

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**ANALİTİK VE DERİN ÖĞRENME YÖNTEMLERİYLE BALIKESİR
KOŞULLARINDA ŞEBEKEYE BAĞLI BİR GÜNEŞ ENERJİ
SANTRALİNİN MODELLENMESİ VE VERİMLİLİK ANALİZİ**

MEHMET FATİH BEYOĞLU
DOKTORA TEZİ

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Metin DEMİRTAŞ** (Tez Danışmanı)
Prof. Dr. Murat Erhan BALCI
Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Server FIRAT
Dr. Öğr. Üyesi Serhat Berat EFE
Dr. Öğr. Üyesi Erdem İLTEN

BALIKESİR, OCAK - 2023

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Analitik ve Derin Öğrenme Yöntemleriyle Balıkesir Koşullarında Şebekeye Bağlı Bir Güneş Enerji Santralının Modellenmesi ve Verimlilik Analizi**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Mehmet Fatih BEYOĞLU

ÖZET

ANALİTİK VE DERİN ÖĞRENME YÖNTEMLERİYLE BALIKESİR KOŞULLARINDA ŞEBEKEYE BAĞLI BİR GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN MODELLENMESİ VE VERİMLİLİK ANALİZİ

DOKTORA TEZİ

MEHMET FATİH BEYOĞLU

BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. METİN DEMİRTAŞ)

BALIKESİR, OCAK - 2023

Elektrik enerji üretiminde, çevre ve doğa dostu olarak bilinen yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde, güneş ve rüzgâr enerji santrallerinin sayısı her geçen gün artmaktadır. Sürdürülebilir enerji politikaları içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı her geçen gün daha da önemli hale gelmektedir. Ülkemiz rüzgâr ve güneş enerjisi açısından zengin kaynaklara sahiptir. Güneş ve rüzgârdan elektrik enerjisi üretiminde konum önemli bir parametredir. Bir bölge ya da alanın enerji üretimi için uygun olup olmadığına uzun süreli ölçümler ve hesaplamalar sonucunda karar verilmektedir. Bir projenin planlama da öngörülen enerji üretim değerlerini sağlaması, proje maliyetinin geri dönüş süresini doğrudan etkilediğinden, hesaplamaların doğru yapılmasını gerektirmektedir.

Tez kapsamında, Balıkesir ilinde kurulu bir güneş santralının enerji üretim verileri kullanılarak analitik ve yapay zekâ olarak bilinen derin öğrenme yöntemi ile iki farklı model elde edilmiştir. Analitik modelleme çalışmasında, gerçek sistemle yapılan karşılaştırmanın doğru olması için sahada kullanılan güneş panellerinin katalog verileri kullanılmıştır. Model MATLAB/SIMULINK ortamında gerçekleştirilmiştir. Analitik model ve gerçek sistemin verileri karşılaştırıldığında, oluşturulan modelin gerçek verilere çok yakın değerler ürettiği görülmüştür. Derin öğrenme yönteminde ise oldukça fazla veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bilgiler hali hazırda kullanılmakta olan PVGIS-SARAH2 veri tabanından alınarak derin öğrenme modelinde kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan verilerin bir kısmı eğitime, bir kısmı da test için kullanılmıştır. Modelleme sürecinde kullanılan veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden, Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi (PVGIS-SARAH2) ve Amerikan Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL-NSRDB) veri tabanından temin edilmiştir.

Tez kapsamında, güneş enerji santralinde enerji verimliliğini etkileyen faktörler model üzerinden incelenerek, optimum açı değerleri ve invertör gücü belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Güneş enerjisi, Matlab/Simulink, modelleme, GES enerji üretim tahmini, DC/AC oranı, derin öğrenme.

ABSTRACT

MODELING AND EFFICIENCY ANALYSIS OF A GRID-CONNECTED SOLAR POWER PLANT IN BALIKESİR CONDITIONS WITH ANALYTICAL AND DEEP LEARNING METHODS

PH.D THESIS

MEHMET FATİH BEYOĞLU
BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF. DR. METİN DEMİRTAŞ)

BALIKESİR, JANUARY - 2023

The number of solar and wind power plants is increasing day by day among the renewable energy sources known as environment and nature friendly in electrical energy production. The use of renewable energy sources within sustainable energy policies is becoming more important day by day. Our country has abundant resources in terms of wind and solar energy. Location is an important parameter in the generation of electricity from solar and wind. Whether a region or area is suitable for energy production is decided as a result of long-term measurements and calculations. Since a project provides the energy production values predicted in planning, it directly affects the payback period of the project cost, so calculations must be made correctly.

Within the scope of the thesis, two different models were obtained by using the energy production data of a solar power plant established in Balıkesir Province, using analytical and deep learning methods known as artificial intelligence. In the analytical modeling study, the catalog data of the solar panels used in the field were used in order to make the comparison with the real system accurate. The model was implemented in the MATLAB/SIMULINK environment. When the data of the analytical model and the real system are compared, it is seen that the created model gives very close values to the real data. In the deep learning method, a large amount of data is needed. This information was taken from the currently used PVGIS-SARAH2 database and used in the deep learning model. Some of the data used in the study was used for training and some for testing. During the modeling process, the data were obtained from the Turkish State Meteorological Service, Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS-SARAH2) and the database of the American National Renewable Energy Laboratory (NREL-NSRDB).

Within the scope of the thesis, the factors affecting the energy efficiency in the solar power plant were examined through the model and studies were carried out to achieve optimum efficiency.

KEYWORDS: Solar energy, Matlab/Simulink, modelling, prediction of SPP energy generation, DC/AC ratio, deep learning.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
KISALTMALAR LİSTESİ	x
ÖNSÖZ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Enerji Kaynakları	1
1.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları	1
1.3 Güneş Enerjisi	2
1.4 Balıkesir İli Meteorolojik Durumu	4
1.4.1 Balıkesir İli Güneş Enerjisi Potansiyeli	5
1.5 Literatür Bilgisi	10
2. FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ	14
2.1 Güneş Enerji Sistemi Topolojileri	14
2.1.1 Şebekeye Bağlı (On-Grid) Sistemler	14
2.1.1.1 Şebeke İçi Kullanılan Sistemler	15
2.1.1.2 Şebeke İçi Satışlı Sistemler	16
2.1.1.3 Şebeke İçi Satışlı – Akülü Sistemler	16
2.1.2 Şebekeden Bağımsız (Off-Grid) Sistemler	17
2.1.2.1 Sadece DC Yük İhtiyacı Duyulan Bağımsız Sistemler	17
2.1.2.2 AC ve DC Yük İhtiyacı Bulunan Şebekeden Uzak Sistemler.....	18
2.2 Fotovoltaik Sistem Bileşenleri	19
2.2.1 Fotovoltaik Panel	19
2.2.1.1 Güneş Pillerinin Yapısı ve Çalışması	20
2.2.1.2 Güneş Pillerinin Yapımında Kullanılan Malzemeler	22
2.2.1.3 Maksimum Güç Noktası Takibi (MPPT)	25
2.2.2 İnvertör	27
2.2.3 Şarj Kontrol Cihazı	29
2.2.4 Akümülatör	30
2.3 Fotovoltaik Güneş Pili Modelleri.....	31
2.3.1 Basitleştirilmiş Model	32
2.3.2 Tek Diyotlu Model	33
2.3.3 İki Diyotlu Model.....	34
2.4 Meteorolojik Veriler	34
2.4.1 Güneş Radyasyonu	34
2.4.2 Sistem Kayıpları.....	36
2.4.2.1 Fotovoltaik Modül Sıcaklık Etkisi	37
2.4.2.2 Gölgeleme	38
3. FOTOVOLTAİK SİSTEMİN ANALİTİK MODELİNİN OLUŞTURULMASI	42
3.1 Güneş Açısı Hesaplama Modülü	43

3.1.1 Yerel Güneş Saati.....	45
3.1.2 Deklinasyon Açısı	46
3.1.3 Güneş Yükseklik Açısı.....	47
3.1.4 Güneş Yön Açısı	48
3.1.5 Güneş-Yüzey Açısı	49
3.1.6 Güneşlenme Süresi.....	50
3.2 Yüzey Radyasyon Hesaplama Modülü	51
3.3 PV Sistem Modülü.....	52
3.4 İntertör Modülü	56
4. FOTOVOLTAİK SİSTEMİN DERİN ÖĞRENME İLE MODELİNİN OLUŞTURULMASI	59
4.1 Derin Öğrenmenin Yapısı	59
4.2 Derin Öğrenme ile Modelleme	61
4.3 Derin Öğrenme Modelinin Test Edilmesi.....	65
5. 54 kWp GÜCÜNDE GES ENERJİ ÜRETİMİNİN HESAPLANMASI.....	68
5.1 Güneş Enerji Santrali Üretim Sonuçları	72
5.2 Analitik Model ile Enerji Üretim Tahmini	72
5.2.1 Modelin MGM Yıllık Verileri ile Analizi.....	73
5.2.2 Modelin SARA2 Yıllık Verileri ile Analizi	76
5.3 Derin Öğrenme ile Enerji Üretim Tahmini	79
5.4 Üretim Tahmin Programları.....	82
5.4.1 PVGIS Programı ile Enerji Üretim Tahmini.....	82
5.4.2 PVWatts Programı ile Enerji Üretim Tahmini.....	84
5.4.3 PVSYST Programı ile Enerji Üretim Tahmini	84
5.5 Enerji Üretim Tahmin Sonuçlarının Karşılaştırılması	85
6. GES ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER.....	91
6.1 Güneş Enerji Santralinde İntertör Gücü Seçiminin Üretime Etkisi	91
6.1.1 Optimum Boyutlandırma Oranının Belirlenmesi.....	94
6.1.1.1 İteratif Yöntem	94
6.1.1.2 Enerji Üretim Eğrisi Yöntemi	97
6.2 Panel Yönünün Enerji Üretimine Etkisi	101
7. SONUÇLAR.....	104
8. KAYNAKLAR	106
EKLER.....	113
EK A: Fotovoltaik Hücre Verimliliğinin Yıllara Göre Değişim Grafiği.....	113
EK B.1: PVGIS 59° GES için Enerji Üretim Tahmini.....	114
EK B.2: PVGIS 239° GES için Enerji Üretim Tahmini.....	115
EK C.1: PVWATT 59° GES için Enerji Üretim Tahmini.....	116
EK C.2: PVWATT 239° GES için Enerji Üretim Tahmini.....	117
EK D.1: PVSYST 59° GES için Enerji Üretim Tahmini	118
EK D.2: PVSYST 239° GES için Enerji Üretim Tahmini	119
ÖZGEÇMİŞ	120

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Güneşten gelen ışınımın dağılımı	3
Şekil 1.2: Dünyanın güneş etrafındaki devinimi.....	3
Şekil 1.3: Farklı atmosfer olaylarının güneş ışınımına etkisi.....	4
Şekil 1.4: Dünya ışınım haritası	4
Şekil 1.5: Balıkesir ili meteoroloji istatistiksel verileri.....	5
Şekil 1.6: Türkiye'nin güneş ışınım haritası	6
Şekil 1.7: Türkiye'nin global aylık ortalama radyasyon değerleri.....	6
Şekil 1.8: Türkiye'nin güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü	7
Şekil 1.9: Türkiye'de GES kurulu gücünün toplam kurulu güç içerisindeki oranı.....	7
Şekil 1.10: Balıkesir ili toplam güneş enerjisi potansiyeli haritası	8
Şekil 1.11: Balıkesir ili global aylık ortalama radyasyon değerleri	8
Şekil 1.12: Balıkesir aylık ortalama güneşlenme süreleri	9
Şekil 1.13: Balıkesir ilinde farklı PV paneller için elde edilecek enerji miktarları	9
Şekil 2.1: On-grid sistem şeması.....	15
Şekil 2.2: Şebeke içi kullanım topolojisi	16
Şekil 2.3: Şebeke içi satırlı sistem topolojisi	16
Şekil 2.4: Şebeke içi satırlı akülü sistem topolojisi	17
Şekil 2.5: Sadece DC yük ihtiyacı bulunan bağımsız sistem topolojisi	18
Şekil 2.6: AC-DC müstakil sistem topolojisi.....	18
Şekil 2.7: Güneş pili ve modülü.....	19
Şekil 2.8: PN eklemnin oluşması	21
Şekil 2.9: Fotovoltaik hücrenin çalışma prensibi	21
Şekil 2.10: Güneş pili yapımında kullanılan malzemeler	22
Şekil 2.11: Güneş hücresi veriminin yıllara göre değişimi	24
Şekil 2.12: Güneş hücresi fiyatlarının yıllara göre değişimi.....	25
Şekil 2.13: Maksimum güç eğrisi	25
Şekil 2.14: MPPT'nin verime etkisi.....	26
Şekil 2.15: Örnek invertör bağlantısı	27
Şekil 2.16: Maksimum güç eğrisine gölge etkisi	28
Şekil 2.17: Seri dizide maksimum güç eğrisine gölge etkisi	29
Şekil 2.18: Örnek şarj kontrol cihazı bağlantısı	30
Şekil 2.19: Örnek akü tipleri	31
Şekil 2.20: Basitleştirilmiş model	32
Şekil 2.21: Tek diyotlu elektriksel model	33
Şekil 2.22: İki diyotlu elektriksel model	34
Şekil 2.23: Fotovoltaik sistem kayıp şematığı	36
Şekil 2.24: Geçici gölgelenme örnekleri	39
Şekil 2.25: Yere bağılı gölgelenme	39
Şekil 2.26: Doğal gölgelenme	40
Şekil 2.27: Gölgelenmenin panel üzerindeki etkisi.....	41
Şekil 3.1: Fotovoltaik sistem modeli.....	42
Şekil 3.2: PV sistem modeli simulink şeması	43
Şekil 3.3: PV panel yön ve açıları	44
Şekil 3.4: Güneş ve panel açıları hesaplama modülü.....	44
Şekil 3.5: Güneş radyasyonu açısının coğrafi konumla değişimi	45

Şekil 3.6: Güneşin mevsimlere göre izlediği yol	45
Şekil 3.7: Yerel güneş saati	46
Şekil 3.8: Deklinasyon açısı	47
Şekil 3.9: Güneş yükseklik açısı	47
Şekil 3.10: Güneş yükseklik açısı Simulink sonucu örneği	48
Şekil 3.11: Azimuth açısı	48
Şekil 3.12: Azimuth açısı Simulink sonucu örneği	49
Şekil 3.13: Güneş-yüzey açısı Simulink şeması	49
Şekil 3.14: Yüzey güneş açısı değişimi	50
Şekil 3.15: Zenith açısı değişimi	50
Şekil 3.16: Güneşlenme süresi	50
Şekil 3.17: Yüzey etkin radyasyon hesaplama modülü	51
Şekil 3.18: IAM düzeltme faktörü	52
Şekil 3.19: PV panel akım-gerilim ve güç-gerilim eğrisinin sıcaklık ile değişimi	53
Şekil 3.20: PV sistem P_{max} değerinin ışıma ve sıcaklık ile değişimi	54
Şekil 3.21: PV sistem P_{max} hesaplama modülü	54
Şekil 3.22: Katalog ve modül invertör verim eğrileri	56
Şekil 3.23: İnvörtör ve sistem verim hesaplama modülü	57
Şekil 3.24: Sistem DC/AC oranı	57
Şekil 3.25: Analitik model sistem akış diyagramı	58
Şekil 4.1: LSTM mimari yapısı	59
Şekil 4.2: PV sistem LSTM mimarisi	61
Şekil 4.3: Derin öğrenme iterasyon grafiği	63
Şekil 4.4: Derin öğrenme model sonucunun giriş verileri ile yıllık karşılaştırılması	65
Şekil 4.5: Derin öğrenme model sonucunun giriş verileri ile iki haftalık karşılaştırılması	65
Şekil 4.6: Derin öğrenme modeli SARAH2 2020 verileri ile farklı açılar için testi	67
Şekil 5.1: Güneş enerji santrali elektriksel şeması	68
Şekil 5.2: Güneş enerji santrali ürün resimleri	68
Şekil 5.3: Grup 1 enerji üretim hesabı	70
Şekil 5.4: Grup 2 enerji üretim hesabı	71
Şekil 5.5: PVGIS örnek hesap sonucu	83
Şekil 6.1: PV sistem için DC/AC oranının etkisi	92
Şekil 6.2: İnvörtör optimum verim akış diyagramı	94
Şekil 6.3: İnvörtör verimi ile DC/AC oranının ilişkisi	95
Şekil 6.4: Grupların invertör DC/AC oranı ile verim değişim eğrisi	97
Şekil 6.5: Güç eğrisi ve grupların doğrusal formülleri	98
Şekil 6.6: GES için invertör gücü ile 2020 yılı enerji üretimi değişimi	100
Şekil 6.7: DC/AC oranının 2020 yılı enerji üretimine etkisi	100
Şekil 6.8: DC/AC oranının günlük enerji üretimine etkisi	101
Şekil 6.9: Güneş enerji santrali sistem şematığı	102
Şekil 6.10: Fotovoltaik sistem açı ile enerji üretim değişim eğrisi	103

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Meteorolojik veri örneği (Toplam değer)	35
Tablo 2.2: Meteorolojik veri örneği (Pik değer).....	35
Tablo 2.3: Kayıp değer tablosu.....	37
Tablo 2.4: 250W'lık fotovoltaik panel teknik değerleri	38
Tablo 2.5: Fotovoltaik panel sıcaklık – güç hesabı	38
Tablo 3.1: Model giriş verileri.....	55
Tablo 3.2: Model çıkış verileri	55
Tablo 4.1: Derin öğrenme iterasyon tablosu	64
Tablo 4.2: Derin öğrenme modeli 2020 yılı verileri ile tüm açılar için test sonuçları	66
Tablo 4.3: Rasgele açılar için test sonuçları	67
Tablo 5.1: Güneş enerji santrali sistem bilgisi	69
Tablo 5.2: Güneş enerji santrali montaj bilgisi.....	69
Tablo 5.3: Güneş enerji santrali enerji üretim tahmini.....	69
Tablo 5.4: Güneş enerji santrali enerji üretimi (kWh).....	72
Tablo 5.5: MGM 2016-2020 yılı verileri ile model GES enerji üretim tahmini (kWh).....	73
Tablo 5.6: MGM 2016 verileri ile model GES enerji üretim tahmini (kWh).....	73
Tablo 5.7: MGM 2017 verileri ile model GES enerji üretim tahmini (kWh).....	74
Tablo 5.8: MGM 2018 verileri ile model GES enerji üretim tahmini (kWh).....	74
Tablo 5.9: MGM 2019 verileri ile model GES enerji üretim tahmini (kWh).....	75
Tablo 5.10: MGM 2020 verileri ile model GES enerji üretim tahmini (kWh)	75
Tablo 5.11: SARA2 yıllık verileri ile model GES enerji üretim tahmini (kWh).....	76
Tablo 5.12: SARA2 2016 verileri ile model GES enerji üretim tahmini (kWh).....	77
Tablo 5.13: SARA2 2017 verileri ile model GES enerji üretim tahmini (kWh)	77
Tablo 5.14: SARA2 2018 verileri ile model GES enerji üretim tahmini (kWh).....	78
Tablo 5.15: SARA2 2019 verileri ile model GES enerji üretim tahmini (kWh).....	78
Tablo 5.16: SARA2 2020 verileri ile model GES enerji üretim tahmini (kWh).....	79
Tablo 5.17: Derin öğrenme modeli ile PVGIS enerji üretim tahmin sonuç karşılaştırması.....	80
Tablo 5.18: Derin öğrenme modeli ile GES enerji üretim sonuçlarının karşılaştırması	81
Tablo 5.19: PVGIS sistem modeli sonucu (kWh)	83
Tablo 5.20: PVWatts sistem modeli sonucu (kWh)	84
Tablo 5.21: PVSYST sistem modeli sonucu (kWh).....	85
Tablo 5.22: Model yıllık sonuç karşılaştırması	86
Tablo 5.23: Model ortalama sonuç karşılaştırması.....	88
Tablo 5.24: Girdi/sonuç tablosu	89
Tablo 5.25: Parametre karşılaştırma tablosu	90
Tablo 6.1: Farklı DC/AC oranları için örnek üretim karşılaştırması.....	92
Tablo 6.2: DC/AC oranının 2020 yılı enerji üretimine etkisi.....	93
Tablo 6.3: DC/AC oranının Grup 1 enerji üretimine etkisi.....	96
Tablo 6.4: DC/AC oranının Grup 2 enerji üretimine etkisi	97
Tablo 6.5: DC/AC oranı güç eğrisi parametreleri	98
Tablo 6.6: Optimum DC/AC oranının tespiti için yöntemlerin karşılaştırılması	99
Tablo 6.7: DC/AC oranının günlük enerji üretimine etkisi	101
Tablo 6.8: Yön ve eğim açısının GES enerji üretimine etkisi	102

SEMBOL LİSTESİ

A	: Diyot idealite faktörü
α_m	: Panel yön (azimuth) açısı
α_s	: Güneş yön (azimuth) açısı
β	: Panel eğim açısı
b_0	: Yansıtma katsayısı
$b_{f,c,o}$: LSTM kapı yanlılığı
C_t	: LSTM mevcut hücre durumu
C_{t-1}	: LSTM önceki hücre durumu
δ	: Deklinasyon açısı
DHI	: Difüz yatay radyasyon
EOT	: Zaman eşitliği
FF	: Doluluk faktörü
f_t	: LSTM unut kapısı
γ_s	: Güneş yükseklik açısı
G	: Güneş ışıma miktarı
G_b^F	: Direkt radyasyon
G_d^F	: Difüz radyasyon
G_F	: Etkin radyasyon
G_r^F	: Yansıyan radyasyon
G_{ref}	: Referans güneş ışıma miktarı (1000W/m ²)
GHI	: Direkt yatay radyasyon
h_t	: LSTM mevcut gizli durum
h_{t-1}	: LSTM önceki gizli durum
η	: İnvertör anlık verimi
η_{norm}	: İnvertör maksimum verimi
η_{ref}	: Referans verim
I_D	: Diyot akımı
I_0	: Ters saturasyon akımı
I_{PV}	: Panel çıkış akımı
I_{PH}	: Foton akımı
I_s	: Diyot ters yönde doyma akımı
I_{sc}	: Kısa devre akımı
I_{scw}	: Anlık kısa devre akımı
I_{opt}	: Panel optimum akımı
i_t	: LSTM giriş kapısı
k	: Boltzman sabiti (1.38x10 ⁻²³ J/K)
K_i	: Panel akım katsayısı
K_v	: Panel gerilim katsayısı
m	: Diyot faktörü
n	: Yılın günü
N_s	: Seri bağlı hücre sayısı
N_p	: Paralel panel sayısı
o_t	: LSTM çıkış kapısı
φ	: Enlem
P_{max}	: Fotovoltaik panel maksimum gücü
P_{DC}	: Panel anlık gücü

P_{DC0}	: İntertör maksimum giriş gücü
P_{ACO}	: İntertör maksimum çıkış gücü
P_{irated}	: İntertör nominal gücü
$P_{PV(rated)}$: Toplam panel nominal gücü
$P_{mpp.stc}$: Panel anlık DC gücü
q	: Bir elektron yükü (1.6×10^{-19} , Coulombs)
ρ_p	: Albedo katsayısı
R_b^F	: Eğimli ışınımın yatay ışınımına oranı
R_s	: Boyutlandırma oranı, DC/AC oranı
R_S	: Hücredeki iç direnç ve bağlantı dirençleri
R_P	: Paralel kaçak akım direnci
θ	: Güneş yüzey açısı
σ	: Sigmoid fonksiyonu
t	: Zaman
t_s	: Güneş saati
t_{dl}	: Güneşlenme Süresi
T_1	: Nominal sıcaklık (K)
T_{amb}	: Ortam sıcaklığı (K)
T_{cell}	: Hücre sıcaklığı (K)
T_K	: Anlık sıcaklık (K)
T_{ref}	: Referans ortam sıcaklığı (K)
ξ	: DC güç oranı
V_D	: Panel diyot gerilimi
V_{PV}	: Panel çıkış gerilimi
V_T	: Panel uç gerilimi
V_{oc}	: Panel açık devre gerilimi
V_{ocw}	: Panel anlık açık devre gerilimi
V_{opt}	: Panel optimum gerilimi
v_{wind}	: Rüzgar hızı
w	: Güneş saat açısı
$W_{f,c,o}$: Ağırlık matrisi
x_{maks}	: LSTM veri maksimum değeri
x_{norm}	: LSTM veri normal değeri
X_t	: LSTM giriş verisi
$X_{F,sky}$: Gökyüzü faktörü
$X_{F,grd}$: Zemin faktörü
Z_s	: Güneş zenith açısı

KISALTMALAR LİSTESİ

AC	: Alternatif akım
ANN	: Yapay sinir ağı
a-Si	: Amorf silisyum
c-Si	: Monokristal silisyum
CdTe	: Kadmiyum tellürid
CIGS	: Bakım indiyum galyum diselenyum
CO₂	: Karbondioksit
DC	: Doğru akım
DL	: Derin öğrenme
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EOT	: Zaman eşitliği
GaAs	: Galyum Arsenit
GCPVS	: Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerin korunması
GEPA	: Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası
GES	: Güneş enerjisi santrali
GSMH	: Gayri safi milli hasıla
Hz	: Hertz
IAM	: Açısal düzeltme faktörü (Incidence angle modifier)
kWp	: Kilowatt pik
LST	: Yerel güneş saati
LSTM	: Uzun kısa süreli bellek
LT	: Yerel saat
MPPT	: Maksimum güç noktası izleyicileri
NO₂	: Azotdioksit
NOCT	: Nominal çalışma hücre sıcaklığı
NREL	: Amerikan ulusal yenilenebilir enerji laboratuvarı
NSRDB:	: Amerikan ulusal güneş radyasyonu veritabanı
Poly-Si	: Polikristal silisyum
PV	: Fotovoltaik
PVGIS	: Fotovoltaik coğrafi bilgi sistemi
RMSE	: Hata kareler ortalamasının karekökü
RNN	: Yinelemeli sinir ağı
Si	: Silisyum
SO₂	: Kükürtdioksit
STC	: Standart test şartları
TC	: Saat düzeltme faktörü
TEP	: Ton eşdeğer petrol
TET	: Ton eşdeğer taşkömürü
V	: Volt
WPD	: Dalgacık paket ayrıştırma

ÖNSÖZ

Çağımızın enerji sorununun çözümünde sürekli ve temiz enerji kaynağı olarak önemli bir yere sahip olan fotovoltaik güneş enerji sistemleri konusunda çalışmama rehberlik eden ve bu tezi hazırlamamda başından sonuna çok emeği geçen danışman hocam Prof. Dr. Metin Demirtaş'a, tez çalışmaları aşamasında yönlendirmeleri ile önemli katkıları bulunan hocalarım Prof. Dr. Murat Erhan Balcı ve Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Server Fırat'a, desteklerini esirgemeyen çalışma arkadaşlarım Arş. Gör. Dr. Haris Çalgan'a, güneş enerji üretim tesisinin enerji üretim verilerini araştırmaya destek için bizimle paylaşan Cem Ovacık Bey'e, ayrıca sürekli olarak manevi desteklerini hiç eksik etmeyen eşim ve oğullarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Balıkesir, 2023

Mehmet Fatih BEYOĞLU

1. GİRİŞ

1.1 Enerji Kaynakları

Enerji iş yapma kapasitesi olarak tanımlanmakta olup ışık enerjisi, ısı enerjisi, elektrik enerjisi, mekanik enerji, kimyasal enerji ve nükleer enerji gibi farklı formlarda karşımıza çıkmaktadır. Enerji kaynakları genelde yenilenebilir ve yenilenemeyen olmak üzere iki grup altında toplanırlar. Yenilenebilir enerji, sürekli ve tekrar tekrar kullanılabilen, sınırsız olduğu varsayılan ve kısa sürede yerine konabilen enerjidir. Yenilenebilir enerji kaynakları, hidro, güneş, rüzgar, jeotermal, biyokütle, gel-git ve dalga enerjisi olarak kabul edilmektedir. Yenilenemeyen enerji ise, kullanıldığında kısa sürede yeniden oluşmayan enerjidir. Yenilenemeyen enerji kaynakları genelde, kömür, doğalgaz ve petrol gibi fosil yakıtlardır. Fosil yakıtlar, milyonlarca yıl önce yaşamış bitki ve hayvan gibi organik kalıntıların üzerinde bulunan kayaçların basıncı ve yerkürenin çekirdeğinden gelen ısı ile oluşmaktadır. Yenilenemeyen enerji kaynaklarının rezervi sınırlı miktarda olup, hızla tükenmekte olan kaynaklardır. Fosil yakıtların yakılması halinde çevre kirliliğine neden olan CO_2 , NO_2 , SO_2 gazları açığa çıkmaktadır [1,2].

Enerjiye, gelişmiş ve gelişmekte olan tüm ülkelerin ihtiyacı vardır. Türkiye'nin kişi başına enerji tüketimi dünya ortalamasının altında olup, gelişimini hızlandırmak için hem daha fazla enerjiye ihtiyaç duymakta, hem de enerjiyi verimli kullanarak tüm dünyada gelişimin parametresi olarak kabul edilen enerji yoğunluğu yani birim Gayri Safi Milli Hasıla (GSMH) başına tüketilen enerji miktarı değerine ulaşmak durumundadır [1].

Dünyada endüstri devriminin başlangıcından günümüze kadar dünya enerji talebi hızla artmış olup, teknolojinin de gelişmesiyle her geçen gün çok daha büyük ivme ile artmaya devam etmektedir. Teknolojik ve endüstriyel gelişmeler ile birlikte, kişi başına enerji tüketimi de artmaya devam etmektedir. Dünya nüfusundaki artış da enerji ihtiyacındaki yükselişi tetiklemekte, alternatif yakıtlar daha büyük önem kazanmakta ve buna bağlı olarak daha yüksek maliyet ve zaman harcanmasına neden olmaktadır.

1.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynaklarının çevre kirliliğine sebep olmaması, sınırsız enerji kaynağı oluşu, vb. gibi avantajlarının yanında, ticari olarak fosil yakıtlar gibi piyasada taşınabilir ve her yerde kullanılabilir formda bulunmaması, dünya üzerinde her konum ve coğrafyada kullanımının mümkün olmaması, verimlerinin düşük olması gibi önemli kullanım sorunları

bulunmaktadır. Yenilenebilir enerji üretiminde maliyetleri düşürmeye ve verimliliği arttırmaya yönelik ciddi teknolojik araştırmalar ve yatırımlar yapılmaktadır. Dünyanın üzerinde bulunan coğrafi konumun imkanları da göz önünde bulundurularak konut enerji ihtiyaçlarının güneş ve rüzgar enerjisinden karşılanmasına ilişkin uygulamalar yaygınlaşmaktadır.

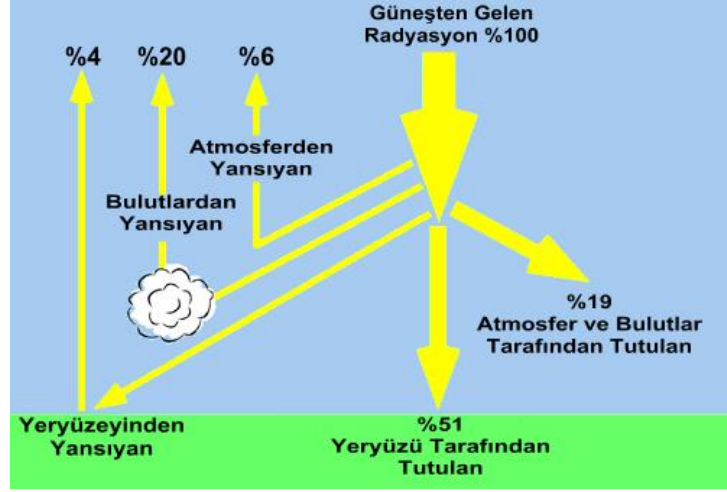
Alternatif enerji kaynakları arasında güneş pilleri, güneşle termal ısıtma ve yakıt pilleri sahip olduğu olumlu özellikler nedeni ile ön plana çıkmaktadır. Güneş enerjisinin kullanımının hızla arttığı görülmekte ve daha çok artması beklenmektedir. Çevre dostu bir enerji kaynağı olan güneşten dünyamıza, tüketilen toplam enerjiden 10.000 kat daha fazla enerji ulaşmaktadır. Konutlarda ve endüstride, güneş enerjisinin termal ve fotovoltaik birçok uygulaması bulunmaktadır. Ayrıca dünya dışında bulunan uydu ve uzay istasyonlarının enerji ihtiyacı güneş pilleri ile karşılanmakta olup, burada kullanılan sistemlerin verimliliklerinin artırılmasına yönelik teknolojik araştırmalar, sektöre ve üretime rehberlik etmektedir. Bu araştırmalar ışığında daha ekonomik ve daha verimli güneş pilleri üretilebilmektedir [1].

Türkiye rüzgar, güneş, hidro ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin bir ülkedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını her geçen gün hızla artmakla birlikte halen yeterli düzeyde değildir.

1.3 Güneş Enerjisi

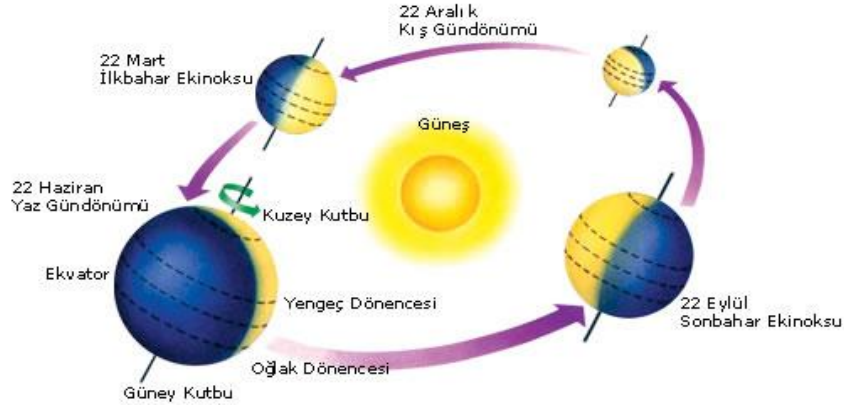
Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ışıma enerjisi olup, güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi esnasında füzyon sürecinde oluşur. Güneş enerjisinin 150 milyon kilometre mesafeden dünyaya gelen küçük bir kısmı dahi mevcut yıllık enerji tüketimimizin 20 bin katıdır. Güneşin, 5 milyar yıl sonra tükeneceği tahmin edilmekte ve bu nedenle sonsuz enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Güneş enerjisi sistemlerinin teknolojik ilerlemesi ve maliyetlerin düşmesi, 1970'lerde güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmaların hız kazanmasıyla başlamış ve güneş enerjisi temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir [3].

Güneşten gelen ışınının dağılım yüzdeleri Şekil 1.1'de gösterilmiştir [3].



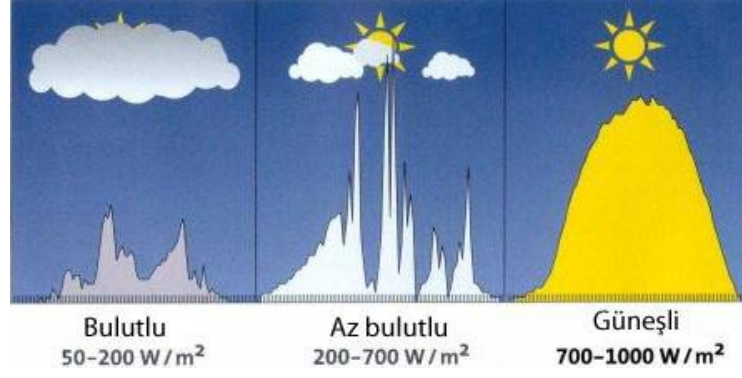
Şekil 1.1: Güneşten gelen ışınımın dağılımı.

Güneşten gelen solar radyasyonun %51'i yeryüzüne direk ulaşır. Bu enerji yeri ve yere yakın atmosferi ısıtır. Buharlaşmayı sağlar, bitkilerin fotosentez olayını gerçekleştirir. Geriye kalan %49'un, %4'ü yer yüzeyinden yansır, %26'sı bulutlar ve atmosfer tarafından yansıtılır, %19'u ise atmosferik gazlar, partiküller ve bulutlar tarafından emilir [4]. Dünyanın güneş etrafındaki devinimi Şekil 1.2'de gösterilmiştir [3].

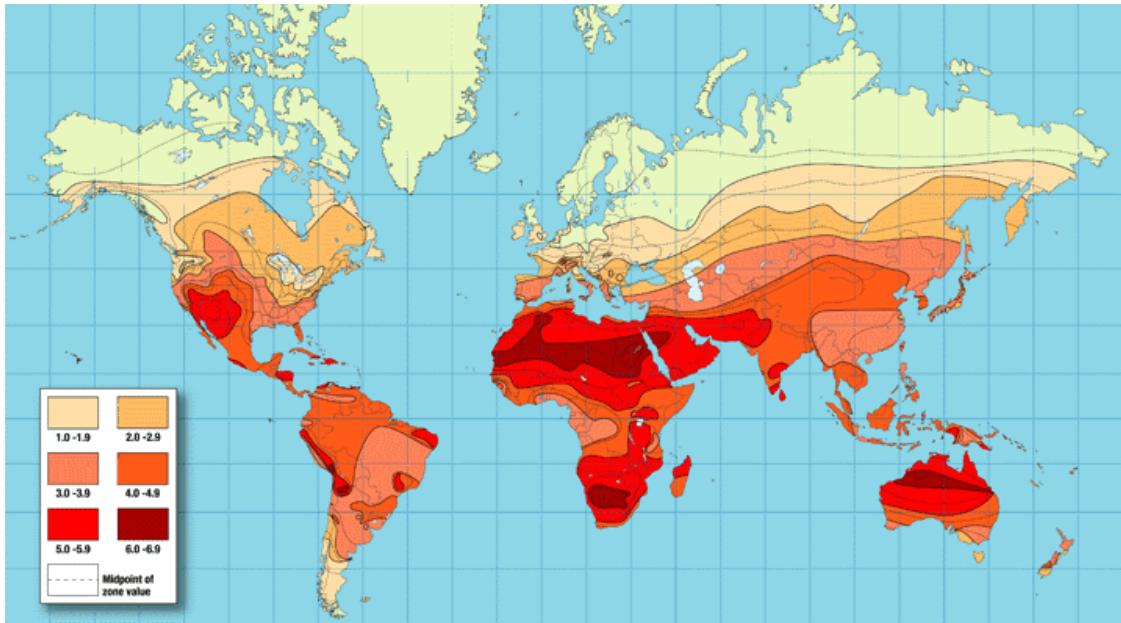


Şekil 1.2: Dünyanın güneş etrafındaki devinimi.

Güneş ışınımının dünya yüzeyine dağılımı, ışınların geliş açısına ve güneşe olan uzaklığa bağlı olarak değişmektedir. Bir noktadaki güneş ışınımı, dünyanın güneş etrafındaki yıllık devinimi esnasında, güneş ile arasındaki mesafenin ve açının değişimine, yerin dünya üzerindeki coğrafi konumuna ve anlık atmosfer olaylarına göre değişim göstermektedir. Güneş ışınımının farklı atmosfer olayları ile değişimi Şekil 1.3'te verilmiştir.



Şekil 1.3: Farklı atmosfer olaylarının güneş ışınımına etkisi.



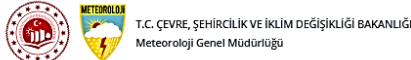
Şekil 1.4: Dünya ışınım haritası.

Şekil 1.4'te verilen güneş enerjisi ışınım haritası dünya yüzeyine gelen güneş ışığı dağılımını göstermektedir. Haritada güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan bölgeler koyu renkte, potansiyeli düşük olan bölgeler açık renkte işaretlenmiştir.

1.4 Balıkesir İli Meteorolojik Durumu

Balıkesir ilinin yüzölçümü 14.299 km² olup, 38.85°-40.86° kuzey enlemler ile, 26.36°-29.20° doğu boylamları arasında yer almaktadır. Balıkesir'de üç iklim bir arada görülür. Ege kıyılarında Akdeniz, kuzeyde Marmara ve iç bölgelerde kara iklimi hüküm sürer. Kıyılarda yaz ve kış arasındaki ısı farkı azdır. İç kısımlarda ise bu fark büyüktür. Dağlık doğu bölgede kışlar sert ve yazlar serin geçer. Senelik yağış miktarı 540-740 mm arasındadır. Balıkesir

iline ait Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) 1999-2021 dönemi aylık ortalama meteoroloji verileri Şekil 1.5'te paylaşılmıştır [4].



Ana Sayfa > Analizler > Resmi İstatistikler

Resmi İstatistikler

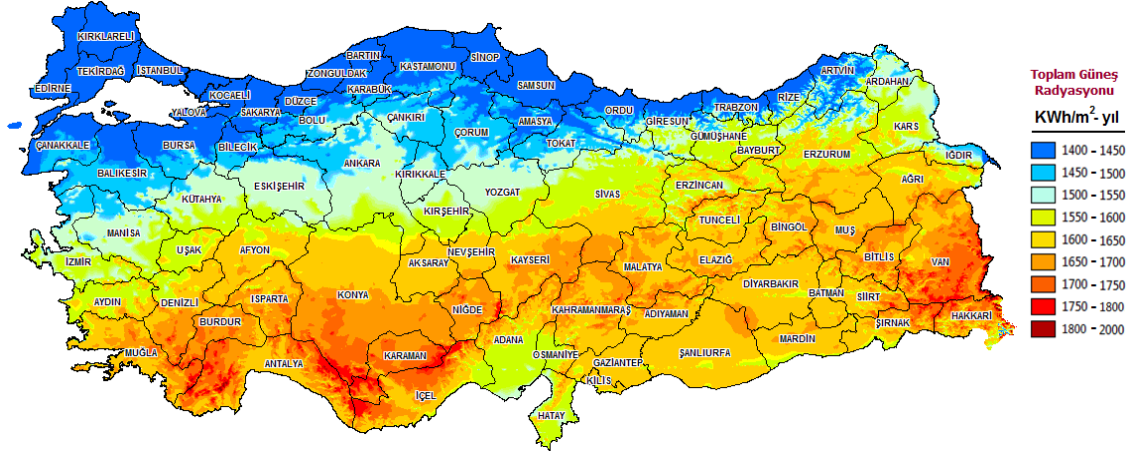
BALIKESİR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1999 - 2021)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	4.7	6.2	9.0	12.7	17.9	22.6	25.6	25.5	21.2	15.9	10.2	6.1	14.8
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	9.0	11.3	15.3	19.8	25.5	30.1	32.6	32.6	28.7	22.6	16.5	10.6	21.2
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	0.9	1.8	3.4	6.3	10.5	15.0	18.0	18.5	14.2	10.0	5.2	2.4	8.9
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.0	4.0	5.3	6.8	8.7	10.3	11.4	10.4	8.1	6.2	4.2	2.8	6.8
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı													NaN
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	88.0	73.2	65.3	53.6	36.8	35.0	10.0	4.6	29.8	50.7	73.0	79.4	599.4
Ölçüm Periyodu (1999 - 2021)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	23.5	25.2	29.6	33.1	37.8	42.5	43.2	43.2	40.3	38.3	29.0	26.1	43.2
En Düşük Sıcaklık (°C)	-12.1	-18.8	-6.2	-4.0	1.1	5.0	11.0	9.4	4.5	-1.6	-7.9	-10.1	-18.8
<i>En yüksek ve en düşük sıcaklıkların gerçekleşme tarihini görmek için fare imlecini değerlerin üstüne getiriniz.</i>													
Günlük Toplam En Yüksek Yağış Miktarı				Günlük En Hızlı Rüzgar				En Yüksek Kar					
16.11.2004 126.8 mm				29.11.2021 28.8 m/sn				17.02.2021 41 cm					

Şekil 1.5: Balıkesir ili meteoroloji istatistiksel verileri.

1.4.1 Balıkesir İli Güneş Enerjisi Potansiyeli

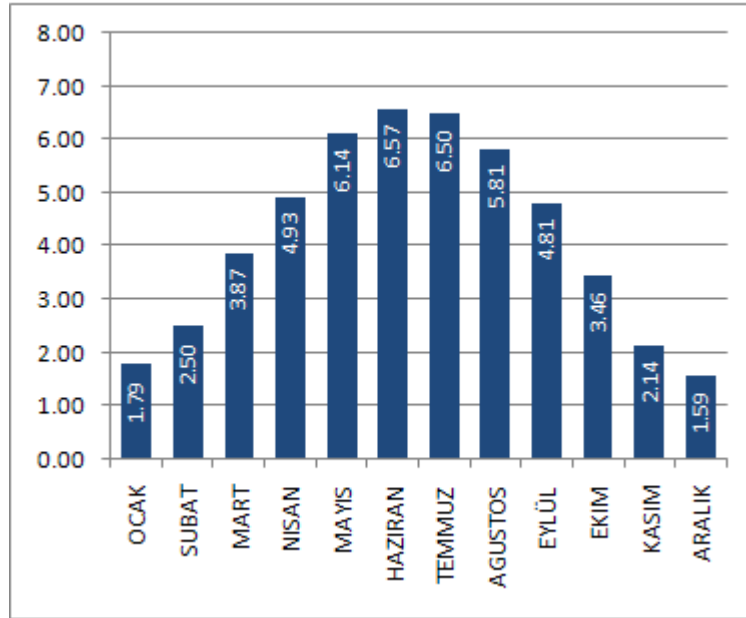
Türkiye, coğrafi konumu nedeniyle önemli bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığınca hazırlanan, Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat olup ortalama yıllık toplam ışıınım değeri 1.527,46 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. GEPA'da yer alan genel potansiyel görünümü Şekil 1.6'da ve aylık ortalama global radyasyon değerleri Şekil 1.7'de gösterilmiştir [3,5].

Haritada koyu kırmızı tonlarda gösterilen bölgeler ışıınım miktarının yüksek olduğu yerleri, koyu mavi tonlarda gösterilen bölgeler ışıınım miktarının az olduğu bölgeleri göstermektedir. Türkiye'nin güney bölgelerin daha yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip olduğu haritada görülmektedir [3].



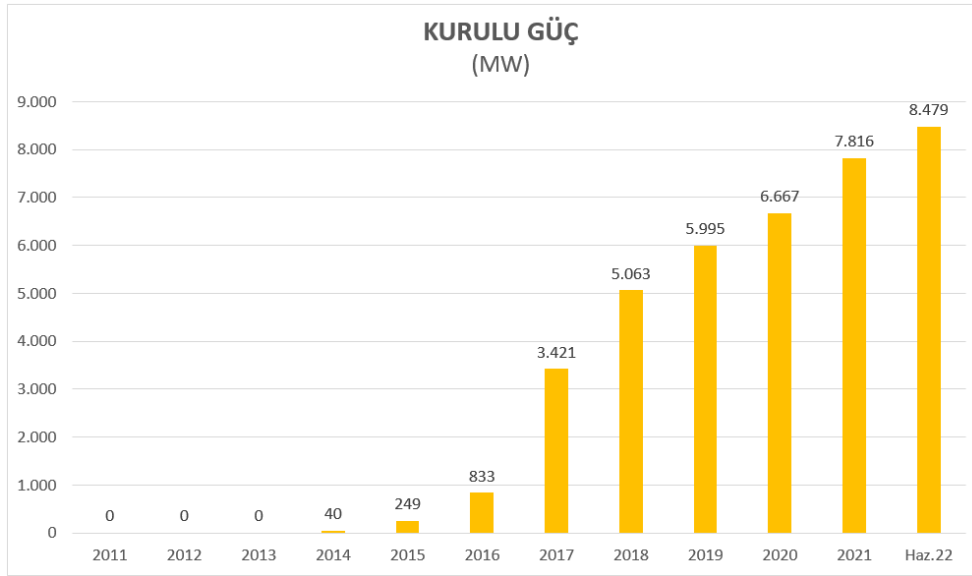
Şekil 1.6: Türkiye'nin güneş ışınım haritası.

TÜRKİYE Global Radyasyon Değerleri (kWh/m²-gün)



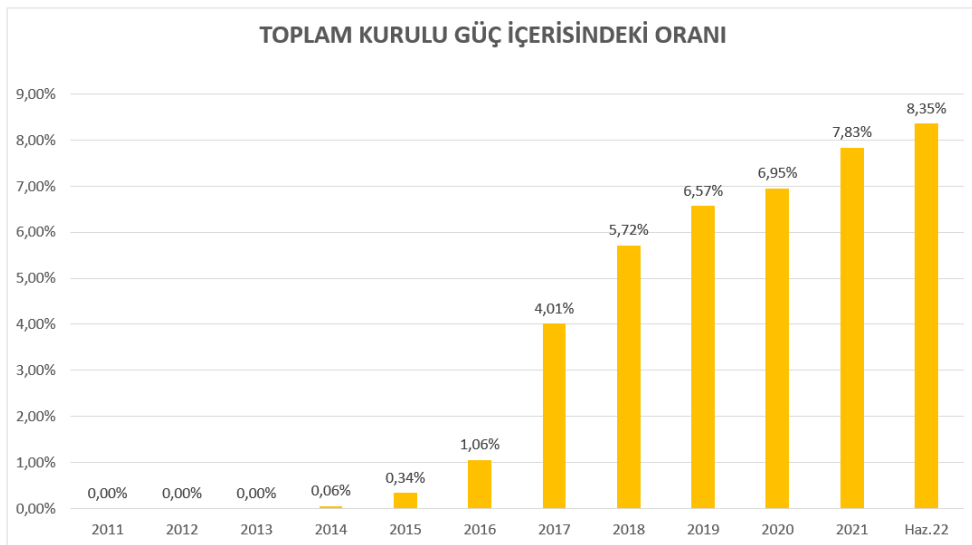
Şekil 1.7: Türkiye'nin global aylık ortalama radyasyon değerleri.

Türkiye'de Haziran 2022 sonu itibariyle güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü 8.479 MW, toplam kurulu güç içerisindeki oranı %8,35 olup yıllara göre kurulu güç değişimi Şekil 1.8'de gösterilmiştir [3].



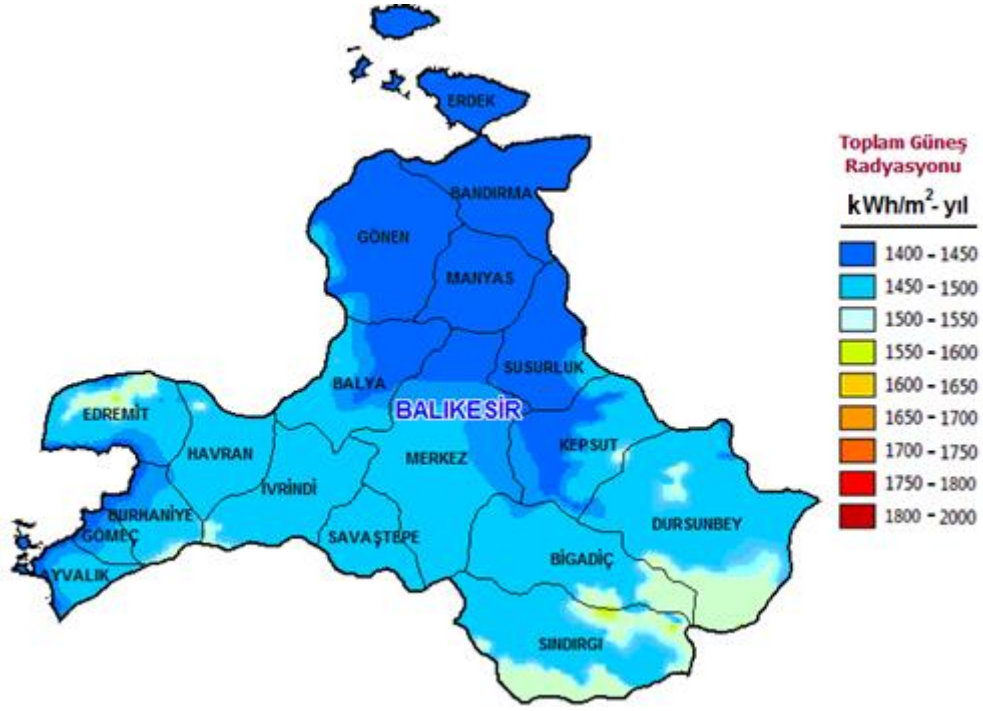
Şekil 1.8: Türkiye'nin güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü.

Güneş enerji santrallerinin toplam kurulu güç içerisindeki oranı Şekil.1.9'da gösterilmiştir.



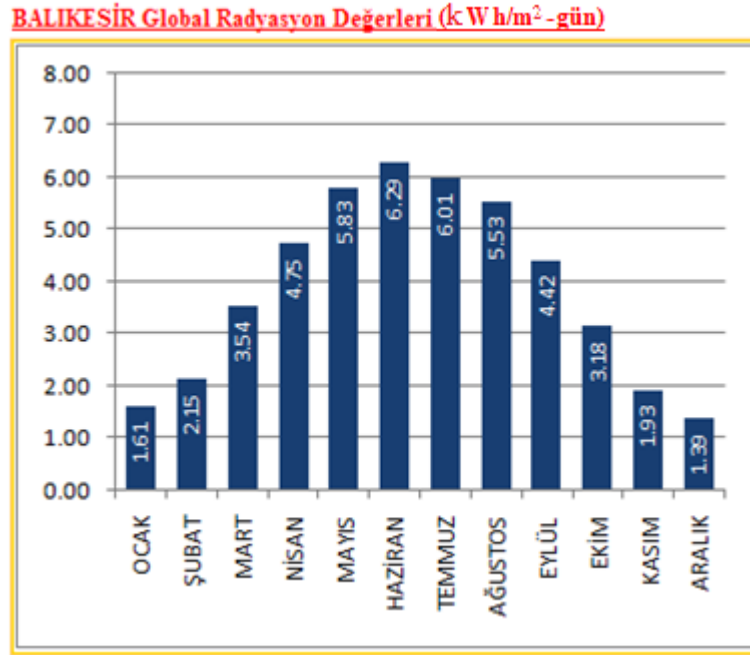
Şekil 1.9: Türkiye'de GES kurulu gücünün toplam kurulu güç içerisindeki oranı.

Şekil 1.10'da Balıkesir ili güneş ışınım haritası verilmiş olup, yıllık ortalama güneş ışınım potansiyeli 1.400 - 1.550 kWh/m²-yıl aralığındadır [5].



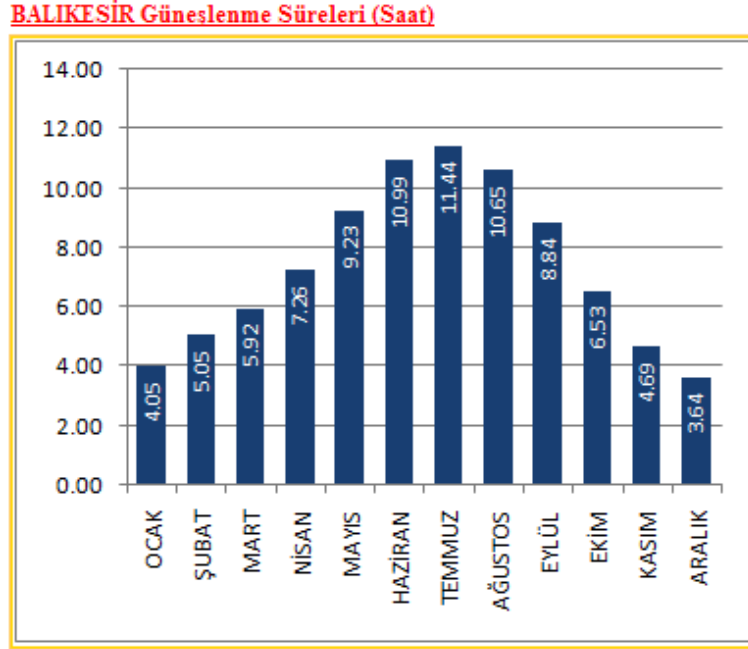
Şekil 1.10: Balıkesir ili toplam güneş enerjisi potansiyeli haritası.

Balıkesir ili aylık ortalama radyasyon değerleri, Haziran ayında en yüksek 6,29 kWh/m²-gün ve Aralık ayında en düşük 1,39 kWh/m²-gün aralığında değişim göstermektedir. Şekil 1.11’de Balıkesir iline ait aylık ortalama radyasyon değerleri verilmiştir [5].



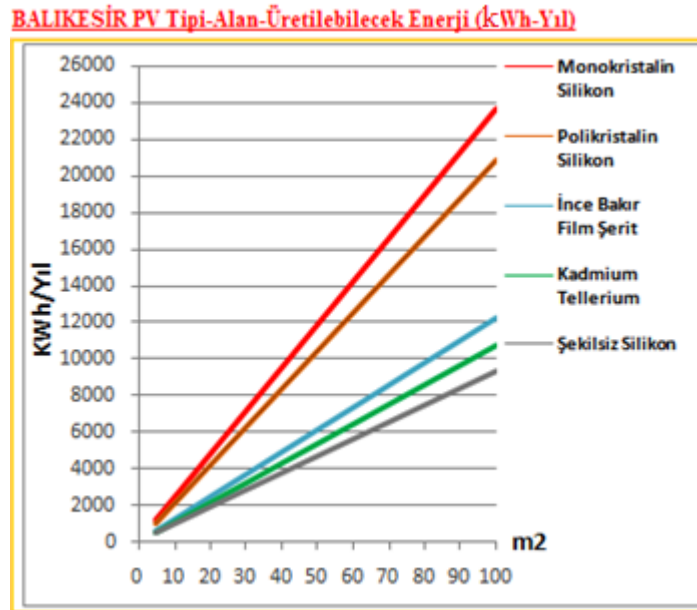
Şekil 1.11: Balıkesir ili global aylık ortalama radyasyon değerleri.

Balıkesir ili aylık ortalama güneşlenme süreleri, en düşük Aralık ayında 3,64 saat ve en yüksek Haziran ayında 11,44 saat olmak üzere değişim göstermektedir. Balıkesir ili aylık ortalama güneşlenme süreleri Şekil 1.12’de verilmiştir.



Şekil 1.12: Balıkesir aylık ortalama güneşlenme süreleri.

Balıkesir ilinde farklı yapıda hazırlanmış PV paneller için yıllık enerji üretim miktarları Şekil 1.13’te verilmiştir.



Şekil 1.13: Balıkesir ilinde farklı PV paneller için elde edilecek enerji miktarları.

Balıkesir ili Türkiye güneşlenme haritasından da görüleceği üzere, güneşlenme süresinin azlığı ve radyasyon değerlerinin düşüklüğü nedeni ile diğer illerden daha düşük güneş enerji potansiyeline sahiptir. Bu durum elde edilebilecek enerji miktarını düşürmektedir. Örneğin en güneyde yer alan illerden Antalya ili ile karşılaştırıldığında, Balıkesir ilinde yeryüzüne gelen yıllık ortalama güneş ışınımı değerleri %20, yıllık ortalama güneşlenme süresinin ise %27 daha az olduğu görülmektedir. Yıllık olarak incelendiğinde Antalya ili Balıkesir iline göre %41 daha fazla güneş enerjisi üretecektir.

1.5 Literatür Bilgisi

Güneş enerjisi güvenli, temiz, bedava, kirlenmeyen ve sonsuz enerji kaynağıdır. Güneş fotovoltaik teknolojisi, yenilenebilir enerji üretiminin en önemli kaynaklarından biridir. PV sisteminin verimliliği, güneş radyasyonu, ortam sıcaklığı ve güneş panellerinin yaşı, temizliği vb. gibi çeşitli iklim faktörlerine bağlıdır.

Enerji üretimini etkileyen en önemli sistem girdisi panele çarpacak ışınım miktarıdır. Etkili radyasyon, panelin montaj konumuna göre değişen enlem-boylam, eğim açısı ve montaj yönüne bağlıdır [6-8].

Sistemin kurulumu için belirlenen noktanın meteorolojik verileri ve radyasyon değerleri ölçülebildiği gibi, profesyonel cihazlarla ölçüm yapan kurum ve firmalardan da veri alınabilmektedir. Ancak teorik radyasyon değerleri parlak ve bulutsuz gökyüzü koşulları için hesaplanabilir. Copper vd. [9] yaptıkları çalışmada Avustralya için güneş ışınımını tahmin etmede matematiksel modelleri karşılaştırdı. Meteorolojik radyasyon verileri elde edildikten sonra yüzeye gelen etkin ışınım hesaplanabilmektedir. Shen vd. [10], radyasyon verilerini enterpolasyon yapmak, güneşin konumu ile ilgili çeşitli miktarları hesaplamak ve değişken veya sabit yönlü yüzeydeki güneşlenmeyi tahmin etmek için Simulink ile oluşturulan program üzerinde çalıştılar. Tina vd. [11], çalışmalarında iklim etkilerini göz önünde bulundurarak fotovoltaik enerji tesisi performans modellerini karşılaştırdı. Sonuç olarak, rüzgar hızının panel sıcaklığını ve verimini etkilediği görülmüştür.

Belirtilen koordinatlar için, dünyanın güneş etrafındaki hareketi ve gün içindeki güneş açısı, monte edilen güneş paneli sisteminin eğimi ve yön açısı dikkate alınarak yüzeye gelen radyasyon hesaplanabilir. Karafil vd. [12], Bilecik ilinde panel eğim açısının enerji üretimine etkilerini incelemiştir. Rustemli vd. [13] güneş enerjisi sistemini güneş takip sistemi ve sabit montaj ile karşılaştırmıştır. Beyoğlu [14], Balıkesir ilindeki sabit ve iki eksenli takip

fotovoltaik güneş enerjisi sistemlerinin enerji üretimlerini karşılaştırmıştır. Aboot [15], güneş açıları gibi en önemli parametreler üzerinde çalışmış ve bu açıları herhangi bir zamanda ve yerde hesaplamak için bir Matlab kodu hazırlamıştır. Bundan sonra, güneş açılarının modelini ve güneş yolunu analiz etmiştir. Jazayeri vd. [16], güneşin gökyüzündeki konumunu ve güneş modüllerinin yüzeyindeki güneş ışınlarının geliş açısını herhangi bir eğim açısıyla, dünya yüzeyindeki herhangi bir coğrafi konumda bulan bir simülasyon modeli üzerinde çalışmıştır.

Güneş enerjisi sistemlerinin verimliliği ve malzeme özellikleri, üretilen enerji miktarını doğrudan etkiler. Güneş pilleri, güneş ışınımını elektrik enerjisine dönüştüren temel bileşenlerdir. Sistemde kullanılan panellerin verimi, panel yapımında kullanılan malzemeye, teknolojiye, ortam sıcaklığına ve panelin yaşına göre değişmektedir [11,17]. Humada vd. [7], tek diyotlu beş parametrelili bir modelin çıkarılmasına ve performans değerlendirmesine yeni bir yaklaşım sunmaktadır.

Couder vd. [18], Lab-view gerçek zamanlı arayüz sistemini kullanarak fotovoltaik sistemlerin performansının ve dinamik davranışının ayrıntılı bir karakterizasyonunu sunmaktadır. Yıldırım vd. [19], fotovoltaik hücreli tek diyot detaylı modeli geliştirmiş ve simüle etmişlerdir. Model parametreleri fotovoltaik panel katalog değerlerine göre belirlenerek model analiz edilmiştir. Anand vd. [20], Ayaz vd. [21], Bellia vd. [22], Pardiarajan vd. [23], Vinod vd. [24] ve Zainal vd. [25] Matlab/Simulink kullanarak modelleme ve simülasyon fotovoltaik modülü üzerinde çalıştılar. Bouraiou vd. [26], Matlab/Simulink yazılımını kullanarak tek ve iki diyot modeline dayalı fotovoltaik modül ve dizinin modellenmesini ve simülasyon çalışmaları ile incelemiştir.

Belirli bir lokasyon için montaj açısı ve yönü, panel teknik özellikleri ve nominal güç değeri biliniyorsa üretilecek elektrik enerjisi miktarının yaklaşık değerleri hesaplanabilir. Bu hesaplamaları daha doğru ve pratik hale getirmek için ücretli ve ücretsiz programlar geliştirilmiştir. Bu programlar, çeşitli meteoroloji veri bankalarından istenen lokasyon için gerçek meteorolojik verileri sağlayabilir. Huld vd. [27], farklı güneş radyasyonu verilerinin PVGIS program hesaplamaları üzerindeki etkisini incelemiştir. Blair vd. [28], farklı fotovoltaik model seçeneklerine genel bir bakış sunarak farklı model seçeneklerini kullanan 200 kW'lık sistem için sonuçların bir karşılaştırmasını yapmıştır. Beyoğlu vd. [29], farklı enerji üretim tahmin programlarını, Balıkesir ilinde kurulu bir güneş enerjisi santralının gerçek enerji üretim verileriyle karşılaştırdı. Almeda vd. [30], PV sistem yaklaşımlarının

parametrik ve parametrik olmayan modeli ile şebekeye verilen enerjinin saatlik bazda hesaplanmasında kullanmış ve altı PV santralinden gerçek üretim verilerine göre performanslarını analiz etmiştir. Tian vd. [31] fotovoltaik sistemler için ayrıntılı bir performans modeli üzerinde çalıştı. Neamt vd. [32] dünyanın herhangi bir yerindeki bir fotovoltaik sistemin enerji üretimini tahmin etmenin en basit yolunu sağlamaya çalıştı. Verma vd. [33] Matlab / Simulink ortamını kullanarak bağımsız bir sistemin matematiksel modellemesinde değişken yük ile bağlantılı üç fazlı fotovoltaik sistem üzerinde çalıştı. Abdelhayt [34] yerel alçak gerilim şebekesine veya enterkonnekte yüksek gerilim şebekesine bağlı PV güneş sisteminin ayrıntılı bir temsilini oluşturan Matlab / Simulink modeli üzerinde çalıştı. Mohanty vd. [35] bir güneş PV sisteminde kullanılan farklı MPPT yöntemlerinin performansını karşılaştırmış ve ayrıca mevcut olanlardan daha iyi performans sunan yeni bir MPPT tekniğini ortaya koymuşlardır.

Demoulias [36] herhangi bir konumdaki şebekeye bağlı PV santrallerinde optimum invertör boyutunun hesaplanması için yeni ve basit analitik yöntem üzerinde çalışmıştır. Faranda vd. [37] seçilen bazı yerler için mevcut güneş ışınımı verilerini analiz ederek yıllık DC güç üretimi için analitik bir ifade sunmuştur. Farklı solar invertör türleri için genel bir verimlilik eğrisi çıkarılır ve yaklaşık fonksiyon uygulanarak, invertör üzerinden şebekede bir PV tesisinin optimal boyutunu enerjik bakış açısından tahmin etmek için analitik yöntem önermiştir. Pandey vd. [38] PV dizisinin aşırı boyutlandırılması veya yüksek DC/AC oranı nedeniyle invertör güç kırpma kaybının hesaplanması için bir yöntem sunmuştur. Camps vd. [39] bir GCPVS'nin enerji verimi maksimizasyonu için optimal PV-invertör boyutlandırma oranı değerinin çeşitli teknik konfigürasyonlar ve çevresel veriler ile deneysel olarak doğrulanması için yeni bir yaklaşım sunmuştur. Azzolini vd. [40] Volt-Var kontrolü ile oluşan kırılmayı değerlendirmek için çeşitli PV sistem tasarımı için gerçek bir santralde yıl boyu yarı statik zaman serisi (QSTS) simülasyonları yapmıştır. Bu çalışma, bir yıldaki toplam PV enerji üretimine kıyasla kırılan enerji miktarının %0,55'den düşük olduğunu fakat sistem tasarımının sonucunu etkileyeceğini ortaya koymuştur.

Notton vd. [41] fotovoltaik modül teknolojisi ve eğimi, invertör tipi ve konumu dikkate alınarak şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlere uygulanan bir enerji yaklaşımına dayalı optimal bir boyutlandırma metodolojisi üzerinde çalışmıştır. Ferna'ndez vd. [42] bir fotovoltaik güneş enerjisi santralının günlük güç üretim profilinden çıkarılan ve öznitelik uzayını değerlendiren bir bulanık sistemin kullanımını önermiştir. Önerilen bulanık sistem,

invertör güç sınırlama durumlarının yanı sıra fotovoltaik güneş enerjisi santralının kararlı durum güç üretimi gösterdiği aşamaları tespit edebilmektedir. Deschamps vd. [43] büyük ölçekli şebekeye bağlı fotovoltaik güneş panelleri için invertör boyutlandırma optimizasyon sürecini gerçekleştirmeyi ve analiz etmeyi amaçlamıştır. Güneş ışınım dağılımının analizleri ve invertör boyutlandırma üzerindeki potansiyel etkileri araştırılmıştır. Balfour vd. [44] performans sorunlarının fotovoltaik sistem konfigürasyonu ile; enstrümantasyon tasarımı, kurulumu ve bakımı ile ve tanımlanmış yönetim ve operasyonel uygulamalarla nasıl engellenebileceğini açıklamıştır. Santral kapasitesine dayalı performans oranı ve maskeleme etkileri incelenirken saatlik simülasyona dayalı performans indeksindeki eksikliklerin giderilmesi için bir süre eğrisine dayalı basit bir yöntem tanıtılır ve invertör kırpma ve piranometre kirlenmesi yeni yöntemin iki örneği olarak sunulur. Zidane vd. [45] birkaç olası kombinasyon arasından PV dizisi ve invertör arasındaki optimum kombinasyona dayalı olarak şebekeye bağlı büyük ölçekli PV enerji santralleri için optimum invertör boyutunu seçmeyi amaçlamıştır. Choi [46] DC/AC oranı ile birlikte kurulum yerinin PV invertör ömrü üzerindeki etkisini incelemiştir.

Luo vd. [47] PV sistemlerde doğru güç üretim tahmini için sıralı veri tabanlı regresyon problemlerini çözmede uzun kısa süreli bellek (LSTM) ağından yararlanan derin öğrenmeye dayalı bir saatlik tahmin modeli üzerinde çalışmışlardır. Han vd. [48] fotovoltaik sistemler için PV sistem çıkış gücü, mutlak güç sapması ve bağlı değişim oranı göz önünde bulundurularak, güç üretiminin mevsimsel değişimini hesaba katan alternatif bir makine öğrenme modeli ile güç üretimi tahmin yöntemi önermiştir. Elsheikh vd. [49] güneş kolektörleri, güneş ısı pompaları, güneş enerjili hava ve su ısıtıcıları, fotovoltaik ve termal sistemler, güneş ocakları, pişirici ve kurutucular gibi farklı güneş enerji cihazlarının performansını tahmin ve optimize etmek için yapay sinir ağı (ANN) uygulamaları üzerinde çalışmıştır. Olleros vd. [50] bir fotovoltaik sistemin dağıtım, yapılandırma parametreler konum ve çevresel koşullarından bağımsız olarak davranışını ve enerji üretimini tahmin etmek için Derin Öğrenme (DL) modeli üzerinde çalıştılar. Li vd. [51] derin öğrenme yöntemlerindeki son gelişmeler ve bunların enerji sektöründeki tatmin edici performansından hareketle, beş dakikalık aralıklarla bir saat ilerideki PV güç tahmini için dalgacık paket ayrıştırma (WPD) ve uzun kısa süreli bellek (LSTM) ağlarını birleştiren hibrit bir derin öğrenme modeli önermiştir.

2. FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ

Güneş pilleri, elektrik enerjisinin gerekli olduğu her türlü uygulamada kullanılabilir. Güneş pili modülleri, uygulamaya bağlı olarak akümülatörler, invertörler, akü şarj kontrol cihazları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak güneş pili sistemlerini yani fotovoltaik sistemleri oluşturur. Bu sistemler önceleri yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesinin olmadığı, jeneratöre yakıt taşımının pahalı ve zor olduğu bölgelerde kullanılırken, günümüzde kullanımı oldukça yaygın hale gelmiştir. Bunun dışında dizel jeneratörler, rüzgar tribünleri veya diğer güç sistemleri ile farklı kombinasyonlarda hibrit sistemler olarak kullanılması da mümkündür.

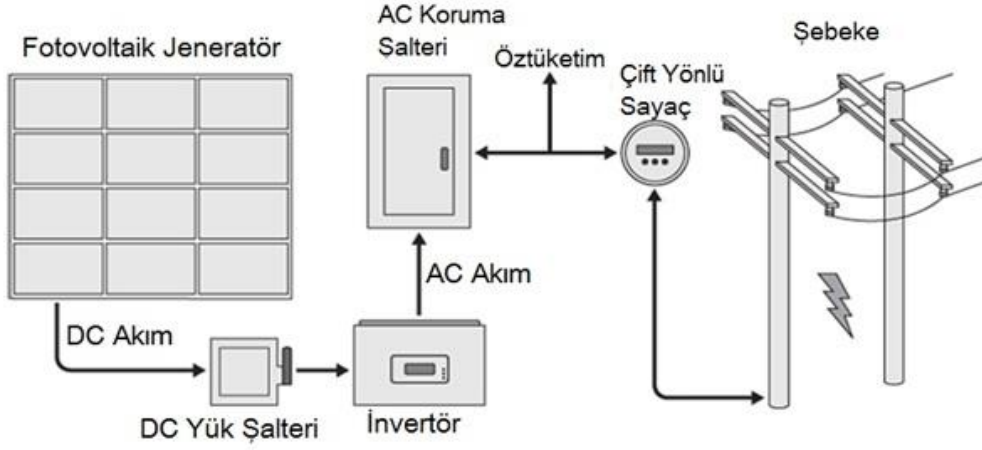
Bu sistemlerde enerji kaynağı olarak yeterli sayıda güneş pili modülü kullanılmaktadır. Sistemde genellikle güneşin yetersiz olduğu zamanlarda veya özellikle gece saatlerinde kullanılmak üzere akümülatör bulundurulur. Güneş pili modülleri gün boyu elektrik enerjisi üreterek aküde depolar, yük için gerekli olan enerji aküden karşılanır. Akünün aşırı şarj ve deşarjdan zarar görmesini önlemek için kullanılan kontrol ünitesi, akünün durumuna göre güneş pillerinden gelen akımı veya yükün çektiği akımı sınırlar. Şebekeye uyumlu alternatif akım elektriğinin gerekli olduğu uygulamalarda, sisteme bir invertör eklenerek, aküdeki DC gerilim istenilen genlik ve frekanstaki alternatif gerilime dönüştürülür. Bu değer Türkiye’de tek fazlı sistemler için 220 V, 50 Hz’dir. Benzer şekilde, uygulamanın şekline göre çeşitli destek elektronik devreler sisteme katılabilir. Birçok sistemde, güneş pillerinin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan maksimum güç noktası izleyici cihazı bulunur.

2.1 Güneş Enerji Sistemi Topolojileri

Güneş enerji sistemleri kullanım amaçlarına uygun şekilde farklı kurulum yapılarına sahiptirler. Genel olarak güneş enerji sistemlerini şebekeye bağlı (On-Grid) ve şebekeden bağımsız (Off-Grid) olmak üzere iki temel başlık altında incelemek mümkündür [52].

2.1.1 Şebekeye Bağlı (On-Grid) Sistemler

Ana elektrik şebekesine bağlı olan sistemlerdir. Dünyada kullanımı yaygın olan ve ülkemizde kullanımı teşvik edilen sistemlerdir. Çift yönlü sayaç kullanılarak, şebekeden ihtiyaç halinde elektrik alma ve ihtiyaç fazlası varsa şebekeye elektrik verme imkanı sağlar.

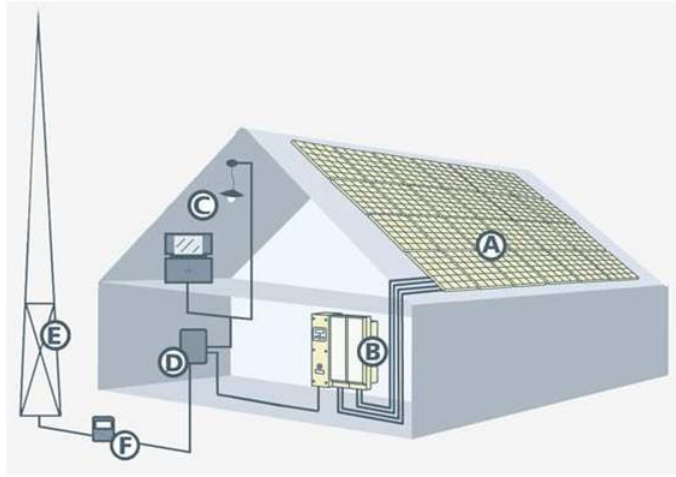


Şekil 2.1: On-grid sistem şeması.

On-grid sistem şeması Şekil 2.1'de paylaşılmıştır. Üretilen elektriğin fazlasının mevzuata göre şebekeye satılması, hibe edilmesi veya mahsuplaşılması mümkündür. Bu sistemlerde akü ve şarj kontrol masraflarından tasarruf yapılır. Bununla birlikte üretilen fazlalığın da değerlendirilmesi büyük avantaj sağlamaktadır. On-grid sistem modeline akü ilave edilerek şebekede oluşabilecek herhangi bir elektrik kesintisi anında enerji teminini sürekli hale getirilebilir [52].

2.1.1.1 Şebeke İçi Kullanılan Sistemler

Güneş panelleri ile elde edilen DC enerjinin invertör aracılığı ile AC şebeke elektriğine dönüştürüldüğü sistemlerdir. Üretilen enerji herhangi bir yerde depolanmaz, anlık ihtiyacın karşılanmasında kullanılır. Güneş panellerinin enerji üretmediği zamanlarda ise ihtiyaç olan enerji şebekeden karşılanır. Söz konusu sistem kurulu gücün altında boyutlandırıldığından, herhangi bir yasal düzenlemeye ihtiyaç duymadan kullanılabilir. Örnek sistem topolojisi Şekil 2.2'de gösterilmiştir.

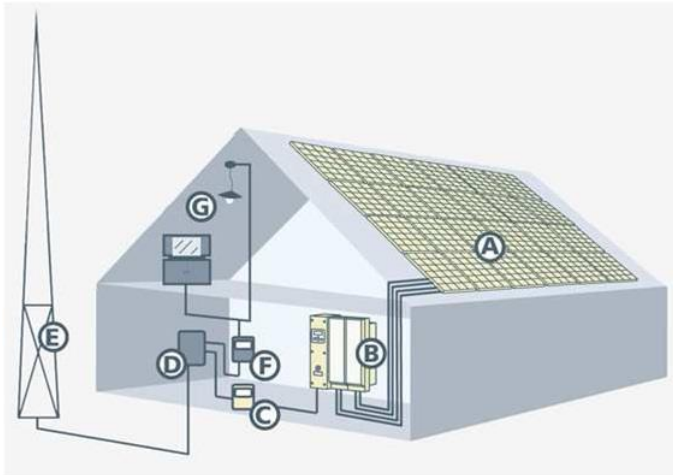


- A. Panel
- B. İntertör
- C. Cihazlar
- D. Ev panosu
- E. Şebeke
- F. Şebekeden eve alınan elektrik sayacı

Şekil 2.2: Şebeke içi kullanım topolojisi.

2.1.1.2 Şebeke İçi Satışlı Sistemler

Güneş panelleri aracılığıyla güneş enerjisinden elde edilen DC enerji, invertör sayesinde AC şebeke elektriğine dönüştürülür. Üretilen enerjinin tamamı sayaç üzerinden geçirilerek şebekeye satılır. Tesisin ihtiyacı olan enerjinin tamamı güneş enerji sisteminden bağımsız olarak şebekeden alınmaya devam eder. Örnek sistem topolojisi Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Yasal düzenlemeler gerektiren bu uygulama şekli, sistem sahibine üretilen enerjiyi şebekeye satarak, üretim miktarı ölçüsünde gelir elde etmesini sağlar [52].



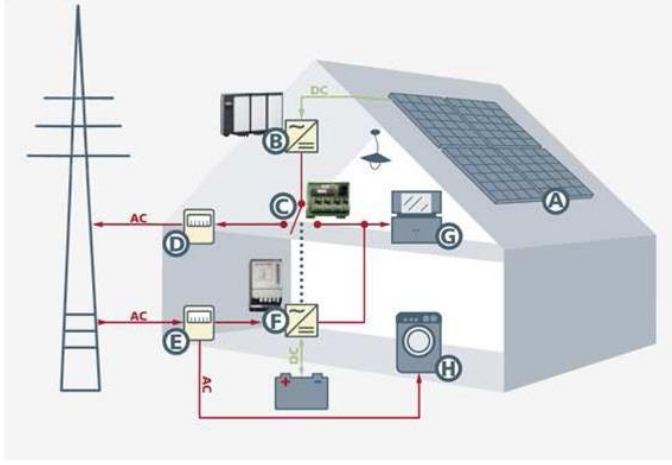
- A. Panel
- B. İntertör
- C. Şebekeye satış sayacı
- D. Ev panosu
- E. Şebeke
- F. Şebekeden eve alınan elektrik sayacı
- G. Cihazlar

Şekil 2.3: Şebeke içi satışlı sistem topolojisi.

2.1.1.3 Şebeke İçi Satışlı – Akülü Sistemler

Güneş panelleri aracılığıyla güneş enerjisinden elde edilen DC enerji şarj kontrol cihazı aracılığıyla akülerin şarjı için kullanılır. Sistem aküleri doldurduktan sonra, fazla enerji invertör aracılığı ile AC şebeke elektriğine dönüştürülür. Üretilen enerji fazlası sayaçtan

geçirilip şebekeye satılabilir. Özellikle enerji yedekliliğinin önemli olduğu tesislerde tercih edilen bu sistem, güneş enerjisi üretilmediğinde aküleri şebeke gerilimi ile şarj edebilmektedir.



- A. Panel
- B. Şebeke invertörü
- C. Röle
- D. Şebeke satış sayacı
- E. Şebekeden alırl sayacı
- F. Sinüs invertör
- G. Kesintide desteklenen yükler
- H. Kesintide desteklenmeyen yükler

Şekil 2.4: Şebeke içi satırlı akülü sistem topolojisi.

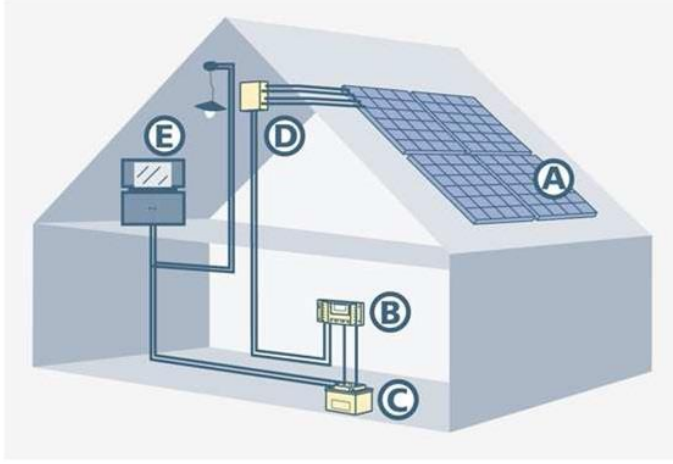
Bu sayede, üretilen fazla enerji şebekeye satılarak sistem sahibi gelir elde ederken, şebeke elektriğinin kesildiği durumlarda evde ihtiyaç duyulan elektrik enerjisi öncelikle güneş enerji sisteminden, üretim yoksa akülerden karşılanabilmektedir. Örnek sistem topolojisi Şekil 2.4'te gösterilmiştir.

2.1.2 Şebekeden Bağımsız (Off-Grid) Sistemler

Şebekeden bağımsız sistemlerde üretilen DC enerji, akü gruplarında depo edilmekte olup, bu enerji ihtiyaca göre DC olarak veya invertörler aracılığıyla AC gerilime dönüştürülerek kullanılabilir [52].

2.1.2.1 Sadece DC Yük İhtiyacı Duyulan Bağımsız Sistemler

DC yüklü bağımsız sistemlerin elektrik enerjisi ihtiyacının tamamı DC yükler tarafından harcanmaktadır. DC gerilim değeri genellikle 12 V veya 24 V'tur. Elektrik şebekesinin bulunmadığı çok fazla enerji ihtiyacı ve çok çeşitli yükleri bulunmayan dağ evi, tekne, karavan, çadır vb. yerlerde daha çok tercih edilirler. Örnek sistem topolojisi Şekil 2.5'te gösterilmiştir.

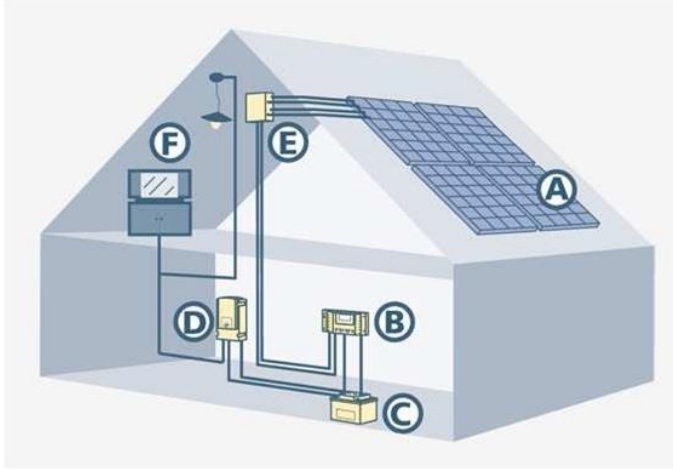


- A. Panel
- B. Solar şarj kontrol
- C. Akü
- D. Bağlantı kutusu
- E. Cihazlar

Şekil 2.5: Sadece DC yük ihtiyacı duyulan bağımsız sistem topolojisi.

2.1.2.2 AC ve DC Yük İhtiyacı Bulunan Şebekeden Uzak Sistemler

Güneş panelleri aracılığıyla güneş enerjisinden elde edilen DC enerji, öncelikle şarj kontrol cihazı aracılığıyla akü şarjı için kullanılır. Üretilen ve depolanan DC enerji invertör aracılığıyla AC şebeke elektriğine dönüştürülür. Örnek sistem topolojisi Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Gündüz üretilen ve akülerde depolanan DC enerji, güneş enerjisi üretilmediği zamanlarda tesisin kesintisiz elektrik ihtiyacının karşılanmasını sağlar [52].



- A. Panel
- B. Solar sarj kontrol
- C. Akü
- D. Sinüs dalga invertör
- E. Bağlantı kutusu
- F. Cihazlar

Şekil 2.6: AC-DC müstakil sistem topolojisi.

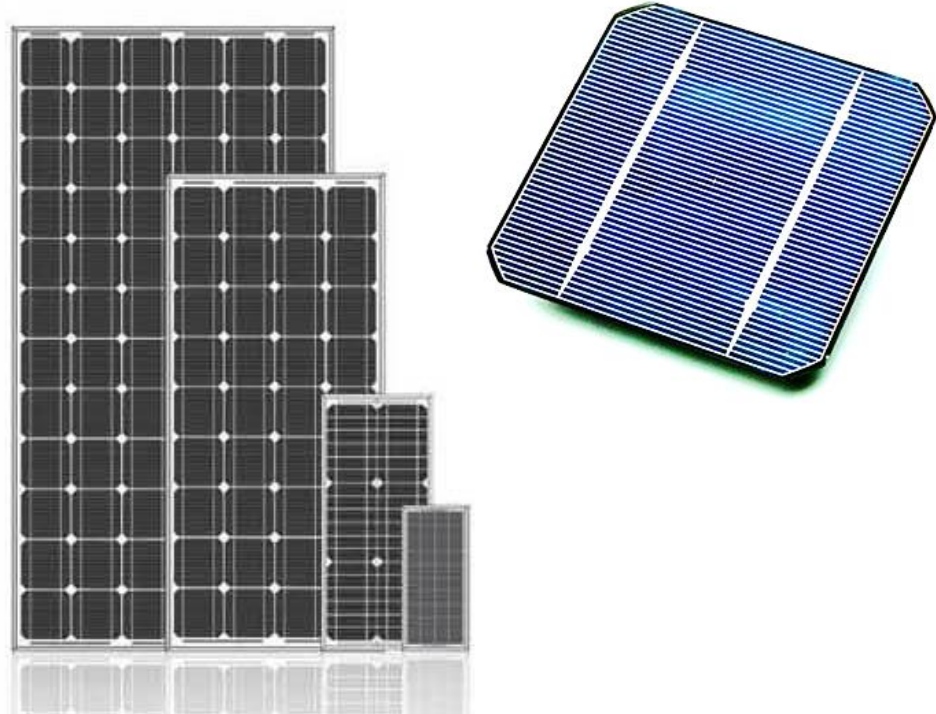
2.2 Fotovoltaik Sistem Bileşenleri

2.2.1 Fotovoltaik Panel

Güneş pilleri, diğer adıyla fotovoltaik piller, yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çeviren yarı iletken malzemelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen ve daire formunda şekillendirilen güneş pillerinin alanları genel olarak 100 cm² civarında ve kalınlıkları 0,2-0,4 mm arasındadır.

Fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışan güneş pillerinin üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Pilin yüzeyine gelen güneş enerjisi verdiği elektrik enerjisinin kaynağıdır. Güneş pili yapısına bağlı olarak güneş enerjisini %5 ile %20 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir.

Çok sayıda güneş pili bir yüzey üzerine birbirine paralel ya da seri bağlanarak monte edilerek güç çıkışı artırılır. Bu yapıya fotovoltaik modül veya güneş pili modülü denir. Şekil 2.7’de örnek güneş pili ve farklı boyutlarda güneş modülleri gösterilmiştir. Güç talebine bağlı olarak modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak birkaç watttan megawatlara kadar sistem oluşturulur.



Şekil 2.7: Güneş pili ve modülü.

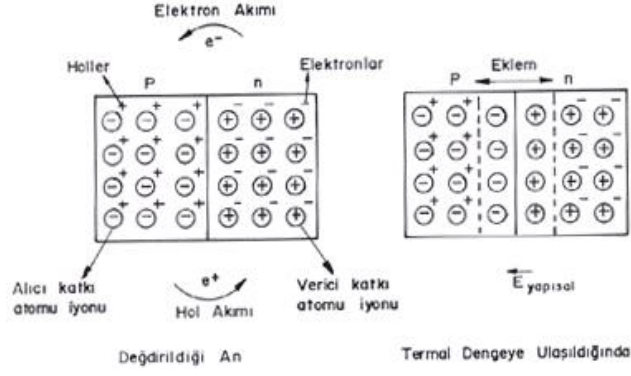
2.2.1.1 Güneş Pillerinin Yapısı ve Çalışması

Günümüzde yaygın olarak kullanılan transistör, diyot vb. elektronik ürünler gibi güneş pilleri de yarıiletken maddelerden yapılmaktadır. Yarıiletken özellik gösteren maddeler arasında silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellür güneş pili yapmak için en elverişli maddelerdir [3].

Yarıiletken maddelerin güneş pili olarak kullanılabilmesi için n veya p tipi katkıları gereklidir. Saf eriyik yarıiletken içerisine istenilen katkı maddelerinin kontrollü olarak eklenmesiyle katkılama yapılır. Katkı yapılan katkı maddesine bağlı olarak n veya p tipi yarıiletken elde edilir. Silisyum en yaygın kullanılan güneş pili maddesi olup, n tipi silisyum elde etmek için silisyum eriyiğine periyodik cetvelin 5. grubundan bir element, örneğin fosfor eklenir. Silisyum'un dış yörüngesinde 4, fosforun dış yörüngesinde 5 elektron bulunmaktadır. Fosforun fazla olan tek elektronu kristal yapıya bir elektron verdiği için 5. grup elementlerine "verici" ya da "n tipi" katkı maddesi denir [3].

Saf silisyum eriyiğine 3. gruptan bir element (alüminyum, indiyum, bor gibi) eklenerek P tipi silisyum elde edilir. 3. grup elementlerin son yörüngesinde 3 elektron olduğu için kristalde bir elektron eksikliği oluşur, bu elektron yokluğuna pozitif yük taşıdığı varsayılan hol veya boşluk denir. Bu tür maddelere de "p tipi" ya da "alıcı" katkı maddeleri denir [3].

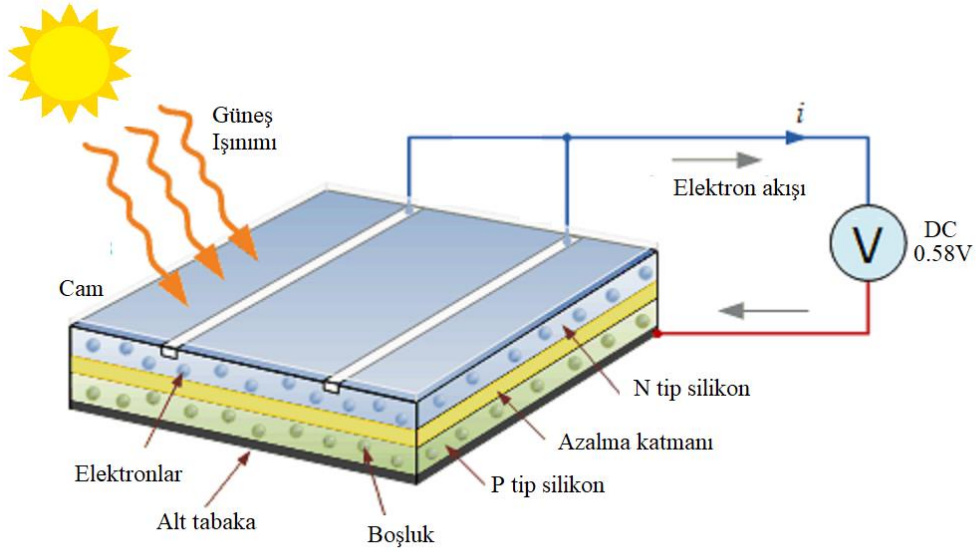
Yarıiletken eklemler, P ve N tipi katkılandırılmış malzemelerin bir araya getirilmesiyle oluşturulur. N-tipi yarı iletkenlerdeki elektronlar ve p-tipi yarı iletkenlerdeki holler çoğunluk taşıyıcılarıdır. P ve N tipi yarı iletkenler bir araya gelmeden önce her iki madde de elektriksel olarak nötrdür. Yani P tipinde negatif enerji seviyeleri ve hol sayıları, n tipinde pozitif enerji seviyeleri ve elektron sayıları eşittir. PN eklem oluştuğunda, N tipinin çoğunluk taşıyıcıları olan elektronlar, P tipine doğru bir akım oluştururlar. Bu olay her iki tarafta yük dengesi sağlanana kadar devam eder. PN tipi malzemenin arayüzünde, yani eklem bölgesinde, P bölgesi tarafında negatif yük ve N bölgesi tarafında pozitif yük birikir. Bu eklem bölgesi "geçiş bölgesi" veya "yükten arındırılmış bölge" olarak adlandırılır. Bu bölgede oluşan elektrik alanı "yapısal elektrik alan" denir. PN eklemine oluşumu Şekil 2.8'de verilmiştir [3].



Şekil 2.8: PN eklemir oluşması.

Yarıiletken eklemir eklem bölgesinde fotovoltaik dönüşümün sağlanması ile güneş pili olarak çalışmaya başlar. Bu dönüşüm iki aşamada gerçekleşir, ilk olarak elektron-hol çiftleri eklem bölgesine düşen ışıkla oluşturulur, ikinci olarak bölgedeki elektrik alan yardımı ile birbirlerinden ayrılırlar [3].

Fotovoltaik hücrenin çalışma prensibi Şekil 2.9’da gösterilmiştir.



Şekil 2.9: Fotovoltaik hücrenin çalışma prensibi.

Yarı iletkenler, bir yasak enerji aralığıyla ayrılmış iki enerji bandından oluşur. Bunlara valans ve iletkenlik bantları denir. Bu yasak enerji aralığına eşit veya daha büyük bir enerjiye sahip bir foton, yarı iletken tarafından emildiğinde, enerjisini valans bandındaki bir elektrona vererek elektronun iletim bandına yükselmesini sağlar. Böylece bir elektron-hol çifti oluşur. Bu olay PN eklem güneş pilinin arayüzeyinde gerçekleşmişse, elektron-hol çiftleri buradaki

elektrik alan tarafından birbirinden ayrılır. Bu sayede güneş pili, elektronları N bölgesine, holleri de P bölgesine iten bir pompa gibi çalışır. Birbirinden ayrılan elektron-hol çiftleri, güneş pilinin uçlarında bir elektriksel bir güç oluşturur. Bu süreç, her foton pil yüzeyine çarptığında yinelenerek devam eder. Yarı iletkenin iç kısmına gelen fotonların oluşturduğu elektron hol çiftleri, gerekli elektrik alan olmadığı için yeniden birleşerek kaybolur [3].

2.2.1.2 Güneş Pillerinin Yapımında Kullanılan Malzemeler

Güneş pilleri pek çok farklı maddeden yararlanarak üretilebilir. Panel verimliliğini arttırmaya yönelik AR-GE çalışmaları sürmekte olup, mevcut ürünlerin tercihleri sistem maliyeti, ömür beklentisi, verim beklentisi, vb. kriterlerin değerlendirilmesi sonucu yapılmaktadır.

Güneş pillerinin yapımında kullanılan malzemeler Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10: Güneş pili yapımında kullanılan malzemeler.

Günümüzde en çok kullanılan maddeler şunlardır [53]:

- 1) Birinci Nesil: Kristal silisyum güneş hücreleri (c-Si ve mc-Si)

Kristal silisyum güneş hücreleri güneş ışınlarını soğurma oranı düşük olmasına rağmen verimlerinin %12-16 arasında olması nedeniyle üretimi en çok tercih edilen ve güneş paneli pazarının %93'ünü oluşturan hücrelerdir. Genel olarak 25 yıllık çalışma ömrü olduğu kabul edilmektedir. İnce silikon dilimlerin (wafer) kalınlıkları 0,17 mm'ye kadar düşürülmüştür. Monokristal (c-Si veya SIN) ve Polikristal (mc-Si) olarak ikiye ayrılabilirler.

Monokristal (c-Si, SIN) güneş hücrelerinin verimleri %15-18 arasındadır. Yüksek veriminden dolayı uzun vadeli yatırımlar için idealdir. Laboratuvar ortamında %21'lik bir

verime ulaşılmıştır. 20 yıllık kullanım sonunda %7 verim kaybı meydana gelir. Saf kristal gereksinimi yüzünden fiyatı yüksektir.

Polikristal (poly-Si) güneş hücrelerinin verimleri %12-15 arasındadır. Kristal yapıları tam homojen olmadığından monokristal hücrelere göre daha ucuzdur. Laboratuvar ortamında %21,3'lük bir verime ulaşılmıştır. 20 yıllık bir sürede %14 verim kaybı meydana gelir. Üretim süreci de monokristal hücrelere göre daha ucuzdur.

2) İkinci Nesil: İnce film güneş hücreleri (a-Si, CdTe, CIS veya CIGS)

Işık soğurma oranı yüksek olan ince film hücreler, düşük verimlilikleri nedeni ile pazar payının sadece %7'sini oluşturur. Oldukça ince yapıdaki (1-4 µm arasında) bu paneller %7-14 arasında verimlilik sunmaktadırlar.

Amorphous (a-Si) güneş hücrelerinin verimleri %8-10 arasındadır. a-Si'nin teorik olarak %27'lik bir verimi vardır. Laboratuvar ortamında %13,6'lık bir verime ulaşılmıştır. Zamanla verim kaybı %21'lere kadar çıkmaktadır. Üretim için yüksek maliyetli donanımlar gerektirmesine rağmen üretim süreci ucuz olduğundan dolayı üretim de bu hücre tipine de yer verilmektedir.

Cadmiumtelluride (CdTe) güneş hücrelerinde 1 cm²'de %17'lik, 8390 cm²'de %11'lik, laboratuvar ortamında ise %22,1'lik bir verime ulaşılmıştır. Sadece rijit cam ile kullanılabilmekte olup, üretim maliyeti düşüktür.

CIGS (Copperindiumgallium (di)selenide, Bakır indiyum galyum diselenyum) güneş hücrelerinin verimleri %11-14 arasında olup, laboratuvar ortamında %23,3'lük bir verime ulaşılmıştır. Cam veya esnek yüzey ile kullanılabilir. Üretim süreci pahalı olup, geniş alan gereksinimi bulunmaktadır.

3) Üçüncü Nesil: Nano teknolojiye dayalı güneş hücreleri (Tandem, Supertandem, IntermediateBand Solar Cells vs.)

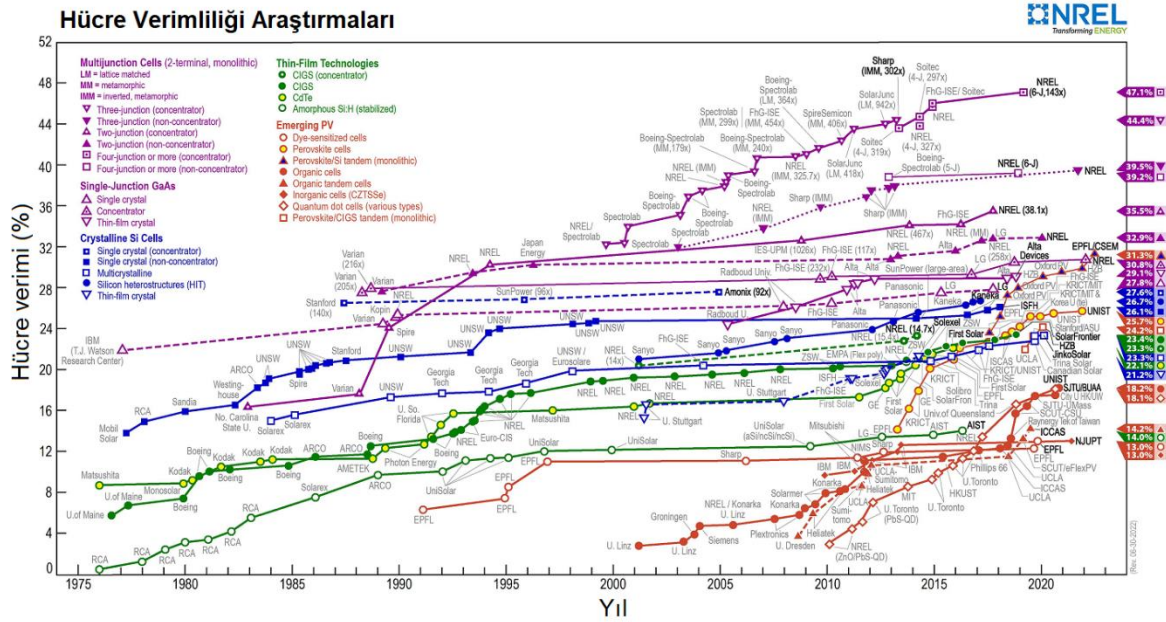
Araştırmaları devam eden bu teknolojiye henüz sonuca tam olarak ulaşılmış değildir. Sunacakları yüksek verimden dolayı üretime başlanması halinde enerji konusunda büyük bir atılım yapacaklardır.

Supertandem güneş hücreleri teorik olarak % 86,8 verime sahiptir fakat bugüne kadar 1 cm²'de ulaşılmış olan değer %35,4'tür.

IntermediateBand güneş hücrelerinin teoride % 63,2'lik verimleri öngörülmesine rağmen ulaşılmış bir değer henüz bulunmamaktadır.

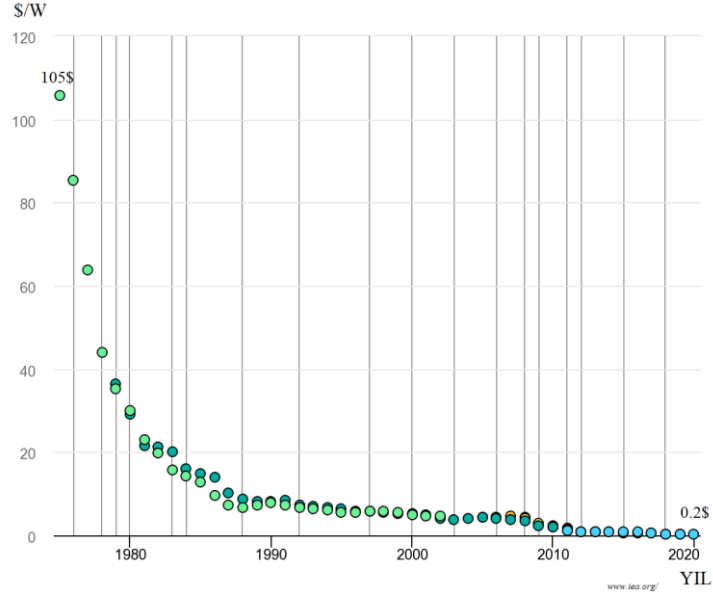
Hot Carrier güneş hücrelerinin üretim sorunları henüz çözülememiş olup, üretilebildiği takdirde supertandem hücrelerine yakın bir verim elde edilecektir.

Güneş panelinin verimini arttırmaya yönelik çalışmalar hızla devam etmekte olup, yıllara göre verimdeki gelişmeyi gösteren grafik Şekil 2.11'de gösterilmiştir. Grafiğin yüksek çözünürlüklü hali EK-A'da paylaşılmıştır [54].



Şekil 2.11: Güneş hücresi veriminin yıllara göre değişimi.

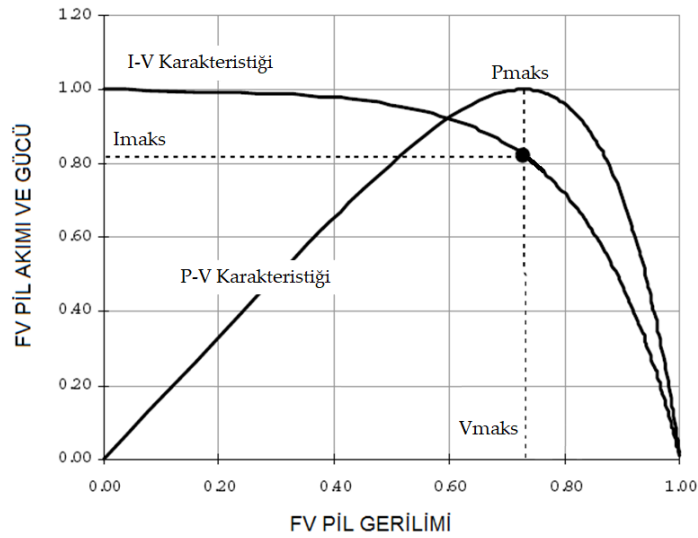
Yapılan araştırmalar, gelişen teknoloji, kullanımın artması ve üretim miktarının artması sonucunda fotovoltaik panel fiyatlarında yaşanan düşüş yıldan yıla Şekil 2.12'de gösterilmiştir. 1970'li yıllarda 105 \$/W mertebesindeki ilk maliyetler günümüzde 0,2 \$/W mertebesine kadar düşmüştür [55].



Şekil 2.12: Güneş hücresi fiyatlarının yıllara göre değişimi.

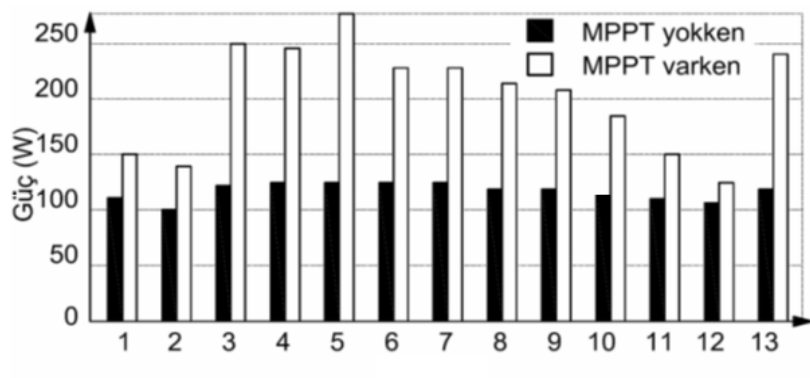
2.2.1.3 Maksimum Güç Noktası Takibi (MPPT)

Maksimum güç noktası takibi, güneş paneli çıkışına bağlanan güç dönüştürücüsünün sistemin maksimum güçte çalışmasını sağlayan kontrol yapısıdır. Güneş panelinin verimi yüzeyine gelen güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürülebilme oranı ile ifade edilir. Bu değer pilin yapısına ve kalitesine bağlı olarak %16-21 arasındadır. Fakat güneş pillerinin akım gerilim oranı dengelenmediğinde, pillerin karakteristik özelliğinden dolayı verim oranı düşmektedir. Dolayısı ile kısıtlı enerjiyi en etkili şekilde kullanmak için birçok araştırma yapılmıştır. PV sisteme ait örnek maksimum güç eğrisi Şekil 2.13'te gösterilmiştir [56].



Şekil 2.13: Maksimum güç eğrisi.

Maksimum güç noktası takibi denetim tekniği güneş panellerin maksimum verimlerinde çalıştırılmasını sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntem güneş pilinin verdiği enerjinin en yüksek olduğu noktayı yakalayan bir denetim sistemidir. Maksimum güç noktası ışınım, sıcaklık, güneş panelinin eğimi, güneş paneli yaşı vb. gibi değişkenlerle değişir. Denetim mekanizması maksimum güç noktasını bulmak için denetim tekniğine bağlı olarak güneş paneli değişkenlerini değerlendirir ve dönüştürücüsünün referansını gücün en yüksek olduğu noktada çalışacak şekilde değiştirir. Bu sayede, maksimum güç noktası takibi ile elde edilen enerji kontrolsüz olarak elde edilen enerjiye oranla yaklaşık %45 artırılabilir. MPPT ile ilgili verim değişimi Şekil 2.14’te verilmiştir [56].



Şekil 2.14: MPPT’nin verime etkisi.

Güneş paneli çıkış gücü noktası (MPP) sürekli değişkendir. Maksimum güç noktası takibi için günümüzde birçok denetim tekniği kullanılmaktadır. Kullanılan denetim teknikleri “dolaylı denetim” ve “doğrudan denetim” olarak iki ana grupta değerlendirilebilir.

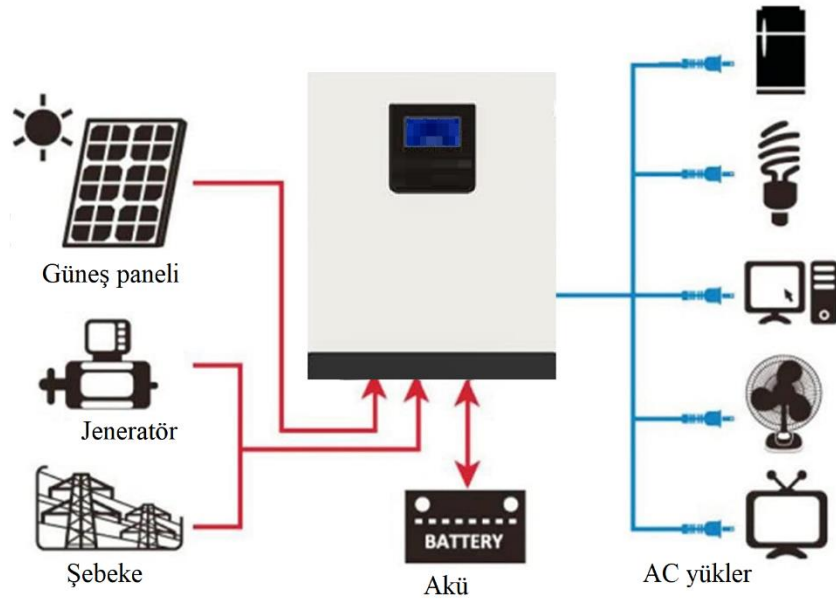
Dolaylı denetim tekniği, güneş paneli karakteristiğine dayanarak deneysel sonuçlardan elde edilmiş tabloları ışınım şiddeti, modül sıcaklığı, modül kısa devre akımı, modül açık devre gerilimi gibi değerleri matematiksel eşitlikler veya direkt tablolar yardımı ile kullanarak maksimum güç noktasını tahmin etmeye dayalı bir yöntemdir. Dolaylı denetim tekniğinde güneş panelinin anlık gücü sürekli olarak hesaplanmaz. Referans denetim sinyalinin oluşturulması işlemi referans güneş paneli hücresi yardımı ile veya güneş paneli hücre özelliğine bağlı olarak belirli aralıklarla modül açık devre gerilimi, kısa devre akımı, ışınım şiddeti, modül sıcaklığı gibi anlık değerlerin okunması ile yapılır. Bu yöntemle yaklaşık Maksimum güç noktası bulunur [56].

Doğrudan denetim tekniği kullanan sistemler sürekli olarak anlık güneş paneli gücünü okuyarak önceki çıkış gücü ile karşılaştırır ve maksimum güç noktası takibi noktasında çalışmayı sağlayacak dönüştürücü referans sinyalini oluşturur. Doğrudan denetim metodu güneş panelinin gerilim ve akım değerlerini kullanır. Sürekli denetim sayesinde çalışma noktası değiştirilerek en uygun noktanın anlık takibi yapılır. Bu yöntem güneş paneli karakteristiği, sıcaklık, ışınım şiddeti gibi değişkenlerden bağımsız olarak her durum için uygun maksimum güç çalışma noktasının yakalanmasını sağlar [56].

2.2.2 İnvörtör

Güneş panellerinin güneş radyasyonunu absorbe ederek üretmiş olduğu enerjinin ihtiyaç olan voltaj değerlerine çevrilmesini sağlayan, akü gruplarını şarj ederek enerjiyi depolayan ve akülerden tekrar kullanan, panellerin ışınım ve karakteristik değerlerine göre maksimum değerde enerji üretmesini sağlayacak şekilde çalıştıran sistemlere invertör denir.

Örnek invertör bağlantı şeması Şekil 2.15'te paylaşılmıştır.

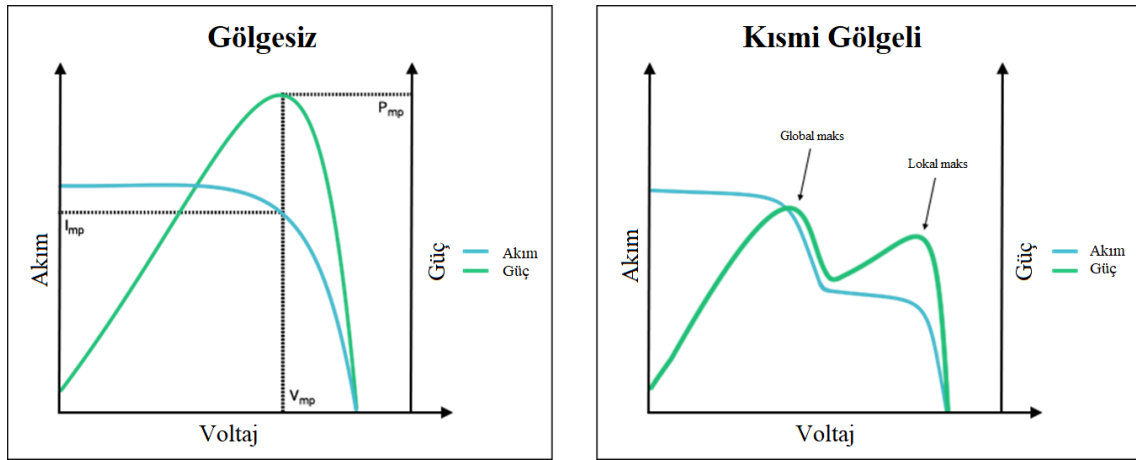


Şekil 2.15: Örnek invertör bağlantısı.

İnvörtörler panelin en verimli şekilde çalışması için V-I değerleri değiştirilerek maksimum güç üretilmesini sağlamak için kullanılan sistemlere, Maksimum Güç Noktası Takibi (MPPT) yaparlar. Bu sistemler verimi en yüksek değerde tutmaya çalışmasına rağmen, panellerin birbirlerine göre teknik değerlerindeki farklılıklar, gölgelenme, bölgesel/noktasal

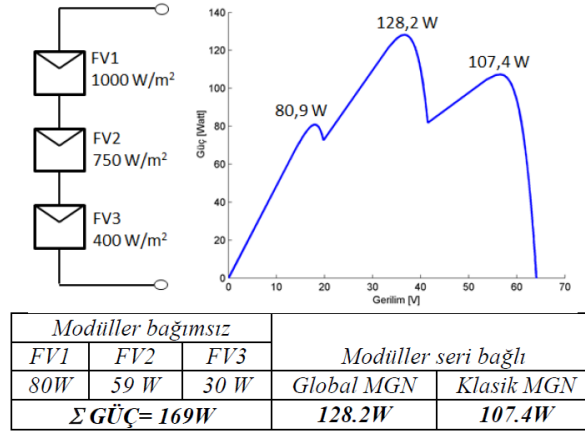
kirlilik gibi faktörler nedeni ile oluşabilen farklı enerji tepe noktaları sonucunda kararsızlaşmakta, her zaman en verimli noktada çalışması mümkün olmamaktadır. Bu konuda çalışmalar sürmekte olup, geliştirilen yeni algoritmalar ve ek sistemler ile sistem kararlılığı sağlanmaya çalışılmaktadır.

Şekil 2.16'da gölgelenme olmayan ve kısmi gölgelenme durumları için maksimum güç noktası değerleri örnek olarak gösterilmiştir. Bir veya birkaç güneş pilindeki sorun, bir güneş modülünün verimini, buna bağlı olarak da bir dizinin verimini etkileyebilmektedir.



Şekil 2.16: Maksimum güç eğrisine gölge etkisi.

Şekil 2.17'de gölgelenmeden dolayı farklı ışınımlara maruz kalan seri bağlı 3 panelli bir dizide 3 farklı maksimum güç noktası olduğu görülmektedir. Sistemin hangi tepe noktasını seçeceği ve ne kadar enerji üreteceği MPPT algoritmasına bağlıdır. Klasik MPP izleyiciler en yüksek gerilimdeki tepeyi izleyecektir, bu nedenle panel dizisinin gücü önemli oranda düşer. Bu yüzden geliştirilen global MPP izleyiciler ile P-V eğrisini çeşitli yöntemlerle tarayarak en büyük güce sahip tepe nokta bulunur. Bağımsız modüler sistemde, her panel bağımsız olarak enerji üretir fakat yüksek sistem kayıplarını, uygulama zorluklarını ve maliyetlerini de beraberinde getirir. 3'lü panel dizisinin klasik sistemde 107 W, global sistemde 128 W, bağımsız modüler sistemde ise 169 W enerji ürettiği görülmektedir [57].



Şekil 2.17: Seri dizide maksimum güç eğrisine gölge etkisi.

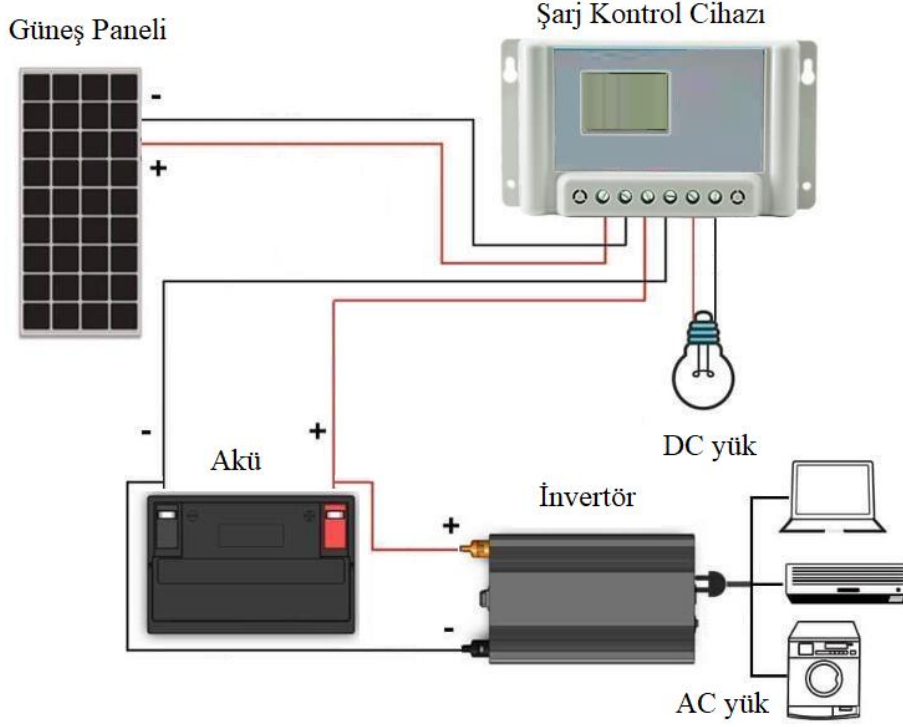
Günümüzde geliştirilen ve panellere montajı yapılan optimizeler ile panele ilişkin bilgiler invertör gruplarına iletilmekte, invertör tarafından sistemin nasıl çalışacağına bu bilgiler ışığında karar verilmektedir. Bu sistemler sayesinde optimizeye bağlı her panel bağımsız olarak kontrol edilebilmekte ve her türlü koşulda (gölgeleme, kirlilik vb.) maksimum verim elde edilmektedir.

İnvertörlerin çıkış harmonikleri yüklenme değerlerine göre değişiklik göstermektedir. İnvertör girişinde harmoniklerin DC panellere zarar vermemesi için giriş filtreleri kullanılır.

2.2.3 Şarj Kontrol Cihazı

Üretilen enerjinin depolanması istenen sistemlerin, aküleri şarj etmek için kullandığı temel bileşendir. Bu cihaz güneş panellerinde üretilen enerjiyi akülerin şarjı için uygun hale getirir ve en iyi şekilde şarj edilmesini sağlar. Şarj kontrol cihazı üzerinde güneş paneli girişi, akü ve yük çıkışları bulunur. Üretilen enerji ile yük beslenirken, ihtiyaç fazlası enerji akülerin şarjı için kullanılmaktadır. Panellerde enerji üretilmediğinde ise yükün ihtiyacı aküler tarafından sağlanır.

Örnek şarj kontrol cihazı bağlantı şeması Şekil 2.18’de paylaşılmıştır.



Şekil 2.18: Örnek şarj kontrol cihazı bağlantısı.

2.2.4 Akümülatör

Güneş enerji sistemlerinde aküler güneş panellerinden gelen doğru gerilimi ihtiyaç halinde kullanılmak üzere depolayan cihazlardır. Fotovoltaik güneş enerji sistemlerinde gündüz enerji üretilmesine rağmen gece enerji üretilmemektedir. Aküler üretilen enerjinin depolanarak günün farklı saatlerinde kullanımını mümkün kılar. Coğrafi şartların ağır olduğu yerlerde kurulan güneş enerjisi sistemlerinde aküler bu şartlara dayanıklı olacak şekilde seçilmelidir. Sıcaklıklardaki aşırı artış veya azalmalar, derin deşarj durumlarında pilin depolama kapasitesini ve özelliklerini kaybetmesine neden olur. Uygulamalarda genellikle 12 V'luk bakım gerektirmeyen aküler tercih edilmektedir. Kurşun-asit ve jel aküler yaygın olarak kullanılmaktadır. Akülerden beklenen özellikler; uzun ömürlü olmaları, gaz çıkışı olmaması veya minimum seviyede tutulması, derin deşarj özelliği olması ve bunu yaklaşık 300-1.500 kez tekrarlayabilmeleri ve çok uzun süre su ilavesi ihtiyacının olmaması olarak özetlenebilir [2].

Akü depolama kapasitesinin büyüklüğü arka arkaya gelen güneşsiz günlerde sistemin kesintiye uğramayacağı şekilde tasarlanır. Depolama kapasiteleri kurulu sistemin büyüklüğüne, yükün enerji miktarına ve ihtiyaç süresine göre boyutlandırılır. Sistem

tasarlanırken kış aylarında güneşlenme süresinin kısalığı ve aküden çalışma süresinin uzunluğu göz önünde bulundurularak boyutlandırılmalıdır. Genelde 3 ile 6 gün arasında verilen otonomi süresi sayesinde olası bir arıza durumunda bakım ve servis sürecinde bir kesinti yaşanmaz. Güneş panelleri ile aküler arasında yer alan şarj kontrol üniteleri sayesinde aküler en uygun gerilim ve akım şarj kombinasyonu ile şarj edilir. Akünün ömrü şarj-deşarj çevrim sayısına göre hesaplanmakta olup, kullanıldığı ortam koşullarına, şarj cihazı şarj karakteristiğine göre değişiklik gösterir [2].

Uygulamada kullanılan farklı ebat ve formlarda akümülatör örnekleri Şekil 2.19’da gösterilmiştir.



Şekil 2.19: Örnek akü tipleri.

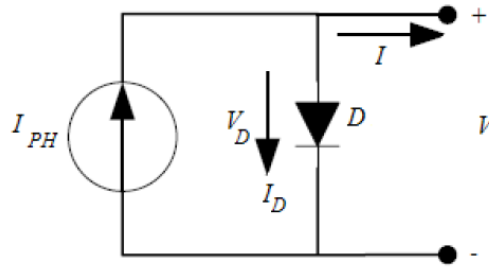
2.3 Fotovoltaik Güneş Pili Modelleri

Fotovoltaik sistemin farklı çalışma koşullarındaki performansını ortaya koymak üzere teorik matematiksel modeller oluşturulmuştur. Literatürde bu modeller, deneysel ve analitik modeller olmak üzere iki kısma ayrılır. Deneysel metotlar, fotovoltaik güneş pillerinin karakteristiklerini çıkarabilmek için çalışma bölgesinde uzun yıllar boyunca gözlemler yaparak sistemin performansının tespit edilmesi ve alınan veriler ile matematiksel formülasyonların ortaya koyulmasıdır. Fotovoltaik sistem tasarımı yapabilmek için panel üreticilerinin verdiği katalog değerleri yeterli olmamaktadır, çünkü bu değerler standart test koşulları için verilmiş olup, farklı ışınım, sıcaklık, hava kütlesi vb. için değişiklik göstereceklerdir. Bu problemi ortadan kaldırmak üzere standart test koşullarındaki değerleri referans alarak modeller oluşturulur. Fotovoltaik güneş pilleri için ortaya konmuş üç model bulunmaktadır. Bu modeller basitleştirilmiş model, tek diyotlu model, iki diyotlu modeldir

[40]. Tek diyotlu olan model üstel, iki diyotlu olan model çift üstel model olarak da geçmektedir. Tek diyotlu olan model, tek üstel ifade içerdiğinden, iki diyotlu modele göre daha basit yapıda olduğundan dolayı simülasyon çalışmaları için daha geniş bir kullanıma sahiptir fakat iki diyotlu olan model daha doğru sonuç vermekle birlikte çift üstel ifade içerdiğinden dolayı sıcaklık ve ışınım ile değişen parametrelerin hesaplanması daha zor olmaktadır.

2.3.1 Basitleştirilmiş Model

Fotovoltaik pillerinin en basit ve çözümü pratik olan elektriksel modeli Şekil 2.20’de gösterilen basitleştirilmiş modeldir. Çeşitli ihmaller yapılırsa güneş pillerinin, basitleştirilmiş elektriksel eşdeğer modeli, bir diyot ve bir akım kaynağından oluşur. Modelde akım kaynağı (I_{PH}) güneş ışınımı ile doğru orantılı olarak üretilen foton akımını ifade etmektedir. Güneş panelinin temelini teşkil eden yarı iletken yapı da bir diyot ile modellenmiştir [58].



Şekil 2.20: Basitleştirilmiş model.

Kirchhoff’un akım yasasını kullanarak,

$$I_{PV} = I_{PH} - I_D \quad (2.1)$$

ifadesi elde edilir. Bu denklemde;

I_{PV} panelin çıkış akımı, I_{PH} foton akımı, I_D diyot akımıdır.

Denklemden I_D diyot akımı,

$$I_D = I_S \left(\left(e^{\frac{V_{PV}}{m \cdot V_T}} \right) - 1 \right) \quad (2.2)$$

eşitliği ile verilebilir.

I_S diyotun ters yönde doyma akımı, V_{PV} panelin çıkış gerilimi, m diyot faktörü, V_T panelin uç gerilimidir.

V_T çıkış geriliminin değeri 25°C standart sıcaklıkta 25,7 mV olmaktadır.

2.3.2 Tek Diyotlu Model

Basitleştirilmiş model bir takım ihmaller yapılarak oluşturulmuştur. Bu ihmallerin en başında gerilim düşümleri ve kaçak akımlar gelmektedir. Tek diyotlu model, basitleştirilmiş modelde ihmal edilen gerilim düşümlerini ve kaçak akımları gösterebilmek için geliştirilmiştir. Şekil 2.21’de tek diyotlu elektriksel model verilmiştir [58].

Tek diyotlu modelde yer alan R_S seri direnci güneş pili üzerinde meydana gelen gerilim düşümlerini, R_P paralel direnci ise kaçak akımları temsil etmektedir. Şekil 2.21’de tek diyotlu modele ait devrede,

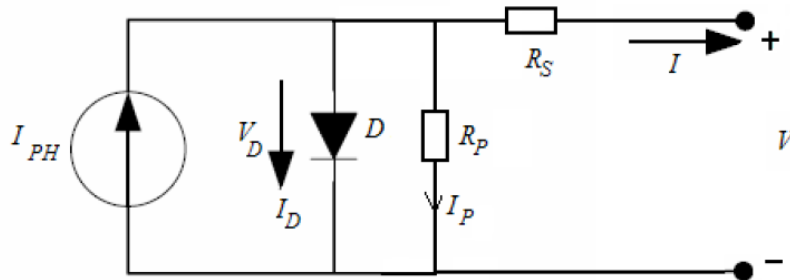
$$I_{PH} - I_D - I_P - I = 0 \quad (2.3)$$

olmaktadır. I_D , diyot akımı denklemde yerine yazılırsa,

$$I_{PH} - I_S \left(\left(e^{\frac{V}{m \cdot V_T}} \right) - 1 \right) - \frac{V + I \cdot R_S}{R_P} - I = 0 \quad (2.4)$$

elde edilir.

Basitleştirilmiş modelde elde edilen denklemin çözümü çok kolay olmasına rağmen tek diyotlu modelden elde edilen Denklem (2.4)’ün çözümü kolay değildir. Nümerik analiz yöntemlerinin kullanılması ile çözüme ulaşılır.

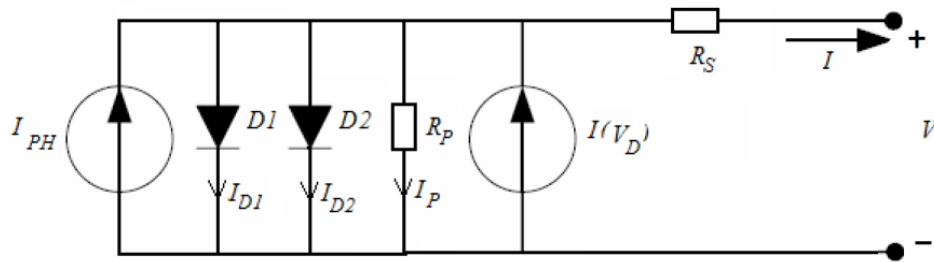


Şekil 2.21: Tek diyotlu elektriksel model.

Literatürde yer alan pek çok çalışmada enerji üretiminin tahmini için tek diyotlu model kullanılmıştır, ancak bu çalışmalar genellikle çok fazla giriş verisine ihtiyaç duymaktadır. Dolayısıyla tasarım aşamasında bu modelleri kullanmak verilere ulaşmak açısından problem çıkarmaktadır. Tek diyotlu model 5 parametrelilik model olarak da bilinmektedir.

2.3.3 İki Diyotlu Model

İki diyotlu modelin tek diyotlu modelden farkı, negatif gerilim altında fotovoltaik pildeki arıza durumunu da gösterebilecek yapıda olmasıdır. Elektriksel modelde görülen diyotların diyot faktörleri birbirinden farklıdır. Negatif gerilim altındaki arızayı modellemek üzere ikinci akım kaynağı kullanılmıştır. Şekil 2.22’de iki diyotlu elektriksel model yer almaktadır.



Şekil 2.22: İki diyotlu elektriksel model.

2.4 Meteorolojik Veriler

Sistemin kurulumu için belirlenen noktaya ait meteorolojik verilerin ölçümü yapılabileceği gibi, bu konuda profesyonel cihazlar ile ölçüm yapan kurum ve firmalardan da veri temin edilebilmektedir. Yapılan çalışmada Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, SARAH2 vb. resmi ve uluslararası kabul gören veri merkezlerinin verileri kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalarda özellikle direkt ve difüz radyasyon, sıcaklık ve rüzgar verileri saatlik çözünürlükte temin edilmiş ve kullanılmıştır.

2.4.1 Güneş Radyasyonu

Güneş radyasyonu, güneş enerji sistemlerinin enerji üretmek için kullandığı temel enerji kaynağıdır. Diğer meteorolojik veriler sadece panel verimini etkilemektedir. Atmosfer dışı güneş radyasyonu dünya ve güneşin konumu göz önünde bulundurularak teorik olarak hesaplanabilmektedir. Fakat atmosfer olayları nedeniyle hesaplanan radyasyonun sadece belirli bir kısmı yeryüzüne ulaşabilmektedir. Bu nedenle teorik hesaplamalar ile doğrudan sağlıklı sonuç elde etmek mümkün olamamaktadır. Bu yüzden yeryüzünde meteorolojik verilerin ölçülerek kayıt altına alınması veya kayıt altına alan kurum ve kuruluşlardan

verilerin temin edilmesi doğru hesaplama yapılabilmesi için gereklidir. Bu çalışmada, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden 2016-2020 dönemi saatlik ortalama güneş radyasyonu değerleri temin edilmiştir. Bununla birlikte NREL ve PVGIS-SARAH2 programı meteoroloji verileri de karşılaştırma ve hesaplamalarda kullanılmak üzere sistemden çekilmiştir. Ortam sıcaklığı ve rüzgar hızı verileri de hesaplamalarda kullanılmaktadır [4,54,59].

Tablo 2.1: Meteorolojik veri örneği (Toplam değer).

Aylık Toplam Radyasyon	MGM		PVWATT NREL		PVGIS-SARAH 2	
	Direkt Radyasyon (W/m ²)	Difüz Radyasyon (W/m ²)	Direkt Radyasyon (W/m ²)	Difüz Radyasyon (W/m ²)	Direkt Radyasyon (W/m ²)	Difüz Radyasyon (W/m ²)
Ocak	83.585	67.223	65.340	37.145	43.311	27.361
Şubat	86.610	75.645	73.542	42.193	76.105	41.158
Mart	89.147	41.052	116.322	60.802	93.894	57.087
Nisan	143.022	33.040	107.565	72.542	178.104	76.351
Mayıs	153.603	46.295	154.442	84.908	160.921	84.433
Haziran	191.627	51.043	204.975	70.696	211.293	77.477
Temmuz	253.676	102.386	216.082	67.440	238.461	81.950
Ağustos	204.645	62.968	199.112	62.588	169.645	78.963
Eylül	156.822	47.621	176.841	50.344	154.416	65.078
Ekim	132.011	52.509	117.551	49.288	120.697	49.501
Kasım	101.097	65.730	85.109	36.706	95.291	39.834
Aralık	93.583	67.978	44.691	33.502	73.766	31.207
Toplam	1.689.426	713.490	1.561.572	668.154	1.615.903	710.399

Tablo 2.2: Meteorolojik veri örneği (Pik değer).

Aylık Pik Radyasyon	MGM		PVWATT NREL		PVGIS-SARAH	
	Direkt Radyasyon (W/m ²)	Difüz Radyasyon (W/m ²)	Direkt Radyasyon (W/m ²)	Difüz Radyasyon (W/m ²)	Direkt Radyasyon (W/m ²)	Difüz Radyasyon (W/m ²)
Ocak	912	542	816	274	822	570
Şubat	905	550	899	324	869	321
Mart	849	478	936	409	948	471
Nisan	812	440	904	491	892	444
Mayıs	894	532	881	658	927	477
Haziran	915	557	876	477	934	475
Temmuz	935	581	875	475	923	469
Ağustos	877	565	853	424	885	430
Eylül	866	564	870	429	890	410
Ekim	930	493	858	398	903	332
Kasım	907	548	770	288	863	274
Aralık	889	521	710	260	817	250
Maksimum	935	581	936	658	948	570

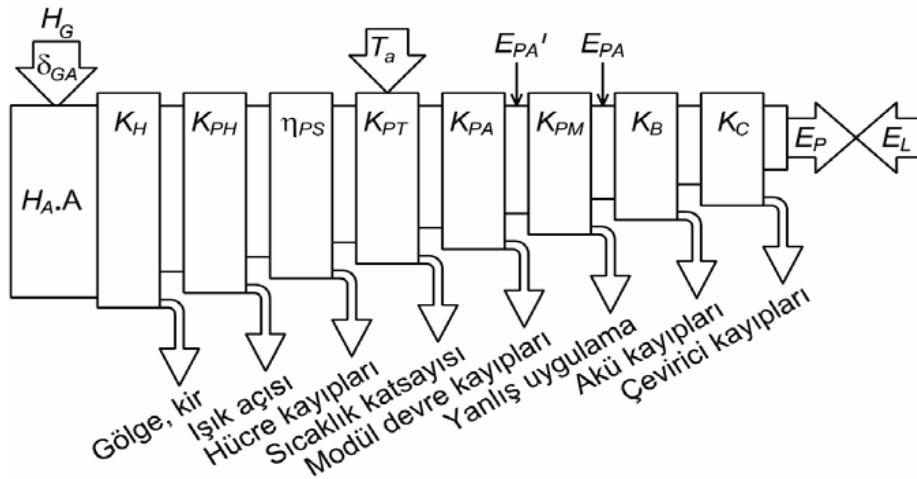
Tablo 2.1’de MGM, PVGIS-SARAH2 ve NREL örnek verilerinin aylık toplam radyasyonu, Tablo 2.2’de ise aylık pik değerlerin karşılaştırması yapılmıştır. Verilerin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Verilerdeki herhangi bir değişiklik sistemin enerji üretiminde etkisini doğrudan göstermektedir.

2.4.2 Sistem Kayıpları

Güneş enerji sistemlerinin verimi ve malzeme teknik özellikleri üretilen enerji miktarını doğrudan etkilemektedir. Sistemde kullanılan panellerin verimleri panelin yapımında kullanılan malzemeye, teknolojiye, ortam sıcaklığına ve panelin yaşına göre değişmektedir.

Projede kullanılacak panellere montaj yapılacak yere, alana, ihtiyaç olan güce ve bütçeye göre karar verilir. Yüksek enerji ihtiyacı olup, alan (m^2) sınırı olan yerlerde W/m^2 değeri yüksek olan daha verimli ama yüksek maliyetli panellerin kullanımı uygun görülmektedir. Ortam sıcaklığının yüksek olduğu yerlerde ise panel sıcaklık katsayısı düşük olan, sıcaklık ile verimi daha az düşen paneller tercih edilmektedir. Panel verimi de panel ömrü ile değişmekte olup, genellikle kurulduğunda %100, 10. yılda %90, 25. yılda %80 olarak kabul edilmektedir.

Bir güneş panelinin teorik olarak ürettiği enerjinin dış faktörler ve iç kayıplar ile fotovoltaik sistem çıkış uçlarından alınan enerjiye kadar sembolik kayıp şematığı Şekil 2.23’te gösterilmiştir.



Şekil 2.23: Fotovoltaik sistem kayıp şematığı.

Güneş enerji sistemlerinin verimliliği panel ve invertör veriminin yanında kurulum ve işletme şartlarına göre de değişiklik göstermektedir. Kurulumda montaj ve eğim açısına, kablo kesit ve mesafelerine, gölgelenmelere ve panel uyumluluğuna dikkat edilerek kayıplar

azaltılabilir. İşletmede de panellerin düzenli temizlik ve bakımları yapılarak maksimum verim ile çalışmalarını sağlanabilir. Kullanılan programlarda genel kayıplar %14 mertebesinde kabul edilmiş olup, ayrıntılı kayıp değeri tablosu Tablo 2.3'te belirtilmiştir.

Tablo 2.3: Kayıp değeri tablosu.

Kayıplar	Değeri (%)
Sistem Kayıpları	2
Kirlilik	3
Gölgeleme	2
Kar	2
Uyumsuzluk	2
Kablolama	0,5
Bağlantılar	1,5
Işık Kaynaklı Bozulma	1
Toplam	14

Panel temizliğinde saf su kullanılmasına, aşındırıcı kimyasalların kullanılmamasına dikkat edilmelidir. Kirlenme faktörü kurulum yapılan ortama ve yağış sıklığı ve yoğunluğuna göre değişim göstermektedir. Özellikle sanayi ve tarım bölgelerinde kirlilik fazla olduğundan temizlik maliyetleri ve kayıplar göz önünde bulundurularak optimum temizlik takvimi belirlenmelidir.

2.4.2.1 Fotovoltaik Modül Sıcaklık Etkisi

Fotovoltaik modülün üreteceği enerji, laboratuvar ortamında 25°C ve 1000W/m² radyasyon değeri için hesaplanarak katalog değerlerinde belirtilir. Panelin işletme şartlarındaki sıcaklık ve radyasyon değerlerine göre çok değişken olduğu için, panelin bu parametrelere göre üreteceği güçteki değişim belirli katsayılar ile katalog da belirtilmektedir. Bu sayede panelin üreteceği güç katalog değerleri üzerinden, Denklem (2.5) ve (2.6) bağıntıları ile hesaplanabilmektedir. Tablo 2.4'te modelde kullanılan GES'e ait panel karakteristik verileri belirtilmiştir.

Tablo 2.4: 250W'lık fotovoltaik panel teknik değerleri.

Panel Anma Değerleri		Sıcaklık Katsayıları	
Açık Devre Gerilimi (V_{ov})	38,00 V	Nominal Çalışma Hücre Sıcaklığı	45 °C + 2 °C
Maksimum Çalışma Gerilimi (V_{mp})	30,40 V	Kısadevre Akımı Sıcaklık Katsayısı	0,045%/ °C
Kısa Devre Akımı (I_{sc})	8,98 A	Açıkdevre Gerilimi Sıcaklık Katsayısı	-0,34%/ °C
Maksimum Çalışma Akımı (I_{mp})	8,22 A	Maksimum Güç Sıcaklık Katsayısı	-0,47%/ °C
STC'de Maksimum Güç (P_{max})	250 Wp	Güç Toleransı	0~ 3%
Modül Verimliliği	15,37%		
Çalışma sıcaklığı	-40 °C - + 85 °C		

$$T_c = T_a + \frac{NOCT-20}{0.8} G \quad (kW/m^2) \quad (2.5)$$

$$P_m(T_c) = P_{m,STC} [1 - \mu_p (T_c - 25)] \quad (2.6)$$

Tablo 2.5'te $NOCT=45$ °C, $P_{max}=250$ W, $\mu_p=0,47$ %/°C olan bir panelin 35 °C hava sıcaklığında hücre sıcaklığının $T_{cell}=66$ °C olduğu ve bunun sonucunda 225 W güç üretebildiği hesaplamalarda görülmektedir.

Tablo 2.5: Fotovoltaik panel sıcaklık – güç hesabı.

T_{amb} (°C)	NOCT (°C)	G (1000W/m ²)	T_{cell} (°C)	P_{max} (W)	μ_p (%/°C)	$P_{maxT_{cell}}$ (W)
35	45	1.000	66,25	250	0,47	225

Verilen eşitlikler ile panel kataloğunda belirtilen değerler kullanılarak panelin farklı sıcaklıklar için üreteceği enerji miktarı hesaplanabilmektedir.

2.4.2.2 Gölgeleme

Fotovoltaik sistemler gölgeleme konusunda hassastır. Bu sistemlerin büyük kısmında gölgelemeden dolayı yılda %5-%10 arasında verim kaybı yaşanmaktadır. Gölgelemeler geçici, yere/binaya bağlı ve doğal gölgelemeler olmak üzere üçe ayrılır.

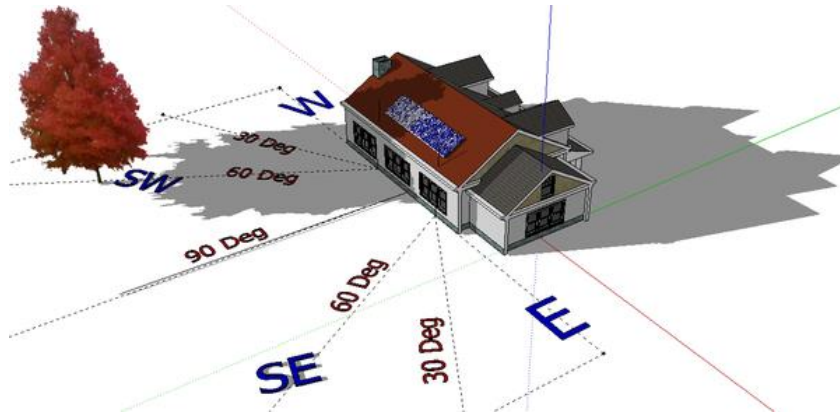
Geçici gölgelemelere; kar birikintisi, kuş pisliği, ağaç yaprağı, toz ve sanayi kirlilikleri örnek verilebilir. Kirlenme ve kirlenme faktörleri tesisin kurulduğu lokasyona bağlıdır. Tarım sahaları çevresinde toz, sanayi bölgelerinde yağlı toz, kuş popülasyonunun yoğun olduğu bölgelerde de kuş pisliği kirlilik olarak karşımıza çıkmaktadır. Kirlenme sıklığına, kirlenme

faktörlere ve yağış sıklığına göre değişmekle birlikte, normal şartlarda bir tesis için 19° ve üzerindeki panel montaj açılarında yağmur suyu sistemin kendi kendine temizlenmesini sağlayabilmektedir. Yağışın tek başına yeterli olmadığı durumlarda, dönemsel olarak sistemin, panel sıcaklığına yakın saf su ve uygun malzemeler kullanılarak temizlenmesi verim artışına katkı sağlamaktadır. Bazı geçici gölgelenme örnekleri Şekil 2.24’te paylaşılmıştır.



Şekil 2.24: Geçici gölgelenme örnekleri.

Yere/binaya bağlı gölgelenmelere; panellerin üzerine gölgesi vuran binalar, ağaçlar, direkler, antenler vb. örnek verilebilir. Yere bağlı gölgelenmeye örnek Şekil 2.25’te gösterilmiştir. Gölgeleme sürekli veya günün belli vakitlerinde olabilmektedir.



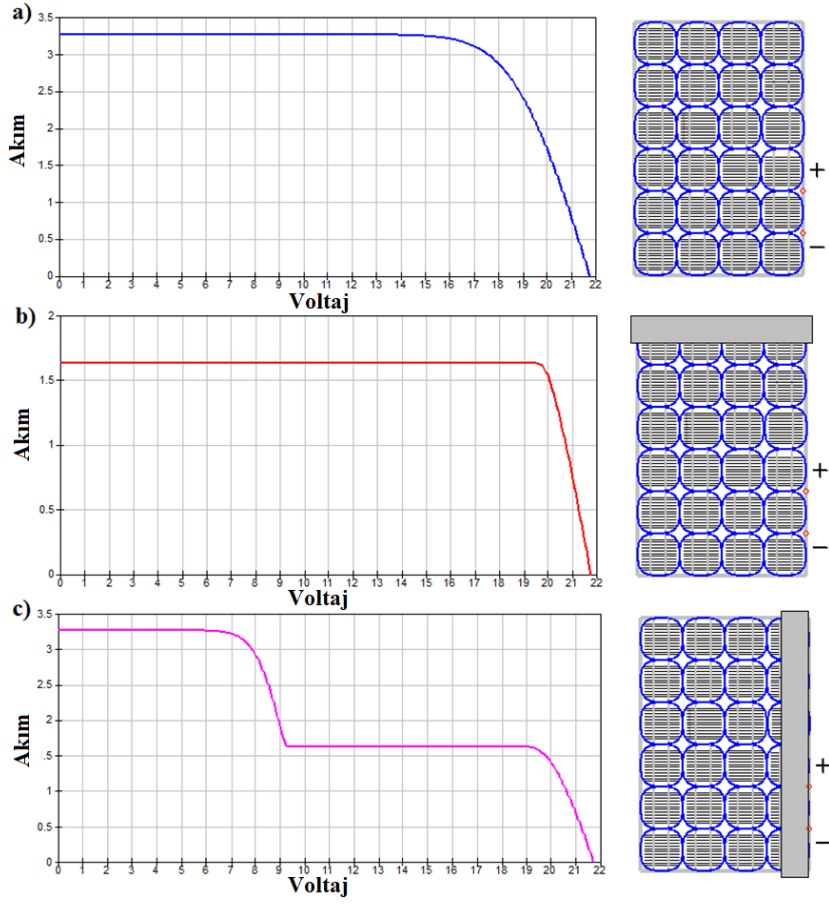
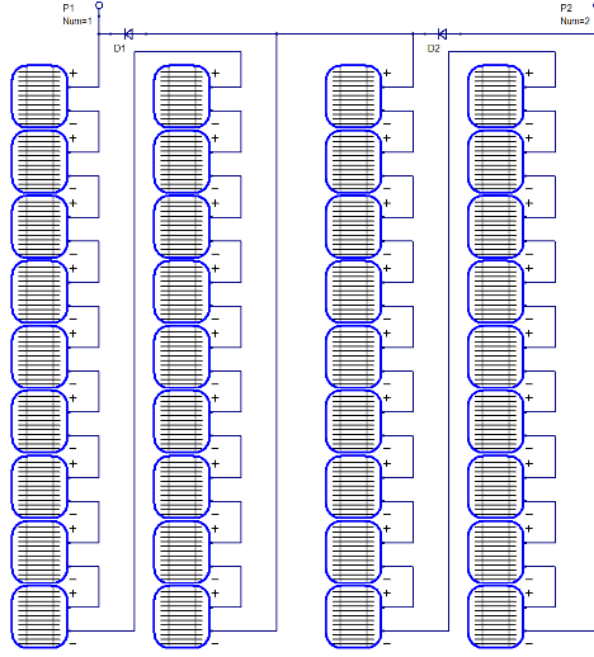
Şekil 2.25: Yere bağlı gölgelenme.

Doğal gölgelenmeler tesiste kurulumu yapılan panellerin birbirleri üzerine gölgelerinin düşmesi olarak değerlendirilmektedir. Şekil 2.26’da örnek bir panel gölgelenmesi gösterilmiştir. Özellikle günün ilk ve son saatlerinde etkisini gösterir. Etkisini azaltmak için panel aralıkları açılabilir fakat bu durumda da yer sıkıntısı oluşacağından ilgili kayıplar göze alınır.



Şekil 2.26: Doğal gölgelenme.

Panellerin üzerine gelen gölgenin etkisi, gölge kaynağının büyüklüğü ve panele olan uzaklığı ile değişmektedir. Cisim panele yaklaştıkça gölgenin koyuluğu, keskinliği ve buna bağlı olarak da paneldeki verim kaybı artmaktadır. Gölge kaynağının durumu ve gölgelenme süreleri tesisin tasarım aşamasında göz önünde bulundurularak, panellerin dikey ve yatay yerleşimi planlandığında verimin daha az düşmesi sağlanabilmektedir. Hücrelerin panel üzerindeki dizilimi ve bağlantı şekli örneği ve bu dizilime göre gölgelenmenin enerji üretimine etkisi Şekil 2.27’de gösterilmiştir. Örnekte seri bağlı 18 hücreden oluşan 2 paralel sıralı toplam 36 hücreli bir panel görülmektedir. Her iki gruptan ikişer adet seri bağlı hücrelerin bir bölümünün gölgelenmesi halinde panelin çıkış geriliminde düşüş gözlenmezken, çıkış akımında ciddi bir düşüş görülmektedir. Benzer şekilde iki paralel gruptan sadece birinin bir sırasının gölgelenmesi halinde panelin akım-gerilim karakteristiği değişmektedir.



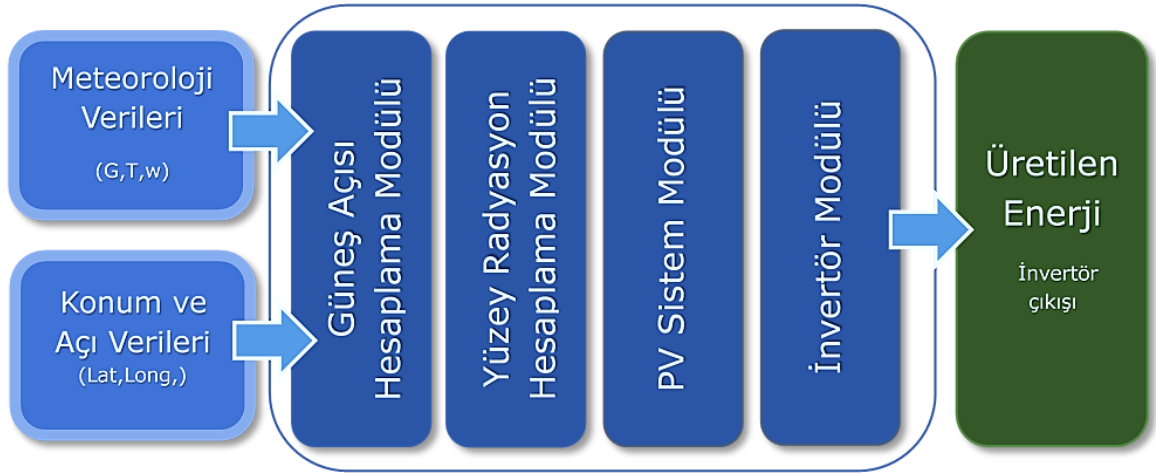
Şekil 2.27: Gölgelemenin panel üzerindeki etkisi.

3. FOTOVOLTAİK SİSTEMİN ANALİTİK MODELİNİN OLUŞTURULMASI

Fotovoltaik güneş enerji sistemlerinin verimliliğinin ölçülmesinde, güneş panelinin hangi şartlarda ne kadar güneş radyasyonu aldığı ve invertör çıkışından ne kadar enerji üretildiği önemlidir.

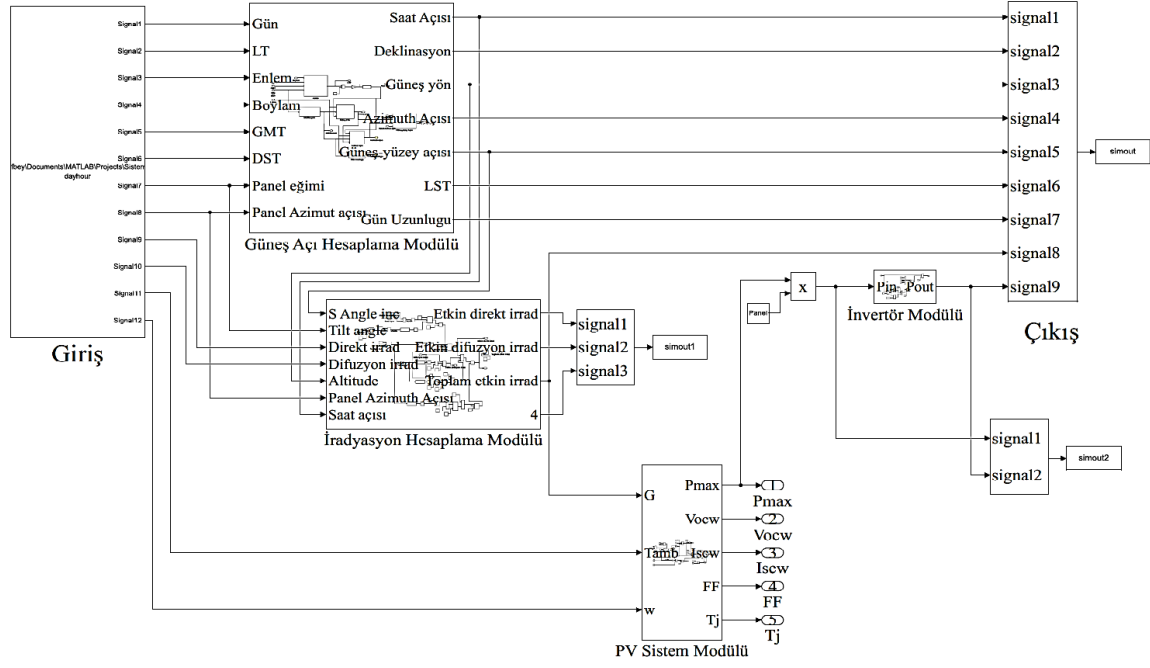
Burada üretilecek enerji miktarını etkileyen en önemli sistem girdisi, panelin maruz kalacağı radyasyon olup, ne kadar radyasyona maruz kalacağı da, panelin montaj yerine göre değişiklik gösteren enlem-boylama, eğim açısına ve montaj yönüne doğrudan bağlıdır.

Enerji üretimi tahmin modeli; Güneş konum hesaplama, Yüzey radyasyon hesaplama, PV sistem modeli ve invertör verim hesaplama modüllerinden oluşmaktadır. PV sistem modeline ilişkin blok diyagram Şekil 3.1’de verilmiş olup, modüllerin özellikleri alt başlıklar halinde açıklanmıştır. Modele saatlik meteoroloji ve ışımaya veri girişi yapılarak hesaplamalar yapılmakta, güneşin konumu, yüzeye gelen ışımaya miktarı, panel ve invertör çıkışı enerji üretimi değerleri saatlik olarak hesaplanabilmektedir.



Şekil 3.1: Fotovoltaik sistem modeli.

Tasarlanan sistemin modellenmesi Simulink üzerinde yapılmış olup, sistemin Simulink şeması Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2: PV sistem modeli Simulink şeması.

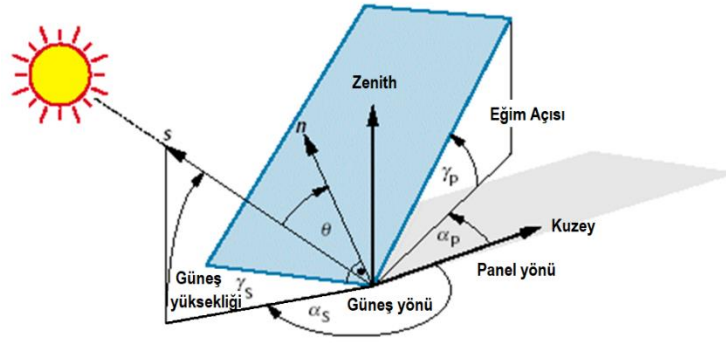
3.1 Güneş Açısı Hesaplama Modülü

Güneş enerji sisteminin konumu, dünyanın küresel şekli nedeni ile güneş ışınlarının geliş açısını ve üretilecek enerji miktarını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle güneş enerji sistemi modelinde konum bilgisi kullanılmaktadır.

Güneş enerji sistemi tarafından üretilen enerji, sistemin kurulu konumuna da bağlı olarak dünyanın güneş etrafındaki devinimi nedeniyle mevsimsel olarak değişmektedir. Mevsimlere göre panele gelen güneş açısı ve güneşlenme süresi değişmektedir. Bu nedenle güneş enerji sistemi modelinde tarih bilgisi kullanılmaktadır.

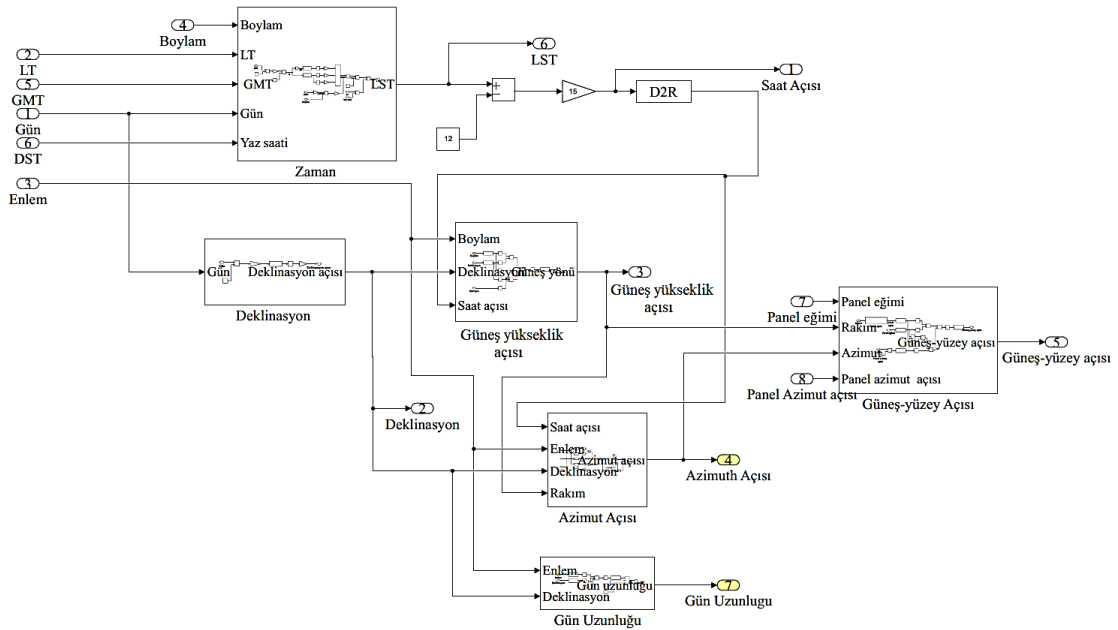
Belirlenen koordinatlar için dünyanın güneş etrafındaki devinimi ve gün içerisindeki güneş açısı, montajı yapılan güneş panel sisteminin eğimi ve istikamet açısı göz önünde bulundurularak yüzeye gelen radyasyon değeri hesaplanabilmektedir.

Panelin ve güneşin buldukları konuma göre yere ve birbirlerine göre açılarını gösteren örnek çizim Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3: PV panel yön ve açıları.

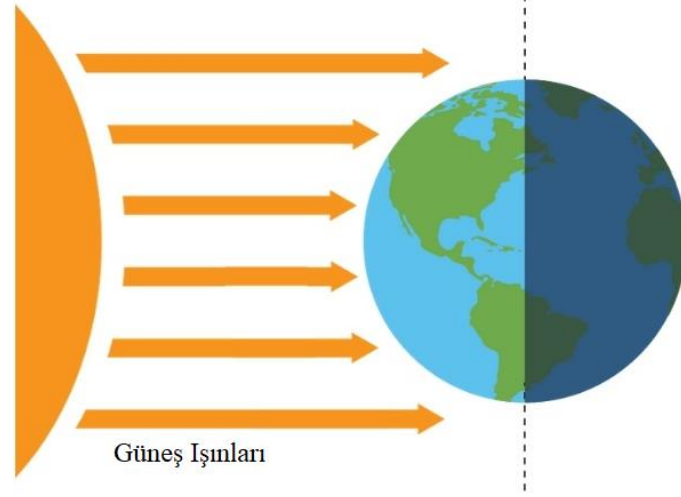
Modüle enlem, boylam, tarih, saat bilgisi girilerek güneşin bulunduğu yön (azimut) ve yükseklik (elevation) açıları, panelin yönü ve montaj açısı girilerek söz konusu panel için yüzeye gelen güneş ışınlarının geliş açısı hesaplanmaktadır. Bu parametrelere ek olarak saat açısı, yerel güneş saati ve gün uzunluğu da hesaplanmaktadır. Modüle ilişkin Simulink şeması Şekil 3.4’te belirtilmiştir.



Şekil 3.4: Güneş ve panel açıları hesaplama modülü.

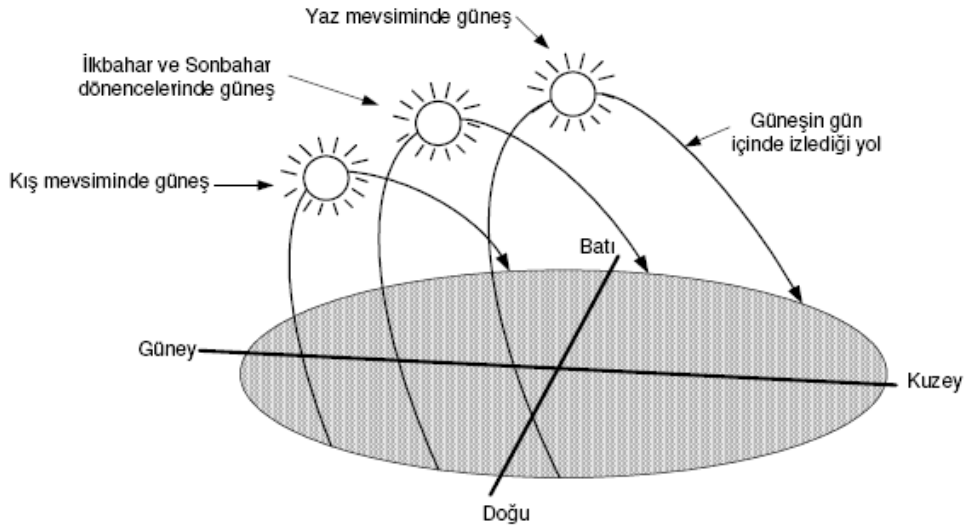
Analog model içerisinde yer alan güneş açısı hesaplama modülü ile yapılan hesaplamaların farklı program ve arayüzler ile karşılaştırma kontrolleri yapılmış, doğru sonuçlar verdiği görülmüştür.

Mevsime göre dünyaya gelen güneş ışınlarının yüzey normali ile yaptığı açı Şekil 3.5’te gösterilmiştir.



Şekil 3.5: Güneş radyasyonu açısının coğrafi konumla değişimi.

Güneşin mevsimlere göre gökyüzünde izlediği yol Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Mevsimlere göre güneş yükseklik açısı ve güneşlenme süresi değişmektedir. Yaz aylarında günler uzun, güneş yükseklik açısı değeri daha büyüktür.



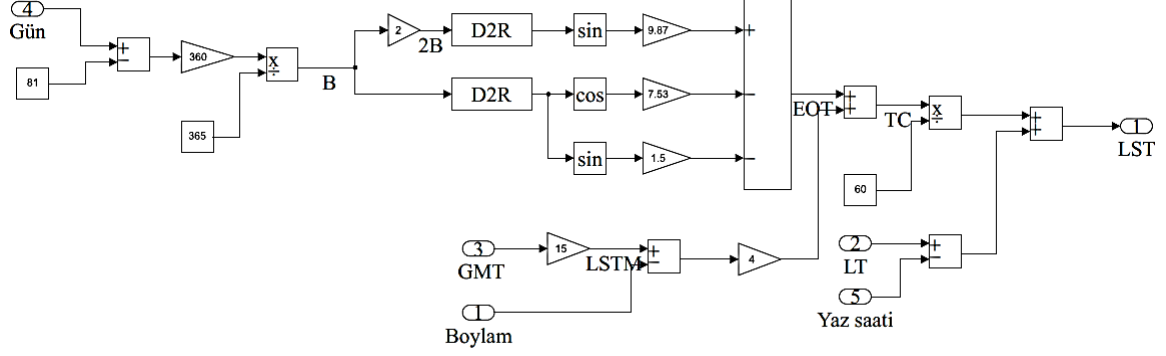
Şekil 3.6: Güneşin mevsimlere göre izlediği yol.

3.1.1 Yerel Güneş Saati

Yerel güneş saati (LST) gökyüzünde güneşin en yüksekte olduğu zaman, öğlen saat 12 olarak tanımlanır. Yerel saat (LT) genellikle yerel güneş saatinden (LST) farklıdır. Bu farklılık yer kürenin yörüngesinin dış merkezliliğinden, gün ışığından daha fazla yararlanmak için kullanılan yaz ve kış saati uygulamalarından ve zaman zonlarından dolayı meydana gelmektedir.

Yerel güneş açısı (LST); saat açısı (w), yerel saat (LT), yerel standart zaman meridyeni ($LSTM$), zaman eşitliği (EOT), saat düzeltme faktörü (TC) ve yılın günü (n) kullanılarak hesaplanır. Hesaplama bağıntısı Denklem (3.1)'de belirtilmiştir.

Yerel güneş açısına ilişkin Simulink şematiği Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.7: Yerel güneş saati.

$$LST = LT + \frac{TC}{60} \quad (3.1)$$

$$TC = 4 (LSTM - Longitude) + EOT \quad (3.2)$$

$$EOT = 9,87 \sin(2B) - 7,63 \cos(B) - 1,5 \sin(B) \quad (3.3)$$

$$B = \frac{360}{365} (n - 81) \quad (3.4)$$

$$LSTM = 15^\circ \times \Delta T_{GMT} \quad (3.5)$$

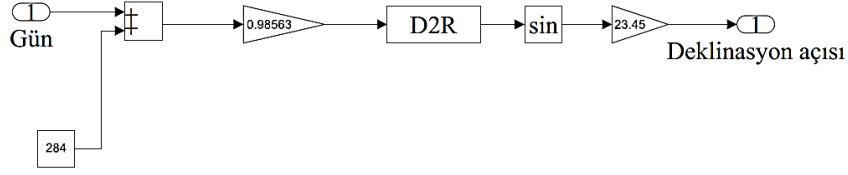
$$w = 15 (t_s - 12) \quad (3.6)$$

3.1.2 Deklinasyon Açısı

Dünya ekseninin $23,45^\circ$ eğimli oluşu ve hem kendi hem de güneş etrafındaki deviniminden dolayı yeryüzüne gelen ışınların yönü yıl boyunca değişim göstermektedir. 22 Mart ve 23 Eylül tarihlerinde deklinasyon açısı 0° dir. Deklinasyon açısı 21 Haziran'da $23,45^\circ$, 21 Aralık'ta $-23,45^\circ$ değerini alır. Deklinasyon açısı Denklem (3.7) bağıntısıyla hesaplanmakta olup, burada n yılın gününü ifade eder.

$$\delta = 23,45 \sin \left((284 + n) \frac{360}{365} \right) \quad (3.7)$$

Deklinasyon açısı Simulink şematiği Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8: Deklinasyon açısı.

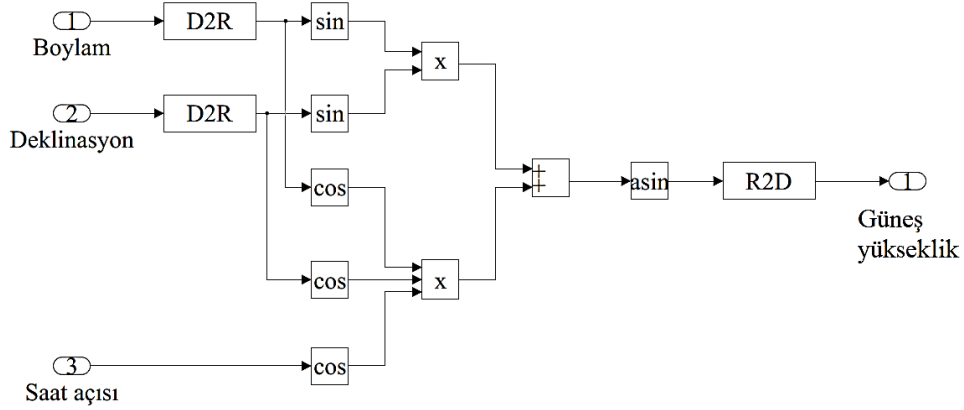
3.1.3 Güneş Yükseklik Açısı

Yükseklik açısı güneşin yatay düzlem ile yapmış olduğu açıyı ifade eder. Yükseklik açısı bulunan konumun enlemine, yılın dönemine ve günün saatine göre değişiklik göstermektedir. Yaz aylarında yükseklik açısı en büyük değerlerine ulaşır.

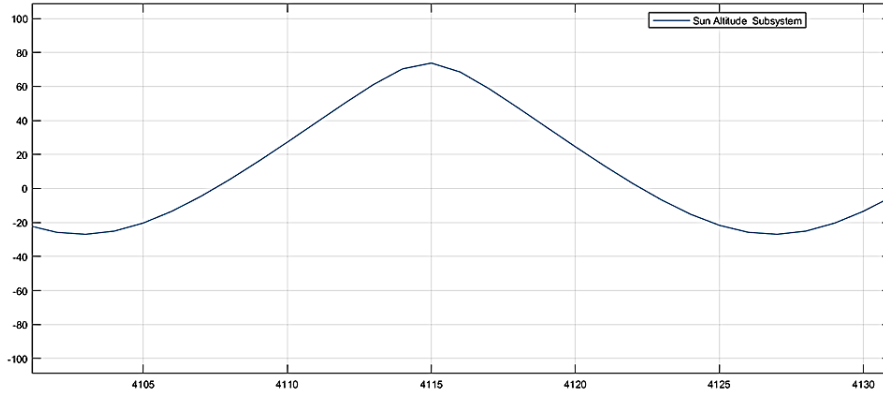
Güneş yükseklik açısı (γ_s); konuma ait enlem (φ), ilgili tarihteki deklinasyon açısı (δ) ve güneş saat açısı (ω) kullanılarak hesaplanır. Hesaplama bağıntısı Denklem (3.8)'de belirtilmiştir.

$$\gamma_s = \sin^{-1} (\sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos\omega) \quad (3.8)$$

Güneş yükseklik açısı Simulink şematigi Şekil 3.9'da, örnek Simulink sonucu Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.9: Güneş yükseklik açısı.



Şekil 3.10: Güneş yükseklik açısı Simulink sonucu örneği.

3.1.4 Güneş Yön Açısı

Azimut açısı güneşin bulunduğu doğrultunun kuzey yönüne olan açısını ifade eder. Kuzey yarım kürede güneş öğle saatinde 180° doğrultusunda bulunur.

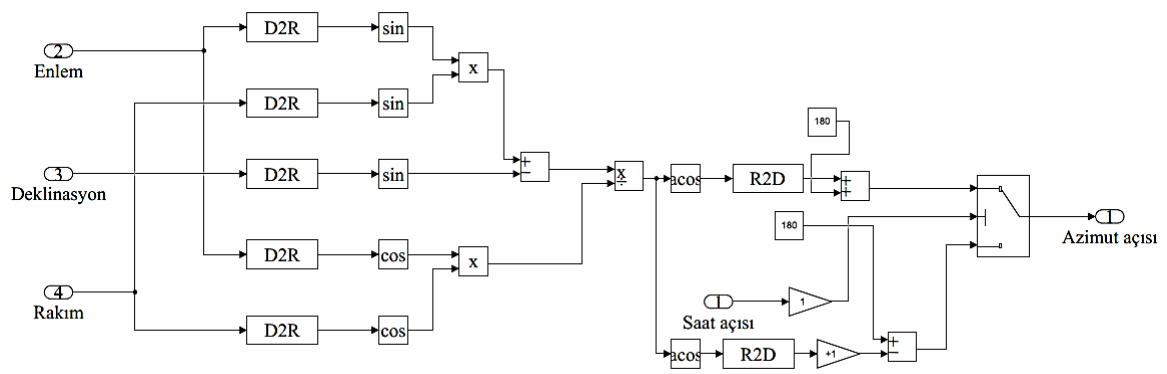
Güneş azimuth açısı (α_s); Güneş yükseklik açısı (γ_s), konuma ait enlem (φ), ilgili tarihteki deklinasyon açısı (δ) ve güneş saat açısı (ω) kullanılarak hesaplanır. Hesaplama bağıntısı Denklem (3.9)'da belirtilmiştir.

$$\begin{cases} \alpha_s = 180 - \cos^{-1}(\cos \alpha_s) & \text{Eğer } \sin \alpha_s < 0 \\ \alpha_s = 180 + \cos^{-1}(\cos \alpha_s) & \text{Eğer } \sin \alpha_s > 0 \end{cases} \quad (3.9)$$

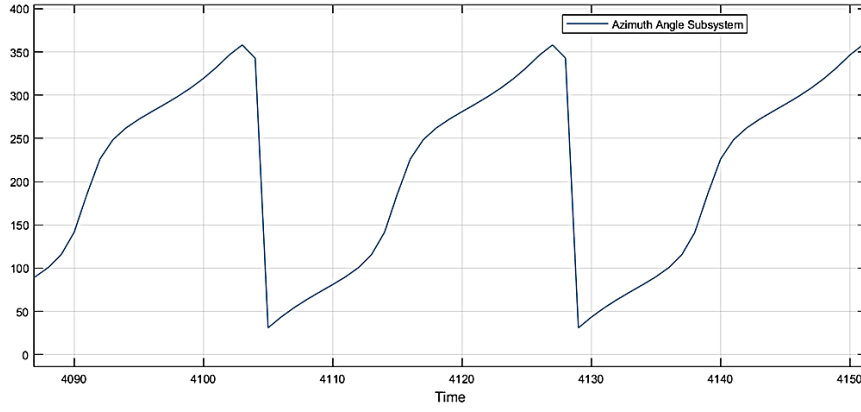
$$\cos \alpha_s = (\sin \varphi \sin \gamma_s - \sin \delta) / \cos \varphi \cos \gamma_s \quad (3.10)$$

$$\sin \alpha_s = \cos \alpha_s \sin \omega / \cos \gamma_s \quad (3.11)$$

Güneş yön açısı Simulink şematığı Şekil 3.11'de, örnek Simulink sonucu Şekil 3.12'de verilmiştir.



Şekil 3.11: Azimuth açısı.



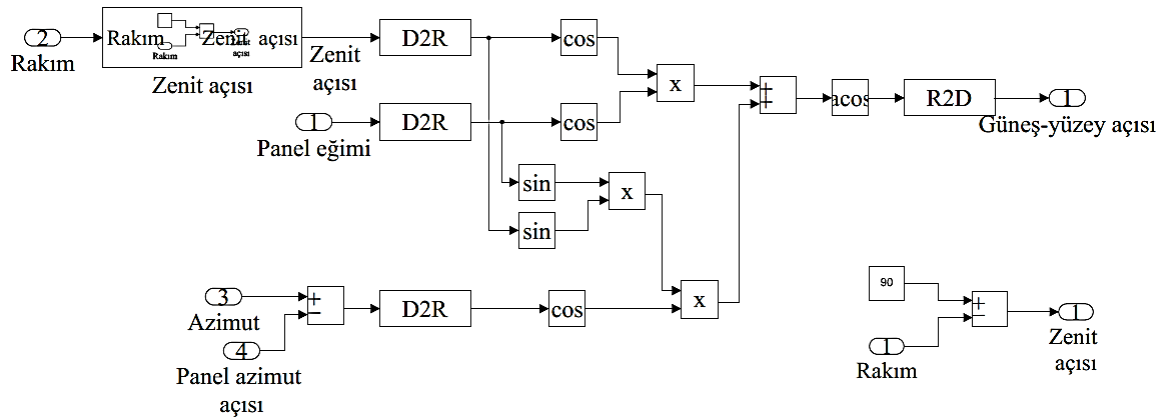
Şekil 3.12: Azimuth açısı Simulink sonucu örneği.

3.1.5 Güneş-Yüzey Açısı

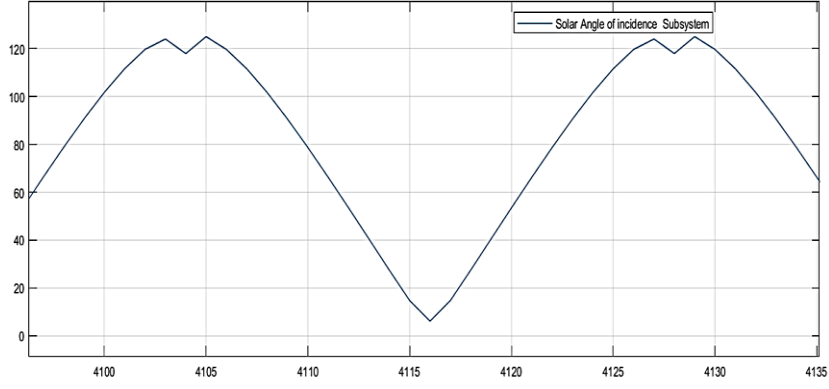
Fotovoltaik güneş enerji sistemlerinde üretilen enerji, güneş ışınlarının yüzeye geliş açısına doğrudan bağlıdır. Bu nedenle panel yüzeyine güneş ışınlarının mümkün olduğu kadar dik gelmesi istenir. Güneş yüzey açısı (θ); panel eğimi (β), güneş zenith açısı (Z_s), güneş azimuth açısı (α_s) ve panel azimuth açısı (α_m) kullanılarak hesaplanır.

$$\theta = \cos^{-1} [\cos \beta \cos Z_s + \sin \beta \sin Z_s \cos (\alpha_s - \alpha_m)] \quad (3.12)$$

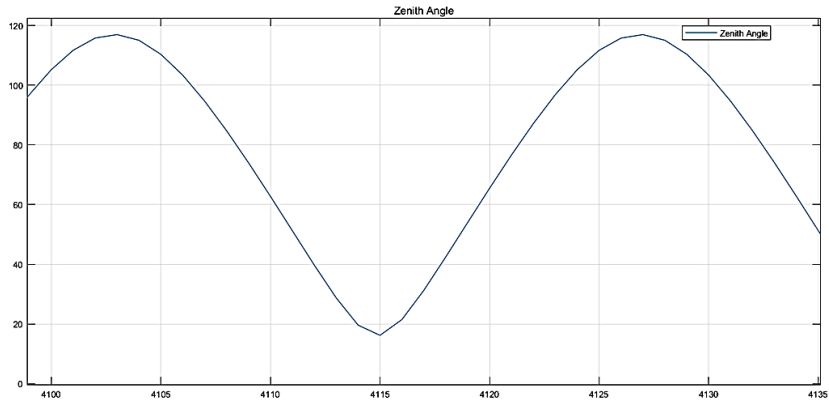
Güneş-yüzey açısı Simulink şematığı Şekil 3.11’de, örnek Simulink sonucu Şekil 3.14’te, zenith açısı değişimi Şekil 3.15’te verilmiştir.



Şekil 3.13: Güneş-yüzey açısı Simulink şeması.



Şekil 3.14: Yüzey güneş açısı değişimi.

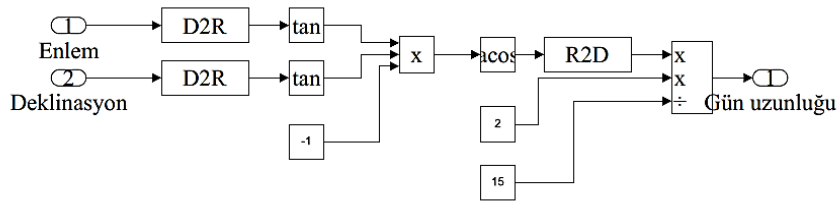


Şekil 3.15: Zenith açısı değişimi.

3.1.6 Güneşlenme Süresi

Güneşlenme süresi; güneşin doğuşu ile batışı arasında geçen süre yani gün uzunluğudur. 15 derece 1 saat olduğundan saat biriminde tam günlük güneşlenme zamanını bulmak için kullanılan Simulink modeli Şekil 3.16'da verilmiştir.

$$t_{dl} = \frac{2}{15} \arccos(-\tan \varphi \tan \delta) \quad (3.13)$$



Şekil 3.16: Güneşlenme süresi.

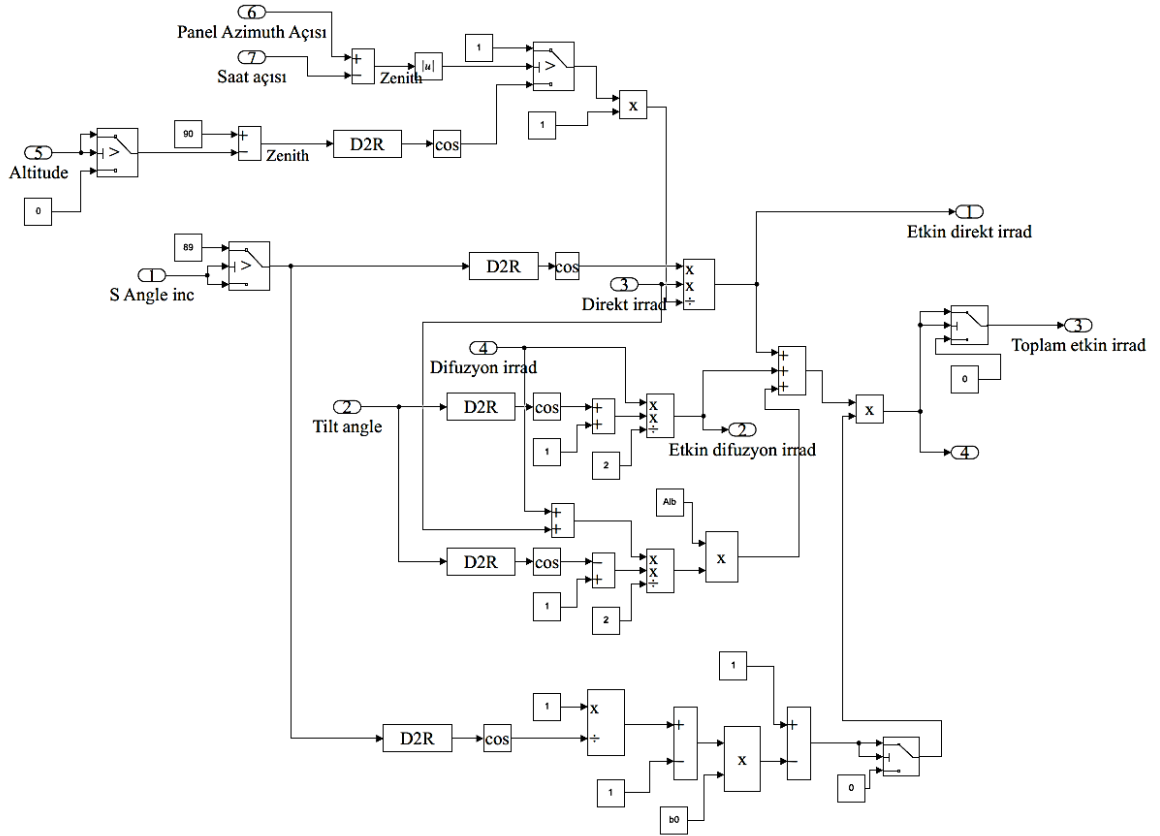
3.2 Yüzey Radyasyon Hesaplama Modülü

Etkin radyasyon hesaplama modülü, yeryüzüne gelen direkt ve difüz güneş radyasyonu değerlerini ve yüzeye gelen ışınların geliş açılarını kullanarak etkin radyasyon değerini hesaplamaktadır.

Toplam radyasyon direk, difüz ve yansıma radyasyon değerlerinin toplamına eşittir [8].

$$G_F = G_b^F + G_d^F + G_r^F = (GHI - DHI)R_b^F + DHI X_{F,sky} + GHI \rho_p X_{F,grd} \quad (3.14)$$

Modülün Simulink şeması Şekil 3.17’de verilmiştir.

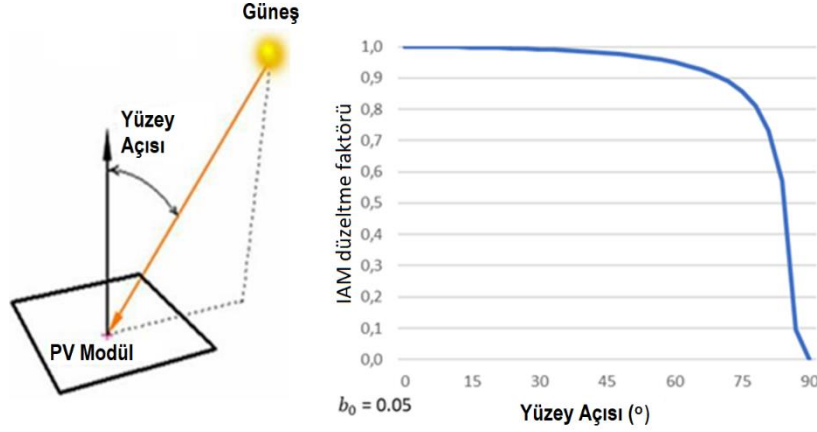


Şekil 3.17: Yüzey etkin radyasyon hesaplama modülü.

Panel yüzeyine gelen radyasyonun bir kısmı, yüzeye geliş açısına ve panel yüzeyindeki laminasyon katmanına bağlı olarak yansiyarak kayba uğramaktadır. Bu kapsamda panel üzerine gelen güneş radyasyonunun panele geliş açısı ile etkin değerinin değiştiği görülmüş ve bunun için ASHRAE IAM (Incidence Angle Modifier) düzeltme faktörü uygulanmıştır. IAM düzeltme faktörü hesaplama bağıntısı Denklem (3.15)’te verilmiştir.

$$IAM_B = 1 - b_0 \left(\frac{1}{\cos \theta} - 1 \right) \quad (3.15)$$

IAM düzeltme faktörü açisal değişim grafiği Şekil 3.18’de verilmiştir.



Şekil 3.18: IAM düzeltme faktörü.

3.3 PV Sistem Modülü

Güneş enerji sistemlerinin verimi ve malzeme teknik özellikleri üretilen enerji miktarını doğrudan etkilemektedir. Sistemde kullanılan panellerin verimleri panelin yapımında kullanılan malzemeye, teknolojiye, ortam sıcaklığına ve panelin yaşına göre değişmektedir.

Bu modelde panel üreticisi tarafından katalogta verilen V_{max} , V_{oc} , I_{sc} değerleri ve K_i , K_v , K_p katsayıları kullanılarak panelin farklı sıcaklık ve ışımaya değerleri için üreteceği maksimum gücün hesaplaması yapılmıştır.

Söz konusu modelde genel uygulamaya ilave olarak rüzgar hızının ve panelin yaşlanma kayıplarının da entegrasyonu yapılmıştır.

Tasarlanan model tek diyotlu model kullanarak fotovoltaik panel için katalog değerleri üzerinden panelin V-I ve P-V karakteristik eğrilerinin değişimini göz önünde bulundurarak, mevcut sıcaklık ve ışımaya değerlerindeki maksimum güç (P_{max}) değerini hesaplamaktadır. Hesaplama kullanılan bağıntılar Denklem (3.16), (3.17), (3.18) ve (3.19)’da verilmiştir.

Fotovoltaik panellerin çalışma karakteristikleri kataloglarında verilen değerler ve eğriler ile tanımlanmaktadır. Farklı ortam sıcaklıkları ve ışımaya değerlerinde söz konusu eğrilerde

değişiklik olduğundan, verilen katalog değerler ışığında panelin çalışma eğrilerinin oluşturulması ve her koşulda maksimum güç noktasının doğru tayini için PV sistem modeli ile çalışılmıştır.

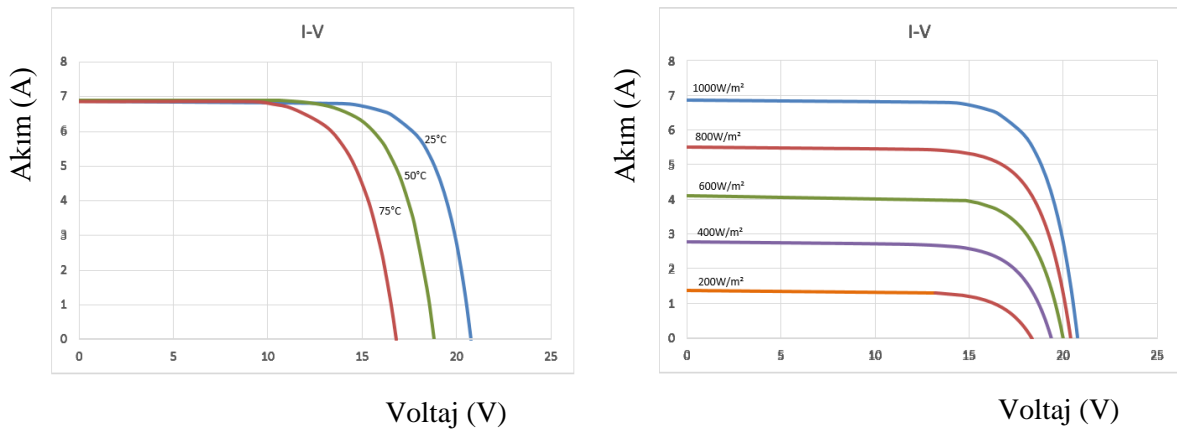
$$I_{scw} = [I_{sc} + K_i(T_{amb} - T_{ref})] \frac{G}{G_{ref}} \quad (3.16)$$

$$V_{ocw} = V_{oc} + K_v(T_{amb} - T_{ref}) \quad (3.17)$$

$$FF = \left(\frac{V_{opt} I_{opt}}{V_{oc} I_{sc}} \right) \quad (3.18)$$

$$P_{max} = FF V_{ocw} I_{scw} \quad (3.19)$$

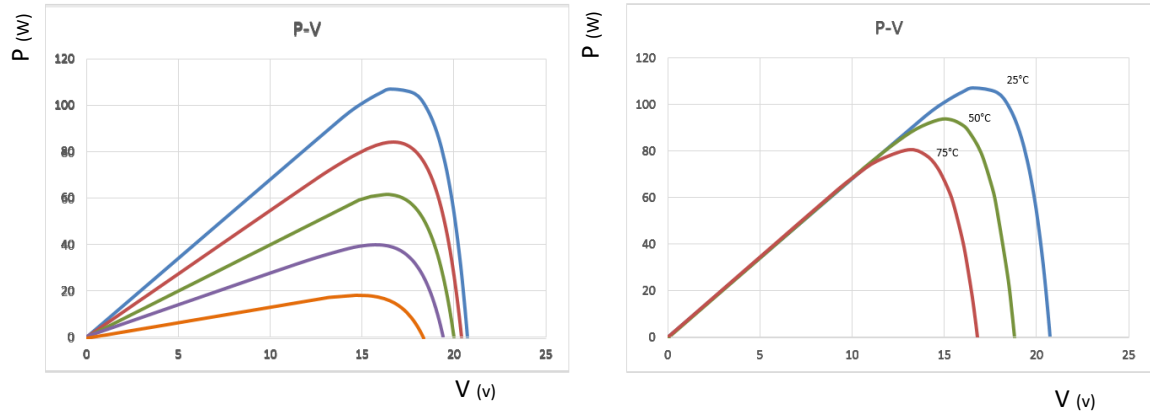
Panelin laboratuvar ortamında ideal şartlarda, 25°C ve 1000 W/m² solar radyasyon için üreteceği maksimum güç katalog değerlerinde belirtilmektedir. Modelde katalogta verilen K_i akım ve K_v gerilim katsayıları ile farklı sıcaklık ve ışıma değerleri için kısadevre akım (I_{sc}) ve açıkdevre gerilim (V_{oc}) değerleri hesaplanarak, maksimum güç noktası (P_{max}) bulunmaktadır. Sıcaklık ve ışıma ile panel I-V eğrisinin değişim grafiği Şekil 3.19'da gösterilmiştir.



Şekil 3.19: PV panel akım-gerilim ve güç-gerilim eğrisinin sıcaklık ile değişimi.

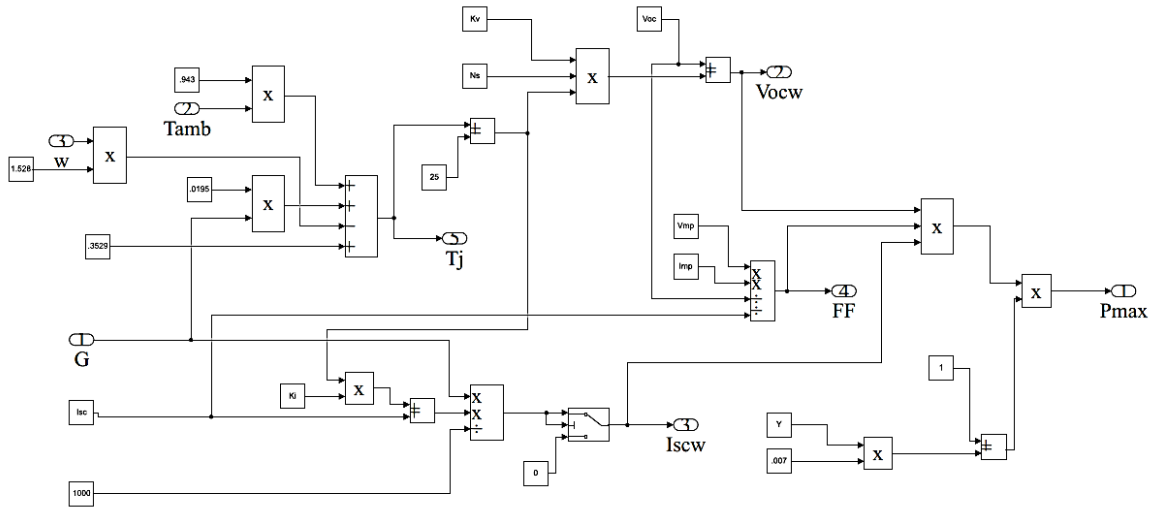
Güneş paneli hücre sıcaklığı (T_{cell}), ortam sıcaklığı (T_{amb}), ışıma miktarı (G) ve rüzgar hızına (V_{wind}) bağlı olarak ifade edilir. Hücre sıcaklığı arttıkça elde edilen güç değeri düşmektedir. Rüzgar hızının artması ise panelin soğumasına katkı sağladığı için verimi arttırmaktadır. Hücre sıcaklığının hesaplanmasına ilişkin bağıntı Denklem (3.20)'de verilmiştir. Maksimum güç noktasının ışıma ve sıcaklık ile değişim grafikleri Şekil 3.20'de belirtilmiştir.

$$T_{cell} = 0.943 T_{amb} + 0.0195 G - 1.528 v_{wind} + 0.3529 \quad (3.20)$$



Şekil 3.20: PV sistem P_{max} değerinin ışıma ve sıcaklık ile değişimi.

Maksimum güç noktasının hesaplanmasına ilişkin modülün Simulink şeması Şekil 3.21’de belirtilmiştir.



Şekil 3.21: PV sistem P_{max} hesaplama modülü.

Modelin hesaplamalarda kullandığı örnek veri tablosu Tablo 3.1’de verilmiştir. Burada gün, saat, enlem, boylam, saat farkı, eğim açısı, direk ve difüz radyasyon değerleri ile sıcaklık ve rüzgar verileri bulunmaktadır.

Tablo 3.1: Model giriş verileri.

Gün	Saat	Boylam	Enlem	GMT	DST	Eğim	Yön	Direkt Radyasyon	Difüzyon Radyasyon	Sıcaklık	Rüzgar
1	1	39,666	27,919	3	0	17	239	0,54	0,0	2,3	0,8
1	2	39,666	27,919	3	0	17	239	0,44	0,0	2,3	0
1	3	39,666	27,919	3	0	17	239	0,38	0,0	2,6	0,5
1	4	39,666	27,919	3	0	17	239	0,39	0,0	2,9	0,8
1	5	39,666	27,919	3	0	17	239	0,45	0,0	3,5	1
1	6	39,666	27,919	3	0	17	239	0,36	0,0	3,4	0,7
1	7	39,666	27,919	3	0	17	239	0,42	0,0	3,3	0,6
1	8	39,666	27,919	3	0	17	239	1,55	0,0	3,6	0,7
1	9	39,666	27,919	3	0	17	239	429,45	0,0	3,4	0,8
1	10	39,666	27,919	3	0	17	239	635,22	0,0	3,5	0,8
1	11	39,666	27,919	3	0	17	239	697,83	0,0	3,8	0,5
1	12	39,666	27,919	3	0	17	239	696,19	3,4	4,9	0,6
1	13	39,666	27,919	3	0	17	239	678,14	59,8	6,8	0,5
1	14	39,666	27,919	3	0	17	239	635,84	102,7	8,6	0,9
1	15	39,666	27,919	3	0	17	239	545,43	122,6	9,1	0,6
1	16	39,666	27,919	3	0	17	239	336,93	98,5	11,5	0,5
1	17	39,666	27,919	3	0	17	239	61,52	69,9	11,1	0,6
1	18	39,666	27,919	3	0	17	239	0,11	91,9	8,8	0,3
1	19	39,666	27,919	3	0	17	239	0,36	115,0	7	0,3
1	20	39,666	27,919	3	0	17	239	0,25	64,1	5,9	0,4
1	21	39,666	27,919	3	0	17	239	0,37	27,3	4,7	0,3
1	22	39,666	27,919	3	0	17	239	0,24	0,0	3,9	0,7
1	23	39,666	27,919	3	0	17	239	0,31	0,0	3,6	0,2
1	24	39,666	27,919	3	0	17	239	0,39	0,0	2,9	0,3

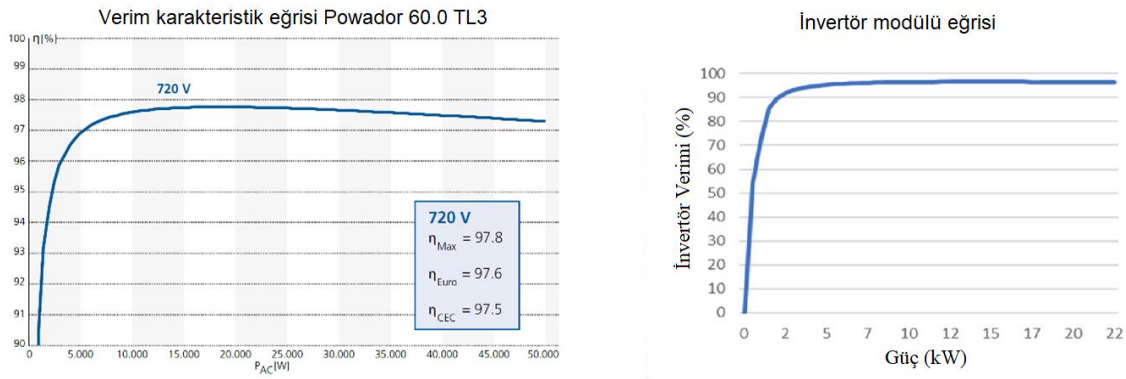
Modelin hesaplama sonucu örnek çıktı dosyası Tablo 3.2’de paylaşılmıştır. Burada saat açısı, deklinasyon açısı, güneş yükseklik ve yön açıları, yüzey-güneş açısı, gün uzunluğu, yüzeye gelen etkin radyasyon ve panel çıkış gücü verileri saatlik olarak görülmektedir.

Tablo 3.2: Model çıkış verileri.

Saat Açısı	Deklinasyon	Güneş Yükseklik	Yön	Yüzey açısı	LST	Gün Uzunluğu	Yüzey Etkin IR	Güç	Tarih
-163,85	-23,03	-68,46	44,22	141,79	1,08	9,25	0,00	0,00	1.1.19 1:00
-148,85	-23,03	-58,86	67,05	131,98	2,08	9,25	0,00	0,00	1.1.19 2:00
-133,85	-23,03	-47,77	80,94	121,72	3,08	9,25	0,00	0,00	1.1.19 3:00
-118,85	-23,03	-36,26	91,26	111,49	4,08	9,25	0,00	0,00	1.1.19 4:00
-103,85	-23,03	-24,78	100,18	101,60	5,08	9,25	0,00	0,00	1.1.19 5:00
-88,85	-23,03	-13,62	108,78	92,39	6,08	9,25	0,00	0,00	1.1.19 6:00
-73,85	-23,03	-3,01	117,72	84,19	7,08	9,25	0,05	0,00	1.1.19 7:00
-58,85	-23,03	6,71	127,53	77,41	8,08	9,25	0,23	0,00	1.1.19 8:00
-43,85	-23,03	15,14	138,67	72,51	9,08	9,25	1,22	0,00	1.1.19 9:00
-28,85	-23,03	21,77	151,44	69,93	10,08	9,25	28,27	644,64	1.1.19 10:00
-13,85	-23,03	25,99	165,82	69,94	11,08	9,25	49,47	1.229,10	1.1.19 11:00
1,15	-23,03	27,30	181,20	72,53	12,08	9,25	79,00	2.053,15	1.1.19 12:00
16,15	-23,03	25,52	196,48	77,44	13,08	9,25	57,36	1.469,33	1.1.19 13:00
31,15	-23,03	20,89	210,64	84,22	14,08	9,25	84,39	2.234,61	1.1.19 14:00
46,15	-23,03	13,95	223,15	92,43	15,08	9,25	0,00	0,00	1.1.19 15:00
61,15	-23,03	5,28	234,05	101,65	16,08	9,25	0,00	0,00	1.1.19 16:00
76,15	-23,03	-4,60	243,70	111,54	17,08	9,25	0,00	0,00	1.1.19 17:00
91,15	-23,03	-15,30	252,55	121,77	18,08	9,25	0,00	0,00	1.1.19 18:00
106,15	-23,03	-26,54	261,15	132,03	19,08	9,25	0,00	0,00	1.1.19 19:00
121,15	-23,03	-38,04	270,20	141,83	20,08	9,25	0,00	0,00	1.1.19 20:00
136,15	-23,03	-49,52	280,88	150,31	21,08	9,25	0,00	0,00	1.1.19 21:00
151,15	-23,03	-60,48	295,68	155,69	22,08	9,25	0,00	0,00	1.1.19 22:00
166,15	-23,03	-69,64	320,72	155,67	23,08	9,25	0,00	0,00	1.1.19 23:00

3.4 İnvörtör Modülü

PV sistemde yer alan invörtörler panellerin üretmiş olduğu DC enerjiyi en yüksek verim ile AC enerjiye dönüştürmek üzere tasarlanır. Bunun için sistemin her koşulda maksimum güç noktasında çalışması için gerilim ve akım değerleri anlık takip edilir. İnvörtör veriminin sürekli sabit olmadığı, özellikle belli bir değerin altında verimin hızla düştüğü görülmüştür. Güneşlenmenin az olduğu saatler ve durumlarda sistemin sabit kayıpları da önem kazanır ve verim değerlerinde düşme görülür. Şekil 3.22’de sistemde kullanılan invörtörün verim eğrisi ve modülün verim eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 3.22: Katalog ve modül invörtör verim eğrileri.

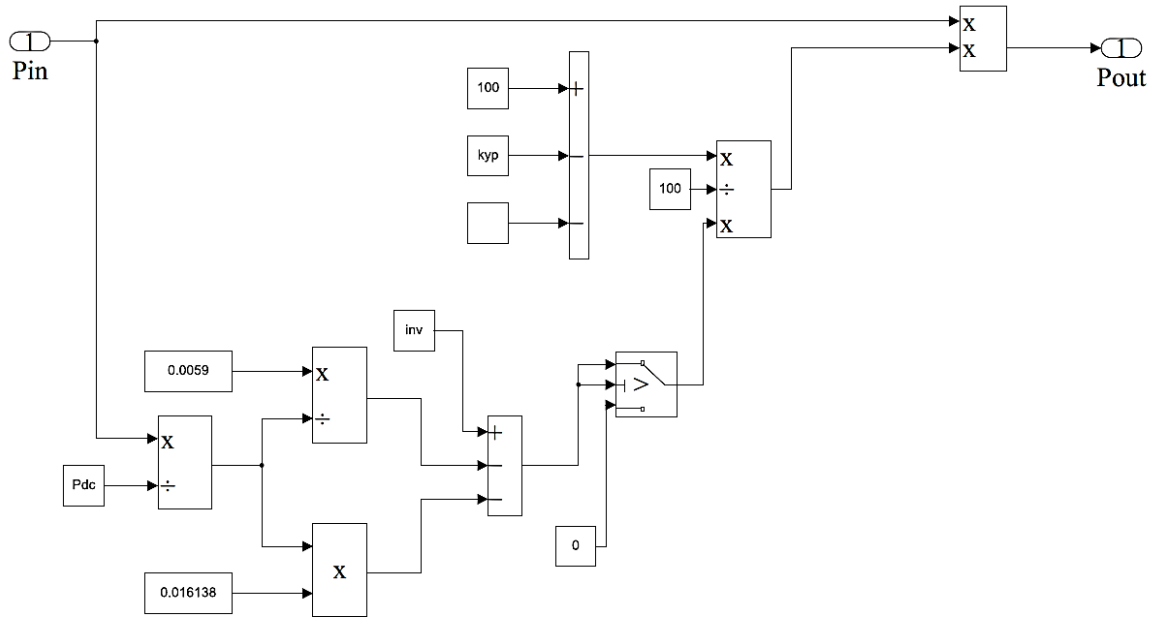
Anlık invörtör verim değeri optimum çalışma şartlarