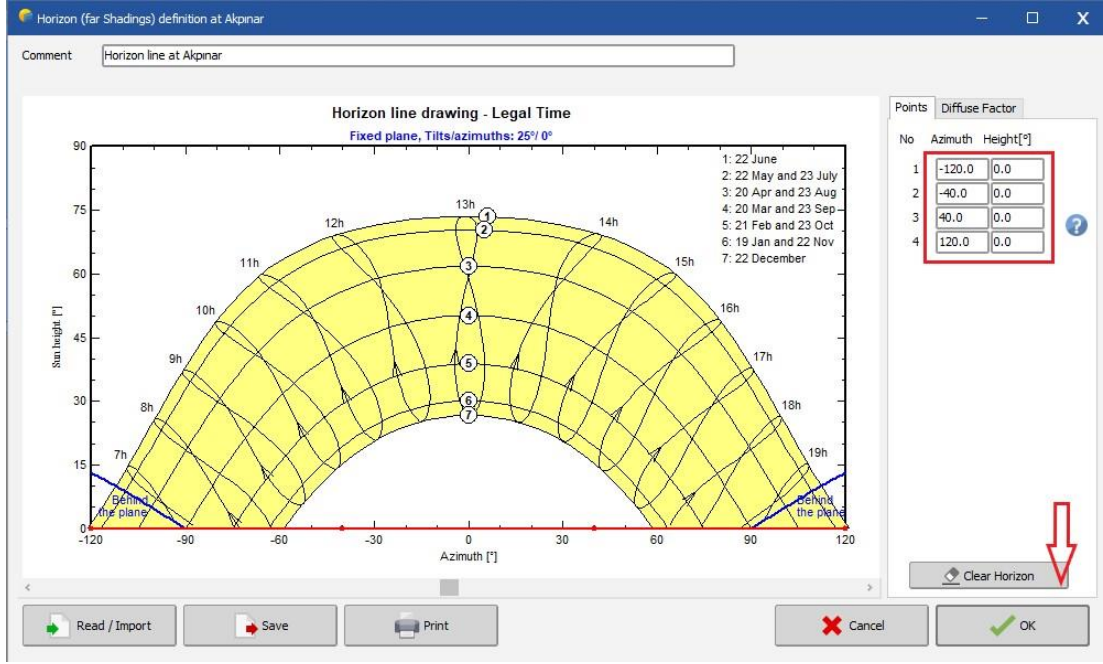
Şekil 4.7. Veriler sekmesi ve tesis yönlendirilmesi (Variant and Orientation) bölümü.

Fotovoltaik güneş enerji santrali bulunduğu arazinin açısı ve güneş panelleri eğiminin oluşturulduğu kısımdır. Azimut açısı ve yaz-kış veya yıllık olarak optimizasyon gibi değişkenler eklenebilir (Şekil 4.7).



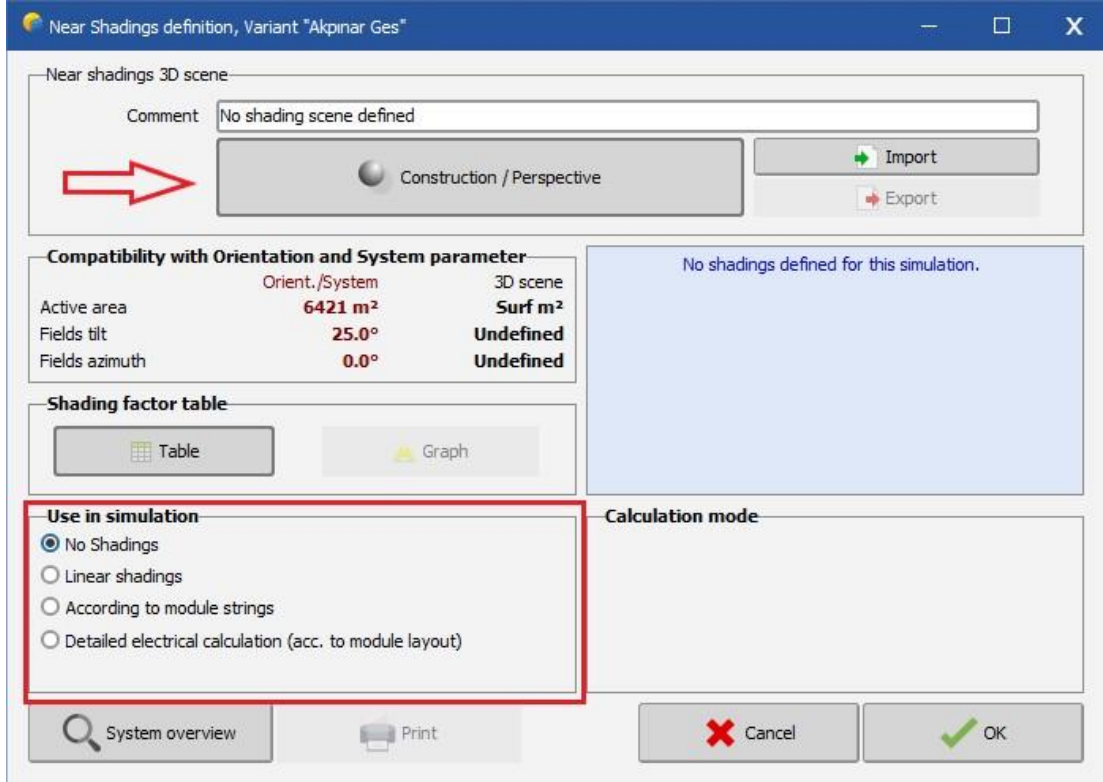
Şekil 4.8. Veriler sekmesi ve sistem seçimi (Variant and Sub array) bölümü.

Sistem seçimi bölümünde oluşturulacak fotovoltaik güneş panelleri toplam gücü belirlenir. Alt kısımda güneş panelinin marka ve modeli seçimi yapılır. Marka ve model bulunmuyorsa Teknik verileriyle birlikte ekleme yapılır. İnverter seçimi bölümünde marka ve model belirlenerek cihaz adedi MPPT girişi ile oluşturulur. Seçilen güneş panelleri için seri bağlantı adedi ve verim değerleri STC veya maksimum verimliliği seçimi yapılır (Şekil 4.8).



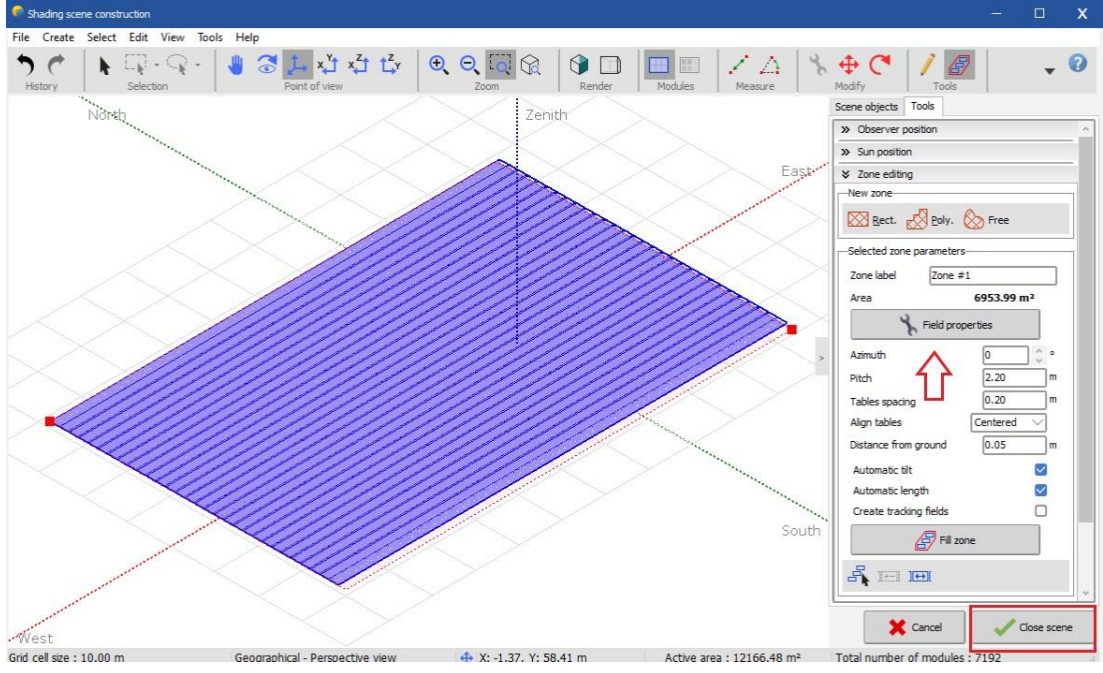
Şekil 4.9. Ufuk çizgisi ve gölgelemeler seçimi (Horizon and far shadings) bölümü.

Güneş enerji santralının kurulum için seçilen konumda farklı azimut açıları ve eğimlerinde enerji üretim değerlerindeki farklılıkları görmek için Points kısmından 4 adet farklı değer girilebilir. Simülasyon programının kendi oluşturduğu değerler ile Read/İmport seçimi yapıldıktan sonra bir sonraki menü için Ok butonuyla kayıt işlemi yapılır (Şekil 4.9).



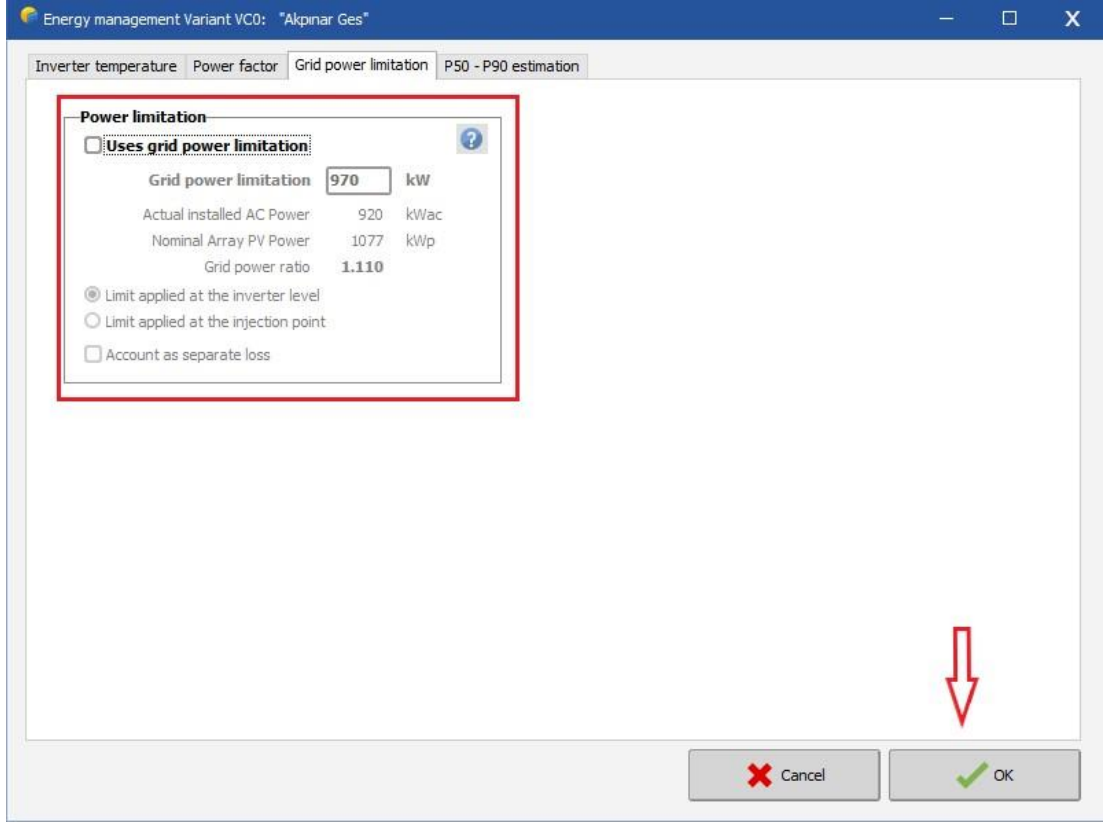
Şekil 4.10. Gölgelemeler 3 boyutlu çizim seçimi (Near shadings 3D scene) bölümü.

Fotovoltaik güneş panelleri yerleşiminde konstrüksiyon veya dış çevredeki diğer gölgelemeler var ise Near shadings alt sekmesinden Construction/Perspective bölümüne 3 boyutlu çizim ekleme yapılır. Alt kısımda kırmızı kutu içerisinde simülasyon seçimi bölümünde gölgeleme yok ise veya No Shadings seçili kısımda bırakılmalıdır. Simülasyon seçimi kısmında herhangi bir gölgeleme seçimi yapmak için 3 boyutlu çizimden sonrasında Use in simulation (Simülasyon seçimi) bölümünden Linear shadings (doğrusal gölgelemeler), According to 42odule strings (Modül dizisi gölgelemeleri) ve Detailed electrical calculation (Modül düzeninden kaynaklı elektriksel kayıplar) kısımları eklenmelidir (Şekil 4.10).



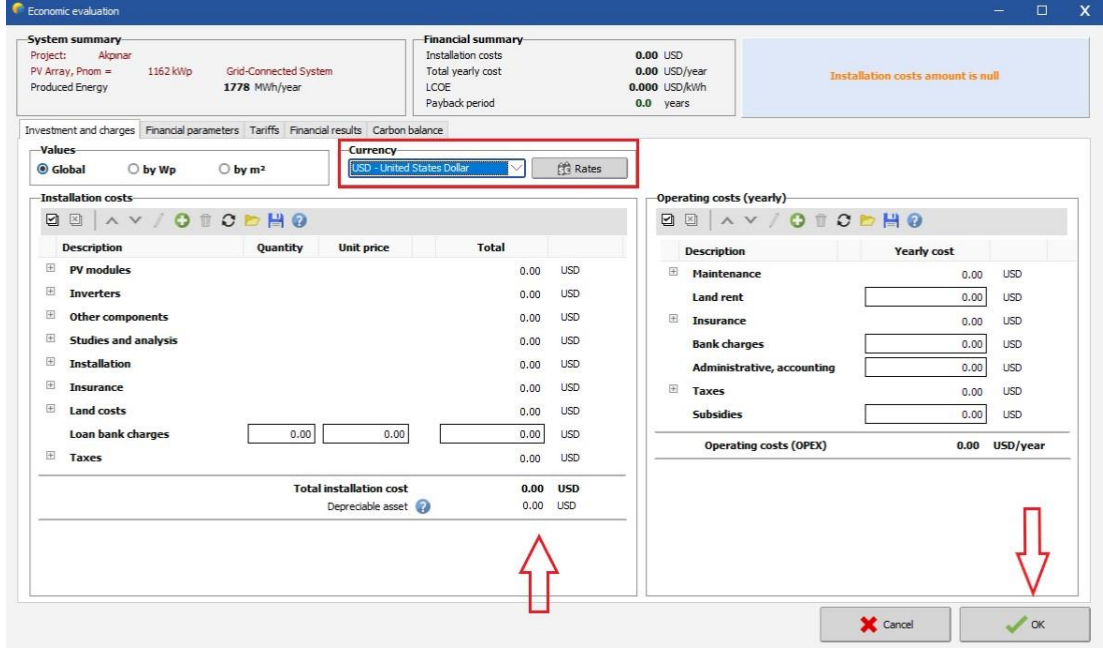
Şekil 4.11. Konstrüksiyon alanı gölgeleme seçimi (Shading scene construction) bölümü.

Gölgelemeler ve 3 boyutlu çizim bölümünde konstrüksiyon seçimi yapıp fotovoltaik güneş panelleri yerleşimi yapılmaktadır. Konstrüksiyon için yatay dikey yerleşim durumu bilgileri sağdaki işaretli bölümden seçilmektedir. Güneş panelleri yerleşim yapılacak alan konumu belirlenip Fill zone (Alanı doldur) seçimi yapıp kaydedilir (Şekil 4.11).



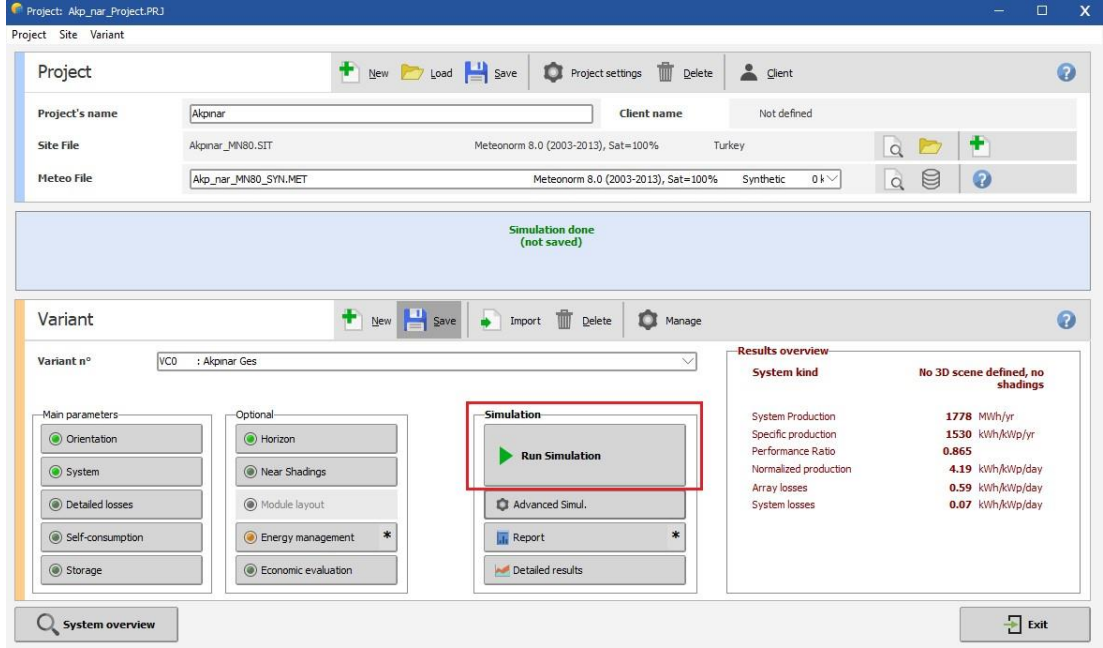
Şekil 4.12. Enerji işletimi seçimi (Energy management Variant) bölümü.

Fotovoltaik güneş enerji santrallerinde lisanssız elektrik üretim tesislerinde maksimum anlık şebekeye aktarılan enerji kısıtlaması bulunmaktadır. Simülasyon edilen Akpınar GES tesisi için 986 kWp değeri maksimum değerdir. İnverter uzaktan izleme sisteminden maksimum 970 kWp değerine kısıtlama yapılmıştır. PVSyst simülasyon programında Energy management Variant (Enerji işletimi seçimi) sekmesinden kısıtlanılan değerler girilip kayıt oluşturulmalıdır (Şekil 4.12).



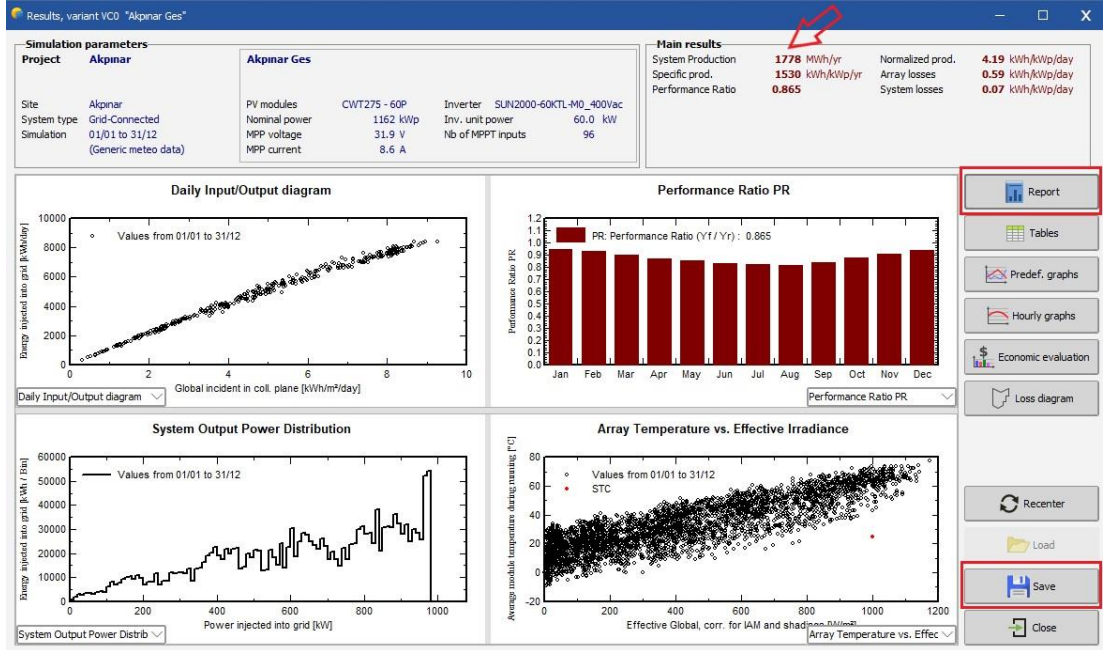
Şekil 4.13. Ekonomik değerlendirme seçimi (Economic evaluation) bölümü.

Bu bölümde kurulması planlanan güneş enerji santrali için Economic evaluation (Ekonomik değerlendirme) seçimi ile kullanılacak ekipmanların her biri fiyatlandırma yapıp kayıt oluşturulur. Güneş panellerinin enerji üretim değerlerinin seçimi Global, Wp veya m^2 olarak belirlenerek kullanılan malzemelerin ücretleri için para birimi seçimi yapılır. Yatırım geri ödeme süresi hesaplanması ve banka kredi ödeme tutarları ayrıntılı olarak simülasyon edilmektedir (Şekil 4.13).



Şekil 4.14. Proje ve değişkenler simülasyon seçimi (Project and Variant Simulation) bölümü.

Simülasyon programındaki tüm seçimler yapıldıktan sonra Save bölümünden kayıt oluşturulup ana menüdeki Variant bölümünden Run simulation (Simülasyon başlat) sekmesi ile proje sonuçları ekranına geçilir. Simülasyon ayarları ile ilgili değişiklikler için Advanced Simulation, Run Simulation butonun altındaki kısımda gerekli düzenlemeler yapılabilir (Şekil 4.14).



Şekil 4.15. Akpınar Ges simülasyon sonuçları (Results variant Akpınar Ges) bölümü.

Simülasyon sonucu olarak Main results (Ana sonuçlar) kısmında fotovoltaik güneş enerji santralının yıllık 1778 MWh olduğunu hesaplamıştır. Daily input/output diagram (günlük giriş/çıkış diyagramı) bir yıl içerisinde ortalama günlük güneşlenme saati olarak ışınım verileri maksimum kWh üretim değerleri noktalı olarak oluşturulmuştur. Performance ratio PR (performans oranı) tablosunda aylara göre ortalama santralin performans değerleri mevcuttur ve yıllık ortalaması 0.865 değerindedir. System output power distribution (Sistem çıkış gücü dağılımı) diyagramında toplam şebekeye verilen anlık gücün, yıllık ortalama toplam anlık o güçteki şebekeye aktardığı enerji değeridir. Array Temperature vs. Effective Irradiance diyagramında fotovoltaik güneş paneli sıcaklığı radyasyon değerine göre değişimleri noktalı olarak belirtilmiştir (Şekil 4.15). Sağ üstte işaretlenen kırmızı kısımda Report tıklayıp raporlama işlemi yapılır ve Save kısmından kayıt işlemi yapılmaktadır.

Sistem performans oranı (P.R) Fotovoltaik sistemlerde kısaca verim hesaplaması olarak da denilebilir. P.R Eşitlik 4.1'de belirtildiği gibi hesaplanır.

$$PR = \frac{\text{Gerçekleşen Üretim (kWh)}}{\text{Işınım} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}\right) * \text{Panel Yüzeyi (m}^2\text{)} * \text{Panel Verimliliği}} = \frac{\text{Gerçekleşen Üretim (kWh)}}{\text{Işınım} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}\right) * \text{DC Kurulu Güç (kWp)}} \quad (4.1)$$

Performans Oranı (PR); Gerçekleşen Üretim (kWh) yıllık üretilen elektrik enerjisinin, Beklenen Üretim (kWh) simülasyon programları veya meteorolojik veriler ile yıllık üretilmesi planlanan elektrik enerjisine bölünmesi ile elde edilir (Eşitlik 4.1). Burada gerçekleşen üretim, tesiste bulunan çift yönlü sayaçtan alınan otomatik sayaç okuma sistemi (OSOS) verileridir. Beklenen üretim ise; Işınım (kWp/m²) yıllık olarak alınan güneş ışığı radyasyon değeriyle, Panel Yüzeyi (m²) fotovoltaik sistemin kapladığı alan ve Panel Verimliliği de tesiste kullanılan fotovoltaik güneş panelinin verim değerleri ile çarpımıdır. DC kurulu güç (kWp) değeri; tesisteki güneş paneli yüzeyi (m²) ile fotovoltaik güneş paneli verimliliğinin çarpımı ile de elde edilir.

BÖLÜM 5

BİLECİK İLİ AKPINAR VE DÜZDAĞ GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNİN PERFORMANS ANALİZİ VE PVSYST SİMÜLASYON PROGRAMI İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Bilecik ili bitki örtüsü olarak genellikle ormanla çevreli dik tepeler ve vadilerden oluşur. İklim olarak geçit bölgesinde olduğu için kışlar soğuk ve yağışlı yazları sıcak ve kuraktır. Bilecik ilinde bulunan iki güneş enerji santrali birbirine yaklaşık kuş uçuşu 9.310,96 metre mesafededir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Düzdağ ve Akpınar GES kuş uçuşu mesafe [31].

Bu santraller yakınında bulunan Düzdağ köyü için Düzdağ GES ve Akpınar köyü için Akpınar GES olarak adlandırma yapılacaktır. Düzdağ GES konumu çevresinde ormanlık ve meşe ağaçları bulunmakta ve Akpınar GES konumu etrafında tarlalar bulunmaktadır. Her iki santrallerde çevresel faktörlerden dolayı güneş panellerine gölgeleme yapılacak bir durum söz konusu değildir.

Çizelge 5.1. Düzdağ GES ve Akpınar GES konumları ve arazi büyüklükleri.

Güneş Enerji Santrali	Konum	Rakım	Arazi Büyüklüğü
Düzdağ GES	30,14 ⁰ E - 39,93 ⁰ N	1112 metre	21.550 m ²
Akpınar GES	30,09 ⁰ E - 39,86 ⁰ N	960 metre	20.767 m ²

Düzdağ GES ve Akpınar GES santrallerin içerisinde birden fazla lisanssız GES bulunmaktadır. Bu Düzdağ GES rakım bilgileri yaklaşık deniz seviyesinden yükseklikleri 1112 metre iken Akpınar GES yaklaşık 960 metredir. İki santral (GES) arasında 152 metre kot farkı vardır.

5.1. DÜZDAĞ GES VE AKPINAR GES KULLANILAN EKİPMANLAR

Düzdağ GES ve Akpınar GES tesislerinde benzer ve farklı özelliklerde ekipmanlar bulunmaktadır. Her iki santrallerde ortak ve farklı olarak kullanılan ekipmanlar şunlardır.

5.1.1. Düzdağ GES ve Akpınar GES Kullanılan Ortak Ekipmanlar



Şekil 5.2. Beton köşk trafo binası.

Düzdağ GES ve Akpınar GES sahalarında bulunan Şekil 5.2’de görülen trafo veya köşk binasının dayanıklı beton yapısı ve çok çeşitli farklı ekipman aksesuarlarının

yardımıyla en zorlu çevre koşullarında dahi kullanılabilir. Üç adet bölümü vardır. Bunlar alçak gerilim bölümü, trafo bölümü ve yüksek gerilim bölümü bulunmaktadır. Her iki santralde de beton köşk trafo binası ve içerisinde ekipmanlar aynıdır.



Şekil 5.3. Alçak gerilim (AG) bölümü.

Alçak gerilim bölümünde her inverterden gelen kablolar için termik manyetik şalter (TMS) bulunmaktadır (Şekil 5.3). Tek yönlü okuma almak üzere elektrik sayacı, kaçak akım rölesi, parafudr ve trafo binası beslemesi için de sigortalar mevcuttur. Ayrıca konteyner, aydınlatma ve kamera gibi beslemeler için iç ihtiyaç trafosu bulunmaktadır. TMS'lerdeki enerji bakır baralar ile AG röle aracılığıyla kumandalı veya kumandasız çalışan bobinli kontaktör üzerinden trafo bölümüne geçmektedir. Karşılaştırma yapılacak santrallerde pano ve içerisindeki malzemeler aynıdır.



Şekil 5.4. Trafo bölümü.

Trafo bölümünde GES de üretilen enerji alçak gerilimden yüksek gerilime dönüştürülür (Şekil 5.4). Maksimum üretilen enerjinin %25 fazlası trafo gücü olarak belirlenmiştir. Örnek olarak 1000 kW'lık tesis için $\cos \mu = P/S$ formülünden ve $\cos \mu=1/8$ alındığında $S=1250$ kVA bulunur. Trafonun koruma ekipmanları; yağ seviyesi, sıcaklık seviyesi ve aşırı akım gibi parametreler için trafo koruma hücresine bağlantısı vardır. İki güneş enerji santralinde de aynı güçte ONAN (Oil Natural Air Natural) soğutmalı farklı markalarda trafo bulunmaktadır.



Şekil 5.5. Orta gerilim (OG) bölümü

Yüksek gerilim bölümünde trafo koruma hücresi, akım-gerilim hücresi ve giriş hücresi bulunmaktadır. Trafoda oluşacak arızalar veya müdahaleler için trafo koruma hücresinde gazlı kesici mevcuttur. Akım-gerilim hücresinde orta gerilim akım transformatörü, orta gerilim sigorta, voltmetre, ampermetre ve aktif-reaktif çift yönlü sayaç bulunmaktadır (Şekil 5.5). GES çift yönlü sayaç ölçümleri üretim değerleri ve üretim olmadığı akşam saatlerinde tüketim değerleri verilerini kendi hafızasına kaydetmektedir. Giriş hücresinde dağıtım merkezi veya bağlantı yapılan noktadaki gelen orta gerilim enerji SF6 gazlı kesici ile açma kapama olarak kullanılır. Kapasitif gerilim ve arıza akım göstere düzenekleri bulunmaktadır. Alçak gerilim tarafından beslenen akü-redresör grubu da kesiciler için DC ve AC besleme sağlamaktadır. Redresör enerji kesintilerinde içerisindeki akü gücüne bağlı olarak değişen belirli bir süre koruma hücrelerinde röle ve diğer göstergelere enerji vermektedir.



Şekil 5.6. Konstrüksiyon seçimi.

GES santral üretim değerleri kıyaslanma yapılmadan önce bu santrallerin arazi eğimi, güneş panellerinin montajında bulunan konstrüksiyonların yerleşimleri, konstrüksiyonların ön kısmı güneş paneli ile zemin arasındaki mesafe gibi parametreler birbirine genellikle benzer olanları seçilmiştir. Her iki santralde de yukarıdaki Şekil 5.6'da konstrüksiyonlar aynı firmanın 4'lü yatay sehpa, 18 ayaklı sitem ve 4 mm (milimetre) kalınlığında paslanmaz galveniz alaşımlı çelik malzeme kullanılmıştır. Santralde bulunan arazideki toprak yapısına göre sehpa ayakları çakma veya delik açma makinesiyle delik açılıp beton dökülmüştür. Konstrüksiyon eğimi 25° her iki santral için de aynıdır. Her konstrüksiyon kendi aralarında ve santral çevresinde yer altına serilen galveniz topraklama barası ile bağlantı içerisindedir. (Şekil 5.7).



Şekil 5.7. Fotovoltaik güneş paneli seçimi.

Düzdağ ve Akpınar güneş enerji santrallerinde farklı markalarda aynı özellikte (Polikristal 60 hücreli) fotovoltaik güneş paneli kullanılmıştır (Şekil 5.7). Düzdağ Ges sahasında 270W ve Akpınar Ges sahasında 275W güneş paneli kullanılmıştır. Güneş panelleri hücreleri her iki içinde 6 busbar ribbon (hücre üzerindeki bakır teller) bulunmaktadır. Güneş paneli çerçeve ölçüleri birbirine çok yakın değerlerdedir.



Şekil 5.8. İnverter (Evirici) seçimi

Düzdağ Ges ve Akpınar Ges sahalarında farklı markalarda aynı güçlerde inverter kullanılmıştır (Şekil 5.8). Akpınar Ges sahasında DC kablolar dişi-erkek konnetörler ile direk inverter altında bulunan konnektör girişlerine montajı sağlanmıştır. İnverter firması toplama kutusu (DC Box)'nda oluşan arızaları ve maliyeti en aza indirmek için tercih etmemiştir. Her iki santralde de inverterlerin AC kablolarının bağlantı noktaları vidalarının gevşeme, ısınması, yanması vs. durumlar için belirli aralıklar ile bakımları yapılması gerekir.

Yangın veya acil durum olması durumları için sahanın çevresinde 5 metre boş alan bulunmaktadır. Yangın söndürme cihazları 6 kg ve 18 adet (İhtiyaca göre sayısı azaltılıp, artırılabilir) olarak köşk binası, inverterler ve DC panolarında bulunmaktadır. Fare ve diğer kemirgenler için kablolar, panolar ve köşk binalarının çevresinde fare istasyonları bulunur. Elektrik ekipmanlarını koruma amaçlı fare istasyonlarına düzenli olarak zehirler bırakılır.

5.1.2. Düzdağ GES ve Akpınar GES Kullanılan Farklı Ekipmanlar



Şekil 5.9. DC Box.

Düzdağ GES sahasında bulunan DC Boxlar Şekil 5.9’da fotovoltaik güneş panellerinden gelen her seriyi DC fişekli sigorta içerisinde geçip bakır baralar ve DC şalter den sonra inverter tarafına tek artı-eksi kablolanması ile geçiş yapılmaktadır. DC sigortalar 15A ve 1000V değerinde olup her bir serinin hem artı ucunda hem eksi ucunda bulunmaktadır. DC boxlarda yıldırım koruma ekipmanı olarak DC parafudr bulunmaktadır. Güneş panelinden gelen DC kabloların herhangi bir arıza bakım durumunda müdahalesi için inverteri ve diğer ekipmanları korumak amaçlı tasarlanmıştır. DC boxlar ileriye dönük de belirli aralıklar ile kontrol – bakım durumları oluşturmaktadır.

5.2. DÜZDAĞ GES VE AKPINAR GES ENERJİ ÜRETİM PERFORMANSINI ETKİLEYEN PARAMETRELER

Güneş enerji santrallerinde üretim değerlerini etkileyen faktörler çevresel ve sistemsel olarak iki başlıkta açıklanacaktır.

5.2.1. Düzdağ GES ve Akpınar GES Enerji Üretim Performansını Etkileyen Çevresel Faktörler

5.2.1.1. Güneşlenme Süresi ve Güneş Işınımı Faktörü

Güneş enerji santrallerinde ülkemizde illere ve mevsimsel farklılıklara göre güneşlenme süreleri değişiklik göstermedir. Düzdağ GES sahası Akpınar GES sahasına göre yükseltinin fazla olmasından dolayı kar ve sisin kış aylarında daha fazla olması güneşlenme süresinin azalmasına ve güneş ışınımı değerlerini de değiştireceği için doğrudan üretimi etkilemektedir. Arazinin bulunduğu alan etrafındaki dağlık veya ormanlık kısımların GES sahasının yükseltisinden fazla olması gölgeleme oluşturup ve güneşlenme sürelerini de azalmasına neden olacaktır.

Güneş ışınım değerleri deniz seviyesinden yüksekliğin artmasıyla metrekareye düşen ışınım değerleri de artmaktadır. Düzdağ GES sahası Akpınar GES sahasından yükseklik değeri daha fazla olduğu için güneş ışınımı da fazla olacaktır.

5.2.1.2. Sıcaklık ve Rüzgâr Faktörü

Güneş panelleri güneş ışınımından elektrik enerjisine dönüşümünü gerçekleştirirken yüzey sıcaklıkları, kısa devre akımı artmakta ve gerilim değerleri de düşmektedir. Gerilimin azalması da enerji üretiminin azalmasına sebep olacaktır. Üretim değerlerinin daha fazla olduğu yaz aylarında Düzdağ GES sahası Akpınar GES sahasından rakım değerinin daha yüksek ve sıcaklık ortalamalarının da düşük olması güneş panellerinin verimini artıracaktır. Rüzgârın sıcaklığının daha düşük olması güneş panellerinin üretimini artırırken sıcaklığın artması ise üretim değerlerini azaltacaktır.

5.2.1.3. Güneş Panellerinin Tozlanması veya Kirlenmesi Faktörü

Güneş panellerinin cam yüzeyleri fotovoltaik hücreleri dış etkenlerden korurken üzerinde oluşan tozlanma ve kirlenmesi ışınımı azaltacağından üretim değerlerini de azalmasına neden olacaktır. Güneş enerji santralleri bulunduğu konumları seçilirlen tozlanma oluşacak alanlar ve kuş göç yolu gibi güneş panellerinin kirlenmesine neden olacak yerlerden uzakta olmalıdır. Düzdağ GES ve Akpınar GES sahaları buldukları coğrafi konumu itibariyle yağmurların çok olmasından dolayı doğal olarak güneş panelleri temizlenmekte ve ayrı olarak yıkama yapılmaya gerek duyulmamaktadır.

5.2.2. Düzdağ GES ve Akpınar GES Enerji Üretim Performansını Etkileyen Sistemsel Faktörler

Düzdağ GES ve Akpınar GES sahaları periyodik bakımları görevli personeller ile düzenli olarak yapılmaktadır. Enerji üretim performansları bir yıllık arızalar ve süreleri açıklanacaktır.

Düzdağ GES sahası 2020 yılında gündüz saatlerinde toplam 18 saat dağıtım şebekesi kaynaklı enerjisiz kalarak üretim yapılamamıştır. DC Boxlarda sigorta kutusunda meydana gelen arızalar olmuş ve kısa süre içerisinde müdahalelerde bulunulmuş.

Akpınar GES sahası 2020 yılında gündüz saatlerinde toplam 6 saat elektrik enerjisiz kalmış. Tesis içinde üretim durumlarını etkileyecek herhangi bir arıza bulunmamaktadır.

5.3. DÜZDAĞ GES VE AKPINAR GES TEKNİK BİLGİLER VE ÜRETİM DEĞERLERİ

Düzdağ GES sahası 9 adet 1 MGW gücünde Lisanssız GES projelerinden oluşmaktadır. Saha çevresinin bir kısmı tarla ve ağaçlıktır (Şekil 5.10).



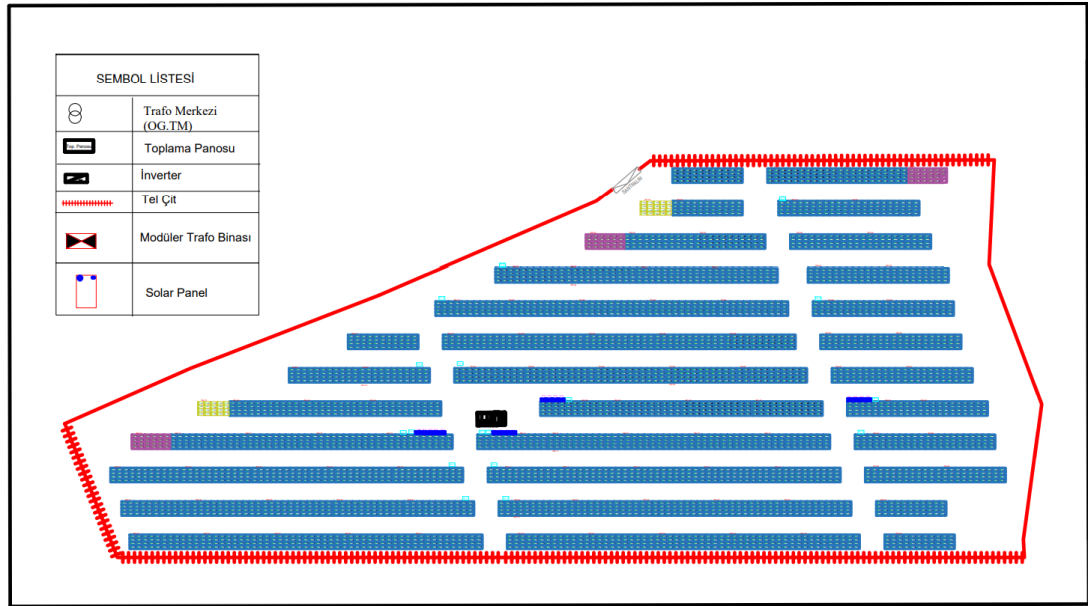
Şekil 5.10. Düzdağ GES araziye göre yerleşim planı uydu görüntüsü [31].

Akpınar GES sahası 1 adet 1 MGW ve 6 adet 500 kW gücünde Lisanssız GES projelerinden oluşmaktadır. Saha çevresinin çoğu kısmı tarla ve az kısmı da ağaçlıktır (Şekil 5.11).

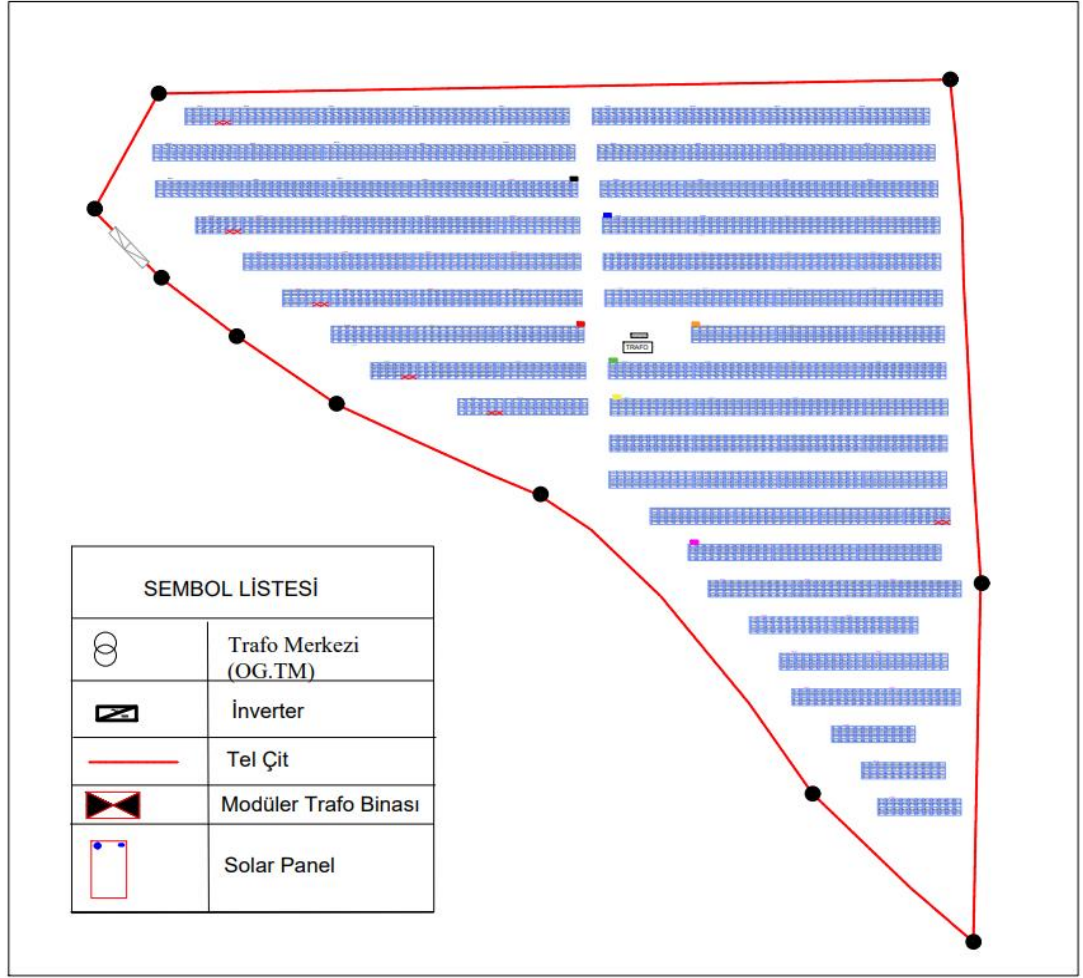


Şekil 5.11. Akpınar GES araziye göre yerleşim planı uydu görüntüsü [31].

Düzdağ GES sahasında bulunan Torba Enerji firmasına ait tesis ile Akpınar GES sahasında Çengeloğlu Enerji firmasına ait tesisin enerji üretim verileri kıyaslanacaktır. Karşılaştırma yapılacak olan her iki tesisin arazi yapıları ve arazi eğimleri birbirine yakın değerlerdedir.



Şekil 5.12. Düzdağ GES sahasında 1 MGW gücünde bulunan tesisin yerleşim planı.



Şekil 5.13. Akpınar GES sahasında 1 MGW gücünde bulunan tesisin yerleşim planı.

Yukarıda Şekil 5.12 ve Şekil 5.13’ de Düzdağ GES ve Akpınar GES sahasında güneş panelleri, modüler trafo binası, inverterler ve tel çit yerleşim noktaları gösterilmiştir. Düzdağ Ges sahasında Akpınar Ges sahasından farklı olarak kullanılan DC toplama panoları her bir inverter yanında kullanılmıştır. Mavi renkte gösterilen güneş panellerinden 22 olarak seri bağlanarak Düzdağ GES sahasında DC toplama panosuna ve Akpınar GES sahasında ise invertere giriş yapmaktadır. Her iki santrallerde bulunan kablolar TEDAŞ yer altı kablo detayına göre projeleri çizilip sahada uygulamaları yapılmıştır. Yıldırım koruma ekipmanı olarak parafudr direkleri tesisin bulunduğu en yüksek noktada kurulumu yapılmıştır. Tesis çevresinde bulunan tel çitler galvaniz baralar ile tüm saha etrafında yer altında bağlantıları yapıp, güneş panelleri konstrüksiyonları ile tekrar eklenmiştir.

Çizelge 5.2. Düzdağ GES ve Akpınar GES ekipmanları ve bilgileri.

	AC Güç	DC Güç	Trafo Gücü	Güneş Paneli	İnverter	DC Pano	Konstrüksiyon
Düzdağ GES	999 kWp	1.146,42 kWp	1250 kWA	270 W 4246 adet	60 kWp 17 adet	17 adet	25 ⁰ eğim 4 adet yatay
Akpınar GES	986 kWp	1.161,60 kWp	1250 kWA	275 W 4224 adet	60 kWp 16 adet	Yok	25 ⁰ eğim 4 adet yatay

Düzdağ GES AC gücü 999 kWp değerinde ve inverterlerin haberleşmesi ile kısıtlanan maksimum anlık toplam 970 kWp AC gücünde enerji şebekeye verebilir. Güneş panelleri 270 Watt gücünde polikristal (Güç toleransı 0 - +5W arasında ve modül verimliliği %16,6) birbirine 22 adet seri bağlantılı toplam 4.246 adettir. Konstrüksiyon ayakları zemine göre çakma veya delik açıp betonlanarak 25⁰ eğimde ve 4 adet güneş paneli yatay olacak şekilde montajı yapılmıştır. İnverterler 60 kWp gücünde ve 17 adettir (Maksimum verimlilik %98,8 ve 1 adet maksimum güç noktası izleme). DC toplama panosu 65kW - 70kW gücünde ve 17 adettir. Trafo ONAN (Oil Natural Air Natural) soğutma tipli ve 1250 kWA gücündedir.

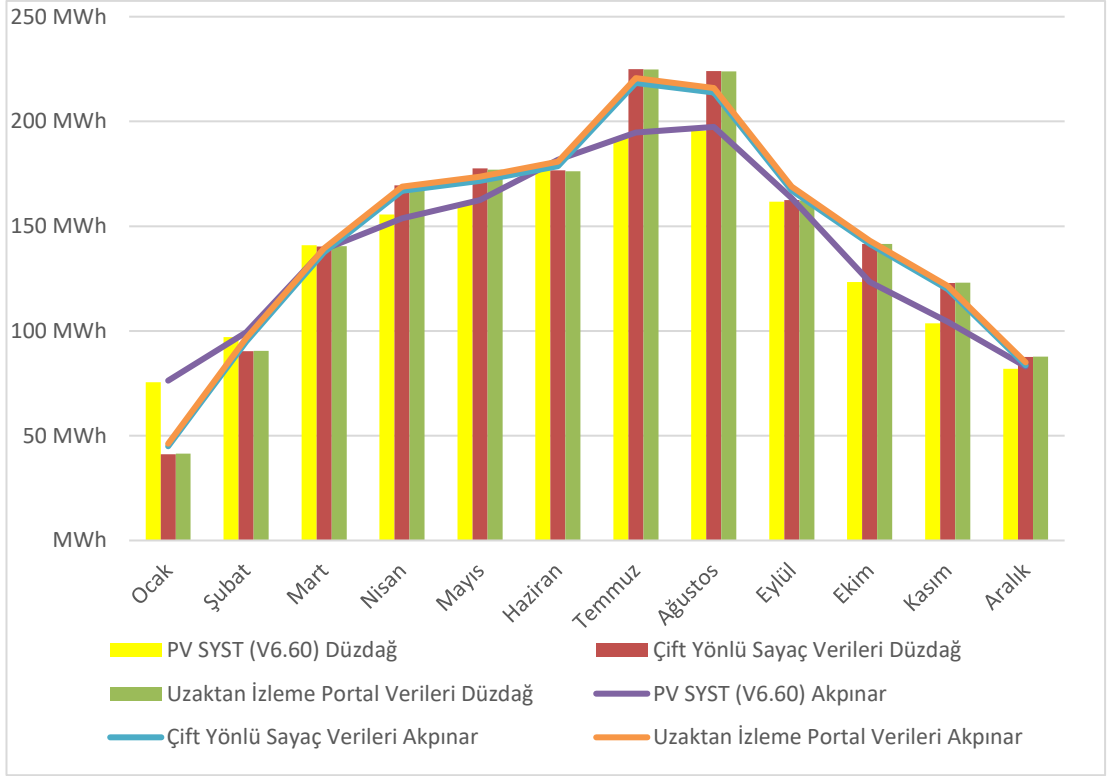
Akpınar GES AC gücü 986 kWp değerinde ve inverterlerin haberleşmesi ile kısıtlanan maksimum anlık toplam 970 kWp AC gücünde enerji şebekeye verebilir. Güneş panelleri 275 Watt gücünde polykristal (Güç toleransı 0 - +5W arasında ve modül verimliliği %16,78) birbirine 22 adet seri bağlantılı toplam 4.224 adettir. Konstrüksiyon ayakları zemine göre çakma veya delik açıp betonlanarak 25⁰ eğimde ve 4 adet güneş paneli yatay olacak şekilde montajı yapılmıştır. İnverterler 60 kWp gücünde ve 16 adettir (Maksimum verimlilik %98,7 ve 6 adet maksimum güç noktası izleme). DC toplama panosu bulunmamaktadır. Trafo ONAN (Oil Natural Air Natural) soğutma tipli ve 1250 kWA gücündedir.

Düzdağ GES ve Akpınar GES için trafo binalarında bulunan çift yönlü sayaçtan okunan aylara göre 2020 yılının üretim verileri, PVsyst simülasyon programı ve inverter markalarına göre farklı olan uzaktan izleme programından alınan veriler aşağıdaki tablolarda oluşturulmuştur.

Çizelge 5.3. Düzdağ ve Akpınar GES aylara göre 2020 yılının Pvsyst simülasyonu, Çift yönlü sayaçtaki (kWh) üretim değerleri ve İnceleme Portal Verileri.

	Pvsyst (Ay/kWh)		Çift Yönlü Sayaç Verileri (Ay/kWh)		Uzaktan İzleme Portal Verileri (Ay/kWh)	
	Düzdağ	Akpınar	Düzdağ	Akpınar	Düzdağ	Akpınar
Ocak	75.500	76.300	41.116	44.978	41.412	46.194
Şubat	97.100	99.300	90.295	94.893	90.564	96.575
Mart	140.900	138.900	140.279	137.496	140.500	139.366
Nisan	155.600	153.700	169.557	166.935	169.756	168.944
Mayıs	160.700	162.400	177.594	171.632	177.016	173.589
Haziran	178.500	181.800	176.664	178.704	176.194	180.760
Temmuz	192.300	194.700	225.004	218.395	224.846	220.687
Ağustos	195.700	197.400	224.105	213.851	223.862	215.941
Eylül	161.700	163.400	162.457	167.113	162.321	168.907
Ekim	123.400	123.300	141.522	141.579	141.538	143.123
Kasım	103.600	104.400	122.894	120.017	123.036	121.488
Aralık	81.900	83.000	87.604	83.598	87.804	84.949
Toplam	1.666.900 kWh	1.678.500 kWh	1.759.091 kWh	1.739.191 kWh	1.758.849 kWh	1.760.523 kWh

Yukarıdaki Çizelge 5.3'de santrallerin aylık üretimleri Şekil 5.14'de grafik olarak aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.14. Düzdağ GES ve Akpınar GES 2020 yılının aylık enerji üretim PVsyst verileri, Çift yönlü sayaç verileri ve Uzaktan izleme portal verileri karşılaştırılması.

Düzdağ GES sahasında PVsyst simülasyon programı ve çift yönlü sayaçtaki veriler Şubat, Mart, Haziran, Eylül ve Aralık ayları kWh üretim değerleri birbirlerine çok yakın iken diğer aylarda farklılık göstermiştir. Simülasyon programının oluşturduğu kWh üretim verileri aritmetik olarak yükselip indiğini görüyoruz. Şebekeye aktarılan sayaçtaki verilerde en düşük üretim değeri 41.116 kWh ocak ayında iken, en yüksek üretim değeri temmuz ayında 225.004 kWh' tir.

Akpınar GES sahasında Düzdağ GES sahasına benzer olarak simülasyon programının oluşturduğu kWh üretim verileri aritmetik olarak yükselip indiğini görülmektedir. Şebekeye aktarılan sayaçtaki verilerde en düşük üretim değeri 44.978 kWh ocak ayında iken, en yüksek üretim değeri temmuz ayında 218.395 kWh' tir.

Düzdağ GES sahası temmuz ve ağustos aylarında üretim değerleri Akpınar GES sahasından daha fazla olmuştur. Kış ayları ocak ve şubat için Akpınar GES sahası da Düzdağ GES sahasından üretim değerleri daha fazladır. Düzdağ GES inverterlerin

üretimlerini hesaplayan uzaktan izleme cihazı da çift yönlü sayaçtaki veriler arasında çok az fark bulunmakta ve inverterlerin haberleşmesi cat6 kablolar ile yapılmaktadır. Bu değerlerin farklılıkları trafo dönüştürme oranı, alçak gerilim tarafında kablolamalarda çok düşük kayıplar olduğu ve cihazların aralarındaki haberleşme sorunlarından kaynaklanmaktadır.

Akpınar GES inverterlerin üretimlerini hesaplayan uzaktan izleme cihazı ve çift yönlü sayaçtaki veriler arasında 21.332 kWh değerinde Düздаğ GES sahasında bulunan haberleşme cihazına göre çok fark bulunmaktadır. Bu değerlerin farklılıklarındaki en büyük etken, Akpınar GES sahasında sistemde haberleşme kablosu olmadan inverterlerin alçak gerilim kabloları üzerinden ölçüm yaparak sonuçlara ulaşılması ve uygulama kaynaklı hassasiyetlerin fazla olmasıdır.

Çizelge 5.4. Düздаğ GES ve Akpınar GES için PVsyst simülasyon programı ile oluşturulmuş aylık ortalama ışıma, sıcaklık, enerji üretimi ve performans verileri.

	Küresel ışıma (kWh/m ²)		Ortam sıcaklığı (°C)		Şebekeye Aktarılan Enerji (MWh)		Performans Oranı	
	Düздаğ	Akpınar	Düздаğ	Akpınar	Düздаğ	Akpınar	Düздаğ	Akpınar
Ocak	29,2	29,6	-1,8	-0,3	75,5	76,3	0,93	0,91
Şubat	36,6	33,6	-0,5	1,1	97,1	99,3	0,92	0,91
Mart	52	53,7	4,5	5,9	140,9	138,9	0,89	0,89
Nisan	72,2	75,7	8,8	10,2	155,6	153,7	0,88	0,86
Mayıs	78,3	79,5	14	15,4	160,7	162,4	0,85	0,84
Haziran	75,5	86,6	18,1	19,5	178,5	181,8	0,83	0,83
Temmuz	74,7	79,7	21,3	22,7	192,3	194,7	0,82	0,81
Ağustos	61,8	62,7	21,3	22,7	195,7	197,4	0,84	0,81
Eylül	53,7	55,5	15,9	17,3	161,7	163,4	0,87	0,84
Ekim	45,3	47,9	11,1	12,5	123,4	123,3	0,90	0,86
Kasım	32	31,1	4,6	6,1	103,6	104,4	0,90	0,89
Aralık	24,5	23,9	-0,3	1,2	81,9	83,0	0,91	0,89
Toplam	635,79	659,5	9,81	11,25	1667	1.678,5	0,86	0,85

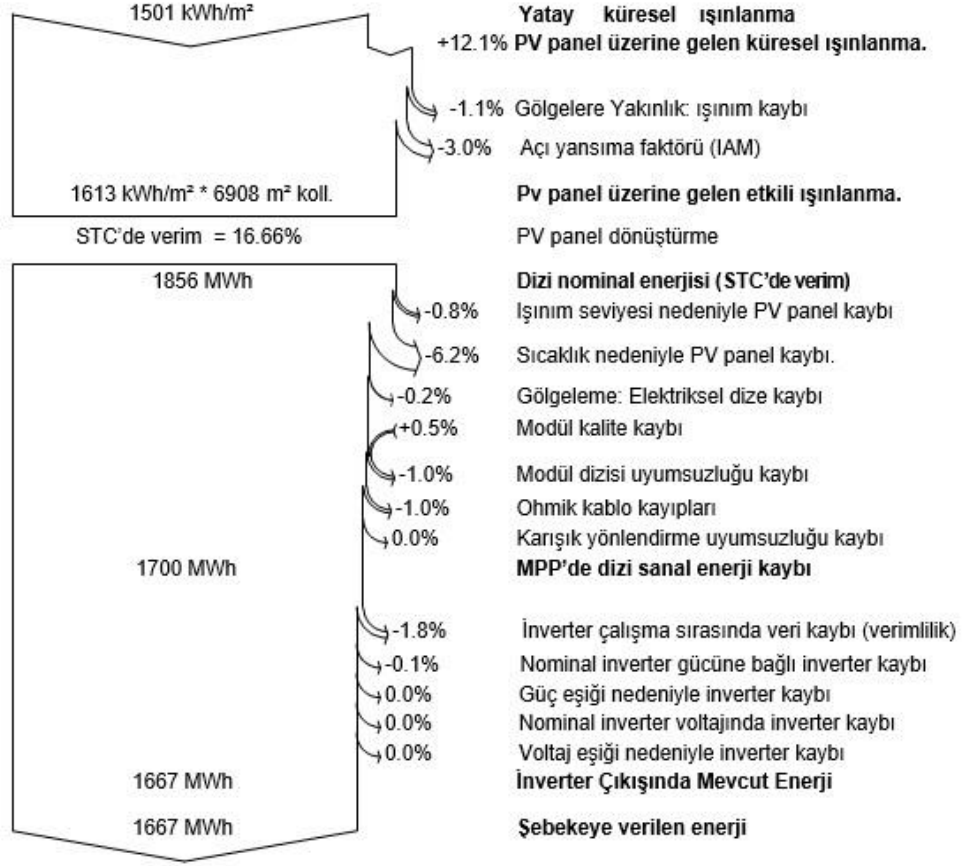
Yukarıdaki Çizelge 5.4’ te aylık ortalama sıcaklıklar düştükçe Düzdağ GES ve Akpınar GES tesislerinin performans oranları arttığı gözlemlenmektedir. Düzdağ GES sahası için performans oranı en yüksek olduğu değer 0,93 ile ocak ayı ve en düşük olduğu değer 0,82 ile temmuz ayındadır. Akpınar GES sahası için performans oranı en yüksek olduğu değer 0,91 ile ocak, şubat ayları ve en düşük olduğu değer 0,81 ile temmuz, ağustos aylarıdır.



Şekil 5.15. Bilecik ili MEVBİS meteoroloji verileri, Düzdağ GES ve Akpınar GES sahaları PVsyst simülasyon programı Metenorm meteoroloji verileri yıllık aylara göre toplam global radyasyon değerleri karşılaştırılması.

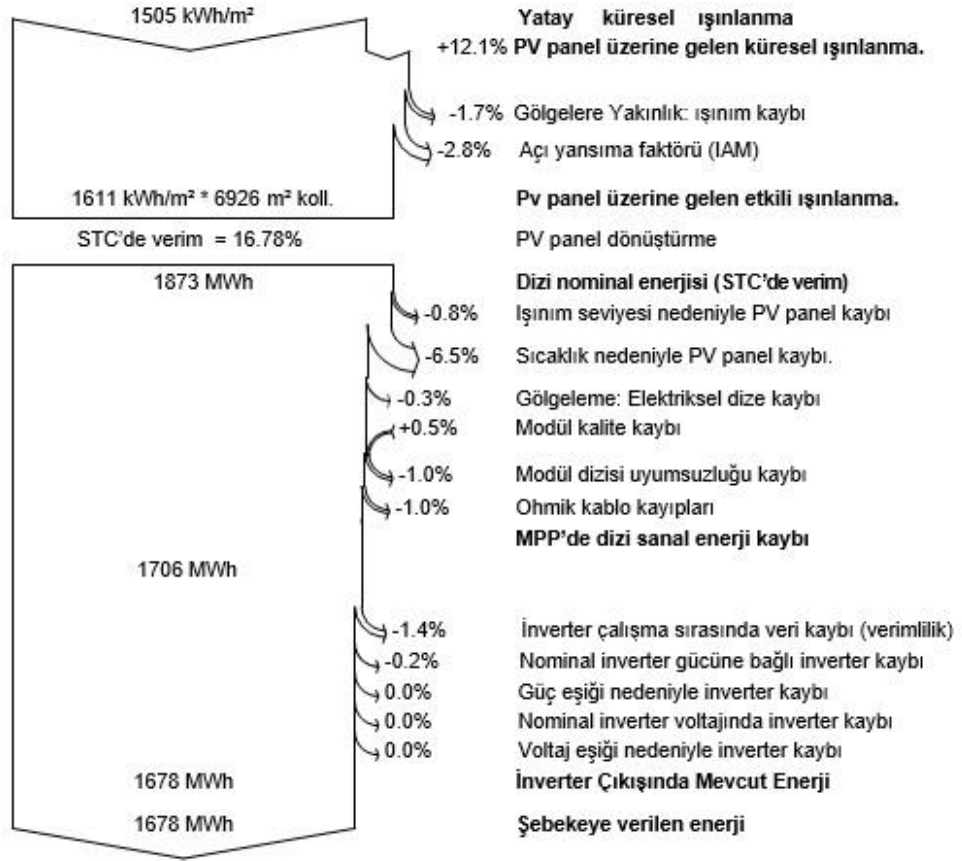
Bilecik ilinde bulunan Meteoroloji Genel Müdürlüğü’ne bağlı ölçüm istasyonu MEVBİS internet sistemine yüklediği 2020 yılına ait aylık global radyasyon değerleri aralık ayında en düşük 38,2 kWh/m² iken en yüksek temmuz ayında 217,2 kWh/m² değerindedir. Düzdağ GES ve Akpınar GES sahaları PVsyst simülasyon programının Metenorm meteoroloji verilerinden aylık global radyasyon değerleri ile MEVBİS meteoroloji verilerinin en yakın olduğu değerler nisan ve ağustos ayları olarak görülmektedir. Ölçüm istasyonu ile PVsyst verilerindeki bu farklılıklar Düzdağ GES ve Akpınar GES sahalarında arasındaki mesafe, yükselti ve sıcaklık gibi birçok parametrelerden kaynaklı olabilir. PVsyst simülasyon programının Metenorm meteoroloji verileri yıllık ortalama alınan değerleri santral konumlarına göre simüle edilerek hesaplamalar yapmıştır.

PVsyst simülasyon programının yıllık olarak ortalama hesapladığı her iki santrallerde bütün kayıplar aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



Şekil 5.16. Düzdağ GES sahasında PVsyst programının oluşturduğu yıllık ortalama kayıpların diyagramı.

Simülasyon sonucunda elde edilen yukarıdaki diyagramda Düzdağ GES bulunduğu alana yatay düzlemde küresel ışınım miktarı 1501 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Fotovoltaik güneş panelleri 25° eğimde gelen küresel ışınlanma miktarı %12,1 artış olmaktadır. Dizi kayıpları %9,2 iken inverter kayıpları %1,9 olarak hesaplanmıştır. Tüm kayıpların toplamıyla santralde şebekeye verilen enerji miktarı 1667 MWh olarak öngörülmüştür.



Şekil 5.17. Akpınar GES sahasında Pvsyst programının oluşturduğu yıllık ortalama kayıpların diyagramı.

Simülasyon sonucunda elde edilen yukarıdaki diyagramda Akpınar GES bulunduğu alana yatay düzlemde küresel ışınlım miktarı 1505 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Fotovoltaik güneş panelleri 25° eğimde gelen küresel ışınlama miktarı %12,1 artış olmaktadır. Dizi kayıpları %9,1 iken inverter kayıpları %1,6 olarak hesaplanmıştır. Tüm kayıpların toplamıyla santralde şebekeye verilen enerji miktarı 1678 MWh olarak öngörülmüştür.

Düzdağ GES sahasında sıcaklık nedeniyle PV kaybı %6,2 iken Akpınar GES sahasında %6.5 olarak programda simülasyon verileri elde edilmiştir.

5.4. DÜZDAĞ VE AKPINAR GES YILLIK ENERJİ ÜRETİM DEĞERLERİ KARŞILAŞTIRILMASI

Bilecik ilinde bulunan Düздаğ GES ve Akpınar GES yıllık toplam enerji üretim verileri karşılaştırılması için PVsyst simülasyon programı verileri, çift yönlü sayaç verileri ve inverterlerin hesapladığı uzaktan izleme portal verileri kWh değerinde aşağıda verilmiştir.

Çizelge 5.8. Düздаğ ve Akpınar GES Yıllık toplam PVsyst simülasyon, Çift yönlü sayaçtaki kWh üretim değerleri ve inverterlerin uzaktan izleme portal verileri.

Yıllık Toplam Üretim Değerleri	PVsyst	Çift Yönlü Sayaç Verileri	Uzaktan İzleme Portal Verileri
Düздаğ	1.856.000 kWh	1.759.091 kWh	1.758.849 kWh
Akpınar	1.873.000 kWh	1.739.191 kWh	1.760.523 kWh

Yıllık kayıp olmadan hesaplanmış üretim değerleri PVsyst ve çift yönlü sayaç verilerinde Düздаğ güneş enerji santralinde yüksek iken Uzaktan izleme portal verilerinde daha düşük olduğunu görüyoruz. Uzaktan izleme portal verilerinde inverterlerin haberleşmeleri, inverterlerin data verilerin toplandığı haberleşme cihazında veya internet sunucusu tarafında gibi aksaklıklar meydana gelmiş olabilir. Bu kısımda inverter ve inverter haberleşme cihazları veriyi kendi hafıza kartları ile verileri depolayıp daha sonra internet sunucu tarafına da sorunsuz aktarım yapıldığında gerçek değerlere ulaşılabilir.

Güneş enerji santralleri yatırım ön fizibilite çalışmalarında oluşturulan simülasyon programından alınan veriler PVsyst yıllık toplam üretim değerleri her iki sahada da çift yönlü sayaçtan alınan verilerden yaklaşık %5 altındadır. Simülasyon programları gerçek üretim kWh verileri ile yakın değerlerinden dolayı her zaman bunun gibi benzer hesaplama programlarına taleplerini artıracaktır. Simülasyon programındaki PVsyst yıllık toplam üretim değerleri, çift yönlü sayaçtan alınan verilerden daha yüksek de olabilirdi. Bu durumlarda ise programda malzemelerin seçimi ve güneş enerji santralin konum, arazi eğimi gibi veriler de doğru hesaplanmamış olabilir veya güneş enerji santralinde üretim sırasında herhangi bir şekilde inverter, DC-AC sigorta, kablolama

arızaları vs. gibi üretimi olumsuz yönde etkileyecek parametreler olması muhtemeldir. Herhangi bir arıza olmayıp da güneş panellerinin kirlenmesi veya gölgelemelerin olması karşılaştırmadaki değerleri de etkileyecektir.

Her iki santralde de bulunan köşk binalarının orta gerilim tarafında akım ve gerilim trafolarından okunan bu çift yönlü sayaçlardaki saatlik olarak çekiş-veriş kWh değerleri, uzaktan veya kızılötesi port bağlantısı ile bilgilerin aktarılmasında Yük profili formu detaylı incelenip hata olmamasına dikkat edilmelidir. Çift yönlü sayaçtan alınan hatalı bilgiler olduğunda ilgili dağıtım şirketine bilgilendirilmelidir. Çift yönlü sayaçların ölçü trafosunda bulunan akım trafoları ve gerilim trafoları da düzenli olarak kontrol edilmelidir. Çift yönlü sayaçlardaki veriler asıl ve yedek olmak üzere iki ayrı sayaç da kontrol edilebilir. Bir adet çift yönlü sayaçta hatalı okumalar olduğunda yedek sayaç ile de karşılaştırılmalar yapılabilir. Asıl sayaçtaki aylık kWh üretim ve tüketim verileri dağıtım şirketi tarafından uzaktan okumalar yapıp, bu veriler ile o santralin sahibi olduğu firma fatura kesilip üretimlerdeki bedelleri Türk Lirası (TL) para birimi ile ödemeler yapılmaktadır.

Santrallerde bulunan inverterlerin uzaktan izleme sistemleri farklı markalarda olup çalışma prensipleri de farklıdır. Düzdağ GES sahasında bulunan inverter manager RS485 kablolar ile inverterler arasında haberleşme sağlar. Akpınar GES sahasında bulunan inverter manager kablosuz haberleşip AC kablolar üzerinden de veri akışı sağlayabiliyor. İnverterlerin haberleşmelerinde ve verilerin internet server aktarılmasında enerji kesintileri ve internet kesintilerinde veri akışında gecikmeler ve eksik veriler olmaktadır. Cihazlar birkaç günlük eksik kalan verileri doğru olarak internete aktarılırken uzun günlerde internet kesintileri olduğunda eksik veriler ile toplam kWh değerleri uzaktan izleme sisteminde gözükmemektedir. İnternet ve şebeke kesintilerinden etkilenme olmadığında uzaktan izleme sistemleri üretim verilerini doğru olarak sistemlerine aktarım sağlamış olacaktır.

Düzdağ GES için Osos çift yönlü sayaç verileri ile Şekil 5.14'te PVsyst simülasyon programının hesapladığı kayıp olmadan üretilen enerji (kWh) değeridir. Düzdağ GES performans oranı Eşitlik 4.1'den %94,7 değeri olarak hesaplandı ve %95 olarak yuvarlama yapılmıştır. Akpınar GES performans oranı Eşitlik 4.1' den %92,4 değeri

hesaplama yapılarak, %92 olarak yuvarlama yapılmıştır. Akpınar tesisinde yıllık fotovoltaik güneş panellerine gelen ışınım (kWp/m^2) ve DC kurulu güç (kWp) değeri Düzdağ tesisinden fazla olmasına rağmen yıllık toplam üretimi (kWh) değeri düşük olduğu için performans oranı da yüzdeler olarak düşmüştür.

Düzdağ GES sahası yıllık üretimi daha fazla olmuştur. Düzdağ sahasının rakıma bağlı radyasyon değeri daha yüksek ve bölgenin rüzgârlı olmasıyla güneş panellerinin sıcaklığa bağlı verim kaybı azalmıştır. Buna bağlı olarak enerji verimi daha yüksek olmuş, bu da doğrudan güneş enerji santralının üretim değerlerini artırmıştır. Düzdağ GES sahasında kış aylarında, kar birikmesi, sis ve bulut yoğunluğu sistemin bu aylarda üretim kazancını azaltmakta, ancak yaz aylarında yükseltiden dolayı daha serin ve berrak bir yapıda olması da üretim kazancını arttırdığı görülmüştür.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, iki güneş enerji santrallerinin üretim verileri ve çevresel etkileri kıyaslanmış ve üretim değerlerini etkileyen parametreler oluşturulmuştur. Türkiye’de Bilecik ilinde bulunan, Düzdağ GES ve Akpınar GES sayaçlarının yıllık üretimiyle PVsyst simülasyon programının hesapladığı yıllık üretim değerleri arasında sırayla %5 ve %8 fark görülmektedir. Her iki santralde de gerekli rutin bakımlar yapıldığı için yıllık üretim değerlerinde elektriksel ve sistemsel arızalar çok az olmuştur. Santrallerin sayaçlardaki gerçek üretim değerleriyle PVsyst simülasyon programındaki değerler birbirine çok yakın çıkmıştır. Düzdağ GES tesisin yıllık üretim değeri 1.759.091 kWh ve Akpınar GES tesisin yıllık üretim değeri 1.739.191 kWh olarak hesaplanmıştır (Çizelge 6.1). Yıllık üretim değerlerinden hesaplanılan Düzdağ GES tesisinde performans oranı %95 ve Akpınar GES tesisinde performans oranı %92 çıkmıştır (Eşitlik 4.1). Düzdağ GES ve Akpınar GES tesislerin PVsyst simülasyon verilerinde aylık ortalama sıcaklık değerleri düştükçe performans oranlarının arttığı görülmüştür.

Çizelge 6.1. Düzdağ ve Akpınar GES aylara göre çift yönlü sayaçtaki kWh üretim değerleri karşılaştırılması.

	Düzdağ Sayaç Verileri (Ay/kWh)	Akpınar Sayaç Verileri (Ay/kWh)
Ocak	41.116	44.978
Şubat	90.295	94.893
Mart	140.279	137.496
Nisan	169.557	166.935
Mayıs	177.594	171.632
Haziran	176.664	178.704
Temmuz	225.004	218.395
Ağustos	224.105	213.851
Eylül	162.457	167.113
Ekim	141.522	141.579
Kasım	122.894	120.017
Aralık	87.604	83.598
Toplam	1.759.091 kWh	1.739.191 kWh

Düzdağ GES DC gücü 1.146,42 kWp, Akpınar GES sahasında DC gücü 1.161,60 kWp daha az olmasına rağmen aylık olarak AC üretim sayaç verilerinde mart, nisan, mayıs, temmuz, ağustos, kasım ve aralık aylarında daha fazla üretim olduğu tespit edilmiştir. Ocak ve Şubat aylarında ise Düzdağ GES tesisinde kar, sis, bulutlanma veya arızalar gibi nedenlerden dolayı düşüşler görülmektedir. Eylül ayında veriler birbirine çok yakındır, haziran ve ekim aylarında ise Akpınar sayaç verileri daha yüksek çıkmaktadır. Bunun sebebi ise arızalar ve sistemsel nedenlerden dolayı gerçekleştiği düşünülmektedir. Güneş enerji santralinde oluşan üretim kayıplarının sebepleri olarak çevresel ve iklimsel etkiler sonraki çalışmalarda daha detaylı incelenebilir.

Tez çalışmasında PVsyst V6.60 simülasyon programı GES tesis enerji performans verileri ve meteorolojik verileri sağlamada doğruluk oranı yüksek olduğu için seçilmiştir. Düzdağ GES tesisinde elde edilen enerji üretim verilerinin Akpınar GES tesisinde elde edilenden daha yüksek çıkmasının sebebi olarak; rakımın yüksek olması ve performans oranını doğrudan etkileyen sıcaklık faktörünün düşük olması belirtilebilir. Performans oranını artırmak için; ilk olarak gerçekleşen üretim değerini artırmak veya ışınım değeri sabit olduğu için DC kurulu güç değeri artırılmalıdır. DC kurulu güç gerçekleşen üretim değerini de artıracığından performans oranı da artacaktır. Gerçekleşen üretim değerinin yüksek tutulması için de güneş enerji santralinde bakım onarım çalışmaları belirli periyotlarla düzenli olarak yapılmalıdır. Dağıtım şirketi kaynaklı veya diğer sebeplerden kaynaklı enerji kesintilerini en aza indirilmelidir. GES tesisleri kurulum ve yer seçimi sırasında daha yüksek bir performans alabilmek için gölgelemelerin en az olduğu yüksek rakımlı ve düşük sıcaklıktaki bölgelerin yatırım öncesinde öncelikli dikkat edilmesi gerekmektedir.

Enerjinin temiz, güvenilir ve sürekliliği için karbondioksit gazı salınımını azaltılması yönünde yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerji santrallerine yatırımları her geçen gün artırmalıyız. Günümüzde hızla gelişen teknolojiyle birlikte enerji tüketiminin en fazla olduğu sanayi, konutlar ve ulaşım sektörü vb. elektrik tüketim noktalarına yakın, verimli tarım arazisi ve orman vasfı bulunmayan ve uygun güneşlenme verilerine sahip yerlerde GES kurulması teşvik edilmelidir. Konvansiyonel enerji kaynaklarında (petrol, doğalgaz vb.) son yıllarda yaşanan fiyat artışları, elde edilebilirlik, benzeri birçok faktör ülkeleri, zorunlu olarak daha bağımsız

ve kolay elde edilebilir olan yenilenebilir (güneş, çöp gazı, jeotermal, rüzgâr vb.) kaynakların Ar-Ge ve yatırımlarına yönlendirmiştir. Bunların başında da Güneş enerjisi gelmektedir. Güneş enerji santrellerinde ilk yatırım ve üretim maliyetlerini düşürebilmenin yolu da verimli PV güneş paneli tasarımı ve imalatından geçmektedir. Bu sebeple PV hücre ve güneş paneli tasarımına teşvik uygulamaları artırılmalıdır. Özellikle de son yıllarda Ulaşım sektöründe elektrikli araçların sıfır karbon salınımı yapması batarya ve şarj sistemlerinin gelişmesiyle doğrudan elektrik enerjisi üretebilen bu yatırımları daha cazip hale getireceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Ceylan, İ., Gürel, A. E., “Güneş Enerjisi Sistemleri ve Tasarımı”, *Dora Yayınları*, Bursa, 11-16 (2018).
2. Öztürk, H. H., Kaya, D., “Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi: Fotovoltaik Teknoloji”, *Umuttepe Yayınları*, Kocaeli, 56-58 (2019).
3. Girgin, M., H., “Bir fotovoltaik güneş enerjisi santralının fizibilitesi, Karaman bölgesinde 5 mw’lık güneş enerjisi santrali için enerji üretim değerlendirme ve ekonomik analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü*, İstanbul, 220-223 (2011).
4. Sharma, V., Chandel, S. “Performance analysis of a 190 kWp grid interactive solar photovoltaic power plant in India. Energy”, *Journal of Power and Energy Engineering*, 55: 476-485. (2013)
5. Kumar, N. M., Kumar, M. R., Rejoice, P. R., and Mathew, M. Performance analysis of 100 kWp grid connected Si-poly photovoltaic system using PVSYST simulation tool. *Energy Procedia*, 117: 180-189 (2017).
6. Ayran, A.,Z., “Kütahya İli Güneş Enerji Potansiyelinin Araştırılması ve Örnek Bir Güneş Enerji Santralının Ekonomik Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya, 70-80 (2019).
7. Keskin, A., “Niğde İli Güneş Enerji Santrali Modellemesi ve Performans Parametreleri Değerlendirmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 95-110 (2019).
8. Koçak, E., M., “Büyükçekmece İlçesinde Güneş Enerji Santralının Tasarım ve Ekonomik Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 110-120 (2018).
9. Yağlı, H., Koç, Y., Koç, A., Görgülü, A., ve Tandiroğlu, A. “Parametric Optimization and Exergetic Analysis Comparison of Subcritical and Supercritical Organic Rankine Cycle (ORC) for Biogaz Fuelled Combined Heat and Power (CHP) Engine Exhaust Gas Waste Heat”, *Energy*, 111: 922-930 (2016).
10. İnternet: “Renewables 2018 Global Status Report”, <https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/08/Full-Report-2018.pdf> (2020).

11. İnternet: “Renewables 2020 Global Status Report”, https://www.ren21.net/wpcontent/uploads/2019/05/gsr_2020_full_report_en.pdf (2020).
12. İnternet: “World’s largest photovoltaic power stations”, March 2020 Bhadla Solar Park, https://en.wikipedia.org/wiki/Bhadla_Solar_Park (2020).
13. İnternet: “Türkiye Global Güneş Radyasyonu Uzun Yıllar Ortalaması (2004-2018) Heliosat Model Ürünleri”, https://www.mgm.gov.tr/kurumci/radyasyon_iller.aspx (2021).
14. İnternet: “Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli”, <http://gunesenerjisi.uzerine.com/index.jsp?objid=705> (2021).
15. İnternet: “Dicle Kalkınma Ajansı Enerji Raporu”, https://www.dika.org.tr/upload/archive/files/enerji_raporu.pdf (2021).
16. Aksungur, M. K., Kurban, M., Filik, B. Ü., “Türkiye’nin Farklı Bölgelerindeki Güneş Işınım Verilerinin Analizi ve Değerlendirilmesi Üzerine Araştırma”, 5. *Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, Eskişehir, 2-3 (2013).
17. İnternet: Türkiye Ortalama Güneşlenme Süresi (1988-2017), <https://mgm.gov.tr/kurumci/turkiye-guneslenme-suresi.aspx> (2021).
18. İnternet: TMMOB, Türkiye'nin Enerji Görünümü 2018, <https://www.mmo.org.tr/kitaplar/turkiyenin-enerji-gorunumu-2018> (2021).
19. İnternet: Bilecik Elektrik Santralleri, <https://www.enerjiatlası.com/sehir/bilecik/> (2020).
20. İnternet: Safir Enerji Üretim Yatırım ve Ticaret A.Ş. (Meryem RES) tarafından Rüzgâr Enerji Santrali Tesisi İmar Planı, <http://www.bilecikozelidare.gov.tr/safir-enerji-uretim-yatirim-ve-ticaret-as-meryem-res-tarafından-ruzgar-enerji-santrali-tesisi-imar-plani> (2020).
21. İnternet: Bozüyük Res Toplam Kurulu Güç: 92.5MWM/90.0MWE Bilecik-Bozüyük İnebolu Enerji Yatırım Üretim Tic. A.Ş. İmar Planı, https://webdosya.csb.gov.tr/db/bilecik/duyurular/bozuyuk_16turbin_res_rapor_5000-20201216133443.pdf (2020).
22. İnternet: Sma MPPT nedir neden kullanılır, <https://www.sma-sunny.com/tr/mppt-nedir-neden-kullanilir/> (2020).
23. İnternet: BİOSUN Bilecik Entegre Katı Atık Tesisi, <https://bilecik.csb.gov.tr/biosun-bilecik-entegre-kati-atik-tesisine-teknik-gezi.-etkinlik> (2020).

24. İnternet: Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik Kapsamında Kapasite Tahsis Tablosu-Mayıs 2019, https://www.enerjiportali.com/wpcontent/uploads/2019/05/Lisanssiz_Kapasite_Tahsis_Tablosu_Mayis-2019.pdf (2019).
25. Karpuz, G., “Güneş Paneli Üretiminde Kullanılan Yarı İletken Malzemeler”, *Metalurji Genç Hurdacı Dergisi*, 18: 2020, (2020).
26. Erkul, A., “Monokristal, Polikristal ve Amorf-Silisyum Güneş Panellerinin Verimliliğinin İncelenmesi ve Aydınlatma Sistemi Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 24-25 (2010).
27. İnternet: Half-Cut Hücreli Güneş Panelleri, <https://entegro.com.tr/half-cut-hucreli-gunes-panelleri/> (2020).
28. İnternet: Yenilenebilir Fotovoltaik Enerji Pi Enerji Sunumu, <https://docplayer.biz.tr/2768659-Yenilenebilir-fotovoltaik-enerji.html> (2020).
29. İnternet: Aynı Çatı Altında 4 Aşama ile Dünyada İlk ve Tek Üretim Tesisi, <https://kalyonpv.com/teknolojimiz.html> (2020).
30. İnternet: Six-junction III–V solar cells with 47.1%conversion efficiency under 143 Suns concentration, <https://www.nature.com/articles/s41560-020-0598-5> (2020).
31. İnternet: Google Earth, <https://earth.google.com/web/search/> (2021).

EK AÇIKLAMALAR A.

**DÜZDAĞ GES VE AKPINAR GES ENERJİ
ÜRETİM VERİLERİNİN KULLANILMASI İÇİN İZİN EVRAĞI**

19.01.2022

SAYIN: Abdullah Samed NAZİKSOY

Emin Yenilenebilir Enerji de Enerji Sistemleri Mühendisi olarak çalışan ve aynı zamanda Çengelöğlü Güneş Enerji Santrali ve Torba Güneş Enerji Santralinin proje sorumlusu olarak görev yapan Abdullah Samed NAZİKSOY' un Yüksek Lisans Tez'inde Çengelöğlü Güneş Enerji Santrali ve Torba Güneş Enerjisine ait verileri kullanmasında şirketlerimiz tarafından herhangi bir sakınca yoktur.

Ünal BOZALP
Şirket Müdürü

Ünal BOZALP
Şirket Müdürü

TORBA ENERJİ
TAR. HAY. İTH. İ
Altunizade Mah. Kısıklı
Üsküdar/İST. Üsküdar V.D.

Çengelöğlü Enerji Tar
İnş. San. ve Tic. Ltd
Üsküdar V.D.: 242 09

Şekil Ek A.1. Düzdağ GES ve Akpınar GES enerji üretim verilerinin kullanım izni.

EK AÇIKLAMALAR B.

**DÜZDAĞ GES VE AKPINAR GES FOTOVOLTAİK GÜNEŞ PANELLERİ
VE İNVERTERLERİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ**

POLY CRYSTALLINE MODULE
RCM-xxx-6PB (xxx=265-300)

Electrical Characteristics

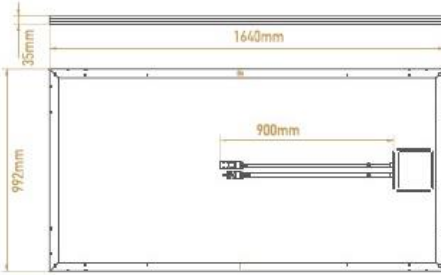
Rated Power	265W	270W	275W	280W	285W	290W	295W	300W
Power Tolerance	0~+5W	0~+5W	0~+5W	0~+5W	0~+5W	0~+5W	0~+5W	0~+5W
Maximum Power Voltage (Vmp)	31.10V	31.40V	31.57V	31.69V	31.85V	31.96V	32.19V	32.41V
Maximum Power Current (Imp)	8.55A	8.63A	8.72A	8.84A	8.95A	9.08A	9.17A	9.26A
Open Circuit Voltage (Voc)	38.20V	38.60V	38.70V	38.78V	38.87V	39.19V	39.48V	39.76V
Short Circuit Current (Isc)	8.96A	9.13A	9.21A	9.32A	9.41A	9.63A	9.70A	9.77A
Module Efficiency	16.29%	16.60%	16.90%	17.21%	17.52%	17.83%	18.13%	18.44%
Maximum Series Fuse	15A	15A	15A	15A	15A	15A	15A	15A
Maximum System Voltage	1.000 VDC (IEC) - 1.000 VDC (UL) / 1.500 VDC (upon request)							

Tested at Standard Test Conditions. Measurement tolerances: $\pm 3\%$

Mechanical Data

Dimensions	1640mm x 992mm x 35mm
Weight	19.0 Kg
Frame	Anodized aluminum
Front Glass	3.2mm ARC, low iron, tempered glass
Output Cables	TUV (2Pfg1169:2007), UL 4703, UL44 4.0mm ² (0.006 in ²), symmetrical lengths (-) 900mm and (+) 900mm, MC4 type connectors

Dimensions



© Recosolar 2015-01, v1.2
RECOM assumes no liability or responsibility for any typographical error, layout error, misinformation, any other error, omission, contained herein.

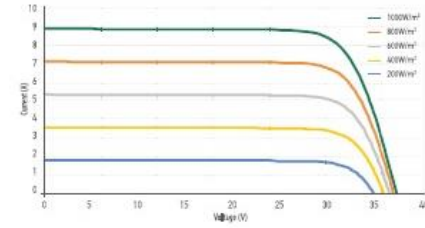
recom-solar.com

The specifications and key features described in this datasheet may deviate slightly and are not guaranteed. Due to on-going innovation, research and product enhancement, RECOM Solar reserves the right to make any adjustment to the information described herein at any time without notice. Please always obtain the most recent version of the datasheet which shall be duly incorporated into the binding contract made by the parties governing all transactions related to the purchase and sale of the products described herein. Please read the safety and installation instructions before using the modules.

© Copyright 2015, RECOM

I-V Curve

The module relative power loss at low light irradiance of 200W/m² is less than 3%.



Temperature Characteristics

Pmax Temperature Coefficient	-0.40% / °C
Voc Temperature Coefficient	-0.33% / °C
Isc Temperature Coefficient	+0.058% / °C
Operating Temperature	-40~+85 °C
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45 \pm 2 °C

Packing Configuration

Container	40'HC
Pieces per Pallet	30
Pallets per Container	28
Pieces per Container	840

Şekil Ek B.1. Düzdağ GES fotovoltaik güneş panelleri teknik özellikleri.

ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER

Model Tipi	CWT265 60P	CWT270 60P	CWT275 60P	CWT280 60P	CWT285 60P
Maksimum Güç (P_{max})	265 Wp	270 Wp	275 Wp	280 Wp	285 Wp
Modül Verimliliği	16,18	16,49	16,78	17,09	17,38
Maksimum Güç Gerilimi (V_{mp})	31,44	31,81	32,11	32,44	32,69
Maksimum Güç Akımı (I_{mp})	8,44	8,50	8,57	8,64	8,72
Açık Devre Gerilimi (V_{oc})	38,64	38,84	39,20	39,50	39,74
Kısa Devre Akımı (I_{sc})	9,04	9,10	9,17	9,22	9,30
Güç Toleransı	0→+5W				
Maks. Sistem Anma Gerilimi	1000V DC				
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-40 ~ +85°C				
Güvenlik Sınıfı	C				
Maks. Seri Sigorta Akımı	15A				

MEKANİK ÖZELLİKLER

Hücre Boyutu(mm)	157 x 157
Hücre Sayısı(adet)	60 (6X10)
Ağırlık(kg)	18
Panel Boyutu(mm)	1648x995x35
Maks. Rüzgar/Kar Yüklü Dayanımı (Pa)	2400/5400
Bağlantı Kutusu Koruma Sınıfı	IP67 / IP68

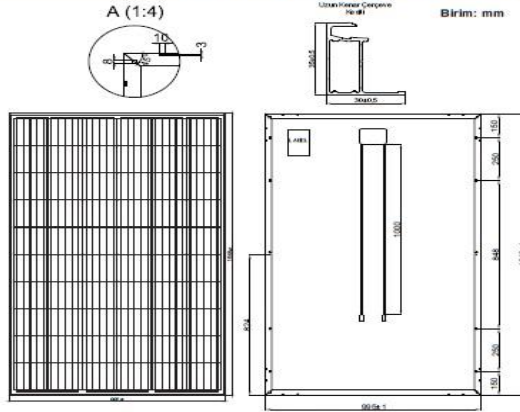
SICAKLIK KATSAYISI

Sıcaklık Katsayısı (I_{sc})	0,049%/°C
Sıcaklık Katsayısı (V_{oc})	-0,30%/°C
Sıcaklık Katsayısı (P_{max})	-0,39%/°C

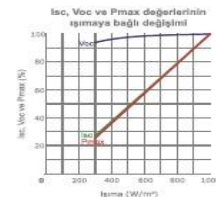
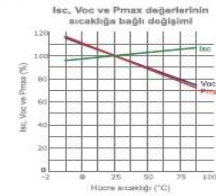
AMBALAJ ŞEKLİ

Konteyner	20' GP	40' GP
Palet Başına Adet	31	31
Konteyner Başına Adet	372	868

FİZİKSEL ÖZELLİKLER

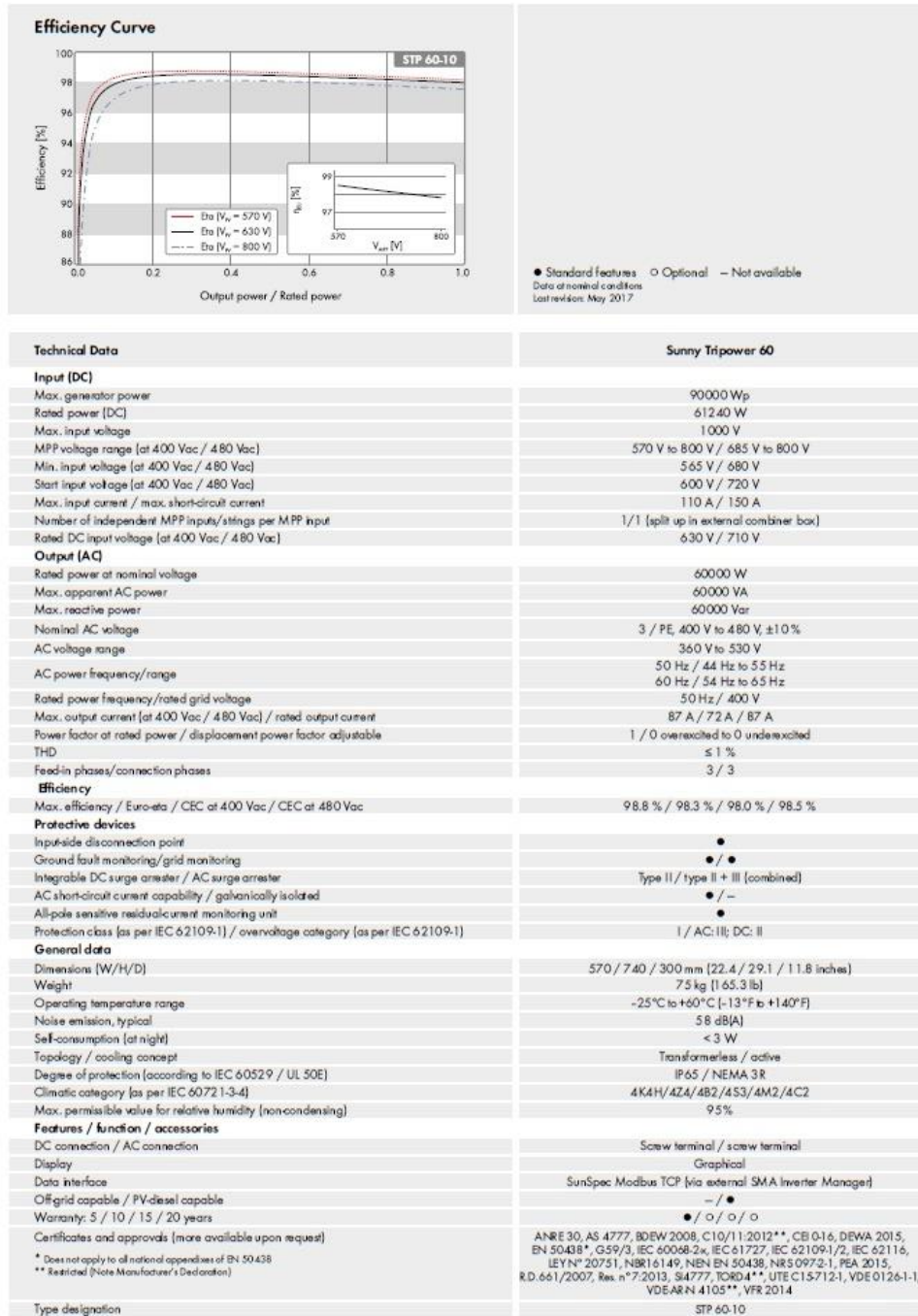


ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER



*Not: Elde edilen verilerin Standart Test Koşulları: 1000 W/m² güneş ışınımı, (AM 1.5) ve hücre sıcaklığı 25°C. Nominal Test Koşulları: 800 W/m² güneş ışınımı, ortam sıcaklığı 20°C, rüzgar hızı 1m/s. Tüm paneller için ölçüm belirsizliği %3'dür. Gerçek veriler yapılan ölçümlere tabi olacaktır. Bu dokümanda yer alan teknik değerler sadece bilgilendirme amaçlıdır ve ölçümlerin bir parçası değildir. CW Enerji Mühendislik Ticaret ve Sanayi A.Ş. önceden herhangi bir bildirimde bulunmaksızın değişiklik yapma hakkını saklı tutar.

Şekil Ek B.2. Akpınar GES fotovoltaik güneş panelleri teknik özellikleri.



SUN2000-60KTL-M0
Technical Specification

Technical Specification	SUN2000-60KTL-M0
Efficiency	
Max. efficiency	98.9% @480 V; 98.7% @380 V / 400 V
European efficiency	98.7% @480 V; 98.5% @380 V / 400 V
Input	
Max. Input Voltage ¹	1,100 V
Max. Current per MPPT	22 A
Max. Short Circuit Current per MPPT	30 A
Start Voltage	200 V
MPPT Operating Voltage Range ²	200 V – 1,000 V
Rated Input Voltage	600 V @380 Vac / 400 Vac; 720 V @480 Vac
Number of MPP trackers	6
Max. input number per MPP tracker	2
Output	
Rated AC Active Power	60,000 W
Max. AC Apparent Power	66,000 VA
Max. AC Active Power (cosφ=1)	66,000 W
Rated Output Voltage	220 V / 380 V, 230 V / 400 V, default 3W + N + PE; 3W + PE optional in settings; 277 V / 480 V, 3W + PE
Rated AC Grid Frequency	50 Hz / 60 Hz
Rated Output Current	91.2 A @380 V, 86.7 A @400 V, 72.2 A @480 V
Max. Output Current	100 A @380 V, 95.3 A @400 V, 79.4 A @480 V
Adjustable Power Factor Range	0.8 leading... 0.8 lagging
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
DC Insulation Resistance Detection	Yes
Residual Current Monitoring Unit	Yes
Communication	
Display	LED indicators; WLAN adaptor + FusionSolar APP
RS485	Yes
USB	Yes
Monitoring BUS (MBUS)	Yes (isolation transformer required)
Smart Dongle-4G	4G / 3G / 2G via Smart Dongle - 4G (Optional)
General Data	
Dimensions (W x H x D)	1,075 x 555 x 300 mm (42.3 x 21.9 x 11.8 inch)
Weight (with mounting plate)	74 kg (163.1 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 Hellios H4
AC Connector	Waterproof PG Terminal + Terminal Clamp
Protection Degree	IP65
Topology	Transformerless
Nighttime Power Consumption	< 2 W
Standard Compliance (more available upon request)	
Certificate	EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, EN 50530, IEC 62116, IEC 60068, IEC 61683
Grid Connection Standards	IEC 61727, VDE-AR-N4105, VDE 0126-1-1, BDEW, VDE 4120, UTE C 15-712-1, CEI 0-16, CEI 0-21, RD 661, RD 1699, P.O. 12.3, RD 413, EN-50438-Turkey, EN-50438-Ireland, C10/11

¹ The maximum input voltage is the upper limit of the DC voltage. Any higher input DC voltage would probably damage inverter.
² Any DC input voltage beyond the operating voltage range may result in inverter improper operating.

Version No.:04-(20201006)

SOLAR.HUAWEI.COM/EU/

Şekil Ek B.4. Akpınar GES inverterlerin teknik özellikleri.

EK AÇIKLAMALAR C.

**DÜZDAĞ GES VE AKPINAR GES PVSYST SİMÜLASYON PROGRAMI
VERİLERİ**

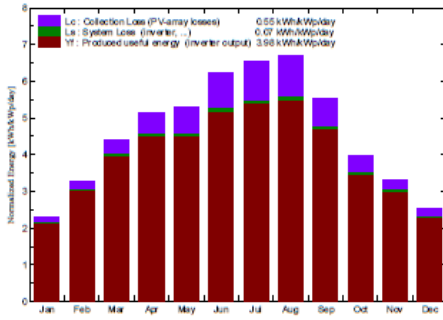
Grid-Connected System: Main results

Project : Düzdağ
Simulation variant : Düzdağ GES 3

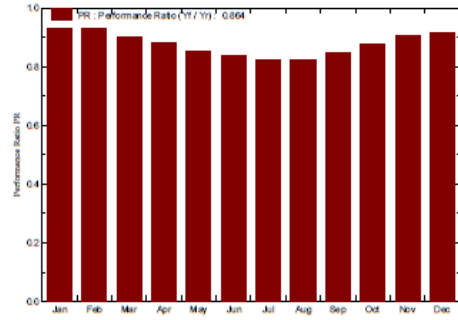
Main system parameters		System type	Grid-Connected	
Near Shadings	According to strings	Electrical effect	100 %	
5 orientations	Tilt/Azimuth	25°/-6°, 25°/0°, 25°/3°, 25°/7°, 25°/10°		
PV modules	Model	RCM-270-6PB	Pnom	270 Wp
PV Array	Nb. of modules	4246	Pnom total	1146 kWp
Inverter	Model	Sunny Tripower 60-10	Pnom	60.0 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	17.0	Pnom total	1020 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Main simulation results		Produced Energy	1667 MWh/year	Specific prod.	1454 kWh/kWp/year
System Production	Performance Ratio PR		86.41 %		

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 1146 kWp



Performance Ratio PR

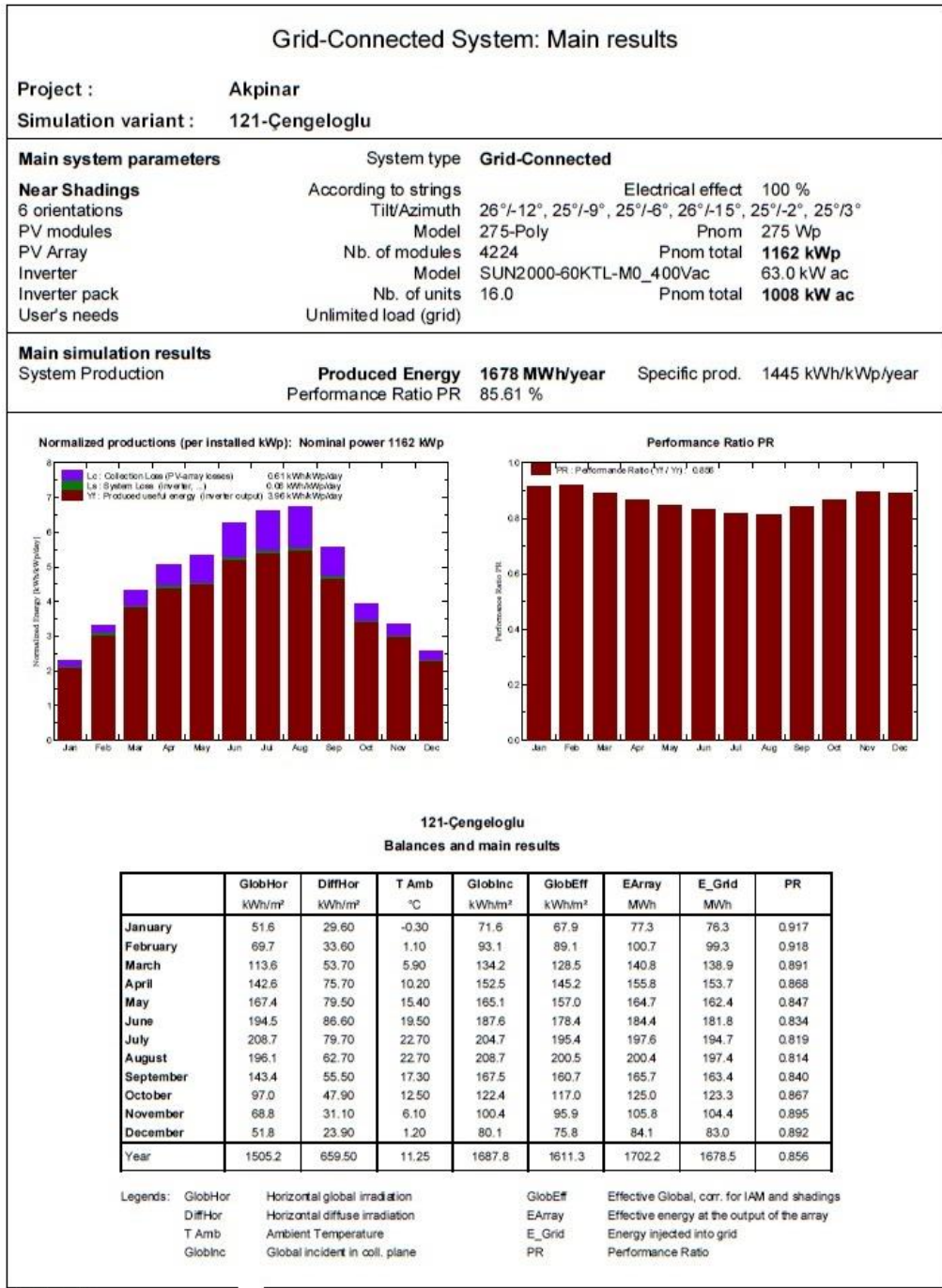


Düzdağ GES 3
Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
January	50.8	29.20	-1.80	70.8	67.5	77.1	75.5	0.930
February	69.6	36.60	-0.50	91.3	87.4	99.1	97.1	0.928
March	113.4	52.00	4.50	136.8	131.2	143.7	140.9	0.899
April	143.0	72.20	8.80	154.0	147.4	158.6	155.6	0.881
May	167.7	78.30	14.00	164.7	157.3	163.6	160.7	0.851
June	194.1	75.50	18.10	186.4	178.4	181.8	178.5	0.835
July	208.4	74.70	21.30	203.5	195.0	195.7	192.3	0.824
August	195.5	61.80	21.30	208.0	200.3	199.2	195.7	0.821
September	143.0	53.70	15.90	166.5	160.0	164.7	161.7	0.847
October	96.6	45.30	11.10	123.1	118.2	125.7	123.4	0.874
November	68.4	32.00	4.60	99.6	95.4	105.6	103.6	0.907
December	51.0	24.50	-0.30	78.1	74.6	83.6	81.9	0.914
Year	1501.5	635.79	9.81	1682.8	1612.8	1698.3	1667.0	0.864

Legends:	GlobHor	Horizontal global irradiation	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings
	DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
	T Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid
	GlobInc	Global incident in coll. plane	PR	Performance Ratio

Şekil Ek C.1. Düzdağ GES PVsyst simülasyon programı verileri.



Şekil Ek C.2. Akpinar GES PVsyst simülasyon programı verileri.

ÖZGEÇMİŞ

Abdullah Samed NAZIKSOY Kütahya’da ilk ve orta öğrenimi aynı şehirde tamamladı. Tavşanlı Anadolu Lisesi Fen Bölümü’nden mezun oldu. 2010 yılında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü’nde öğrenime başlayıp 2014 yılında iyi derece ile mezun oldu. 2014 yılında Gün-er Enerji firmasında fotovoltaik güneş paneli fabrikasında kalite kontrol sorumlusu olarak göreve başladı. 2015 yılında Emin Yenilenebilir Enerji firmasında güneş enerji santralleri bakım-onarım sorumlusu olarak göreve başladı ve halen aynı yerde çalışmaya devam etmektedir. 2018 yılında başladığı Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği anabilim dalında yüksek lisans yapmaktadır.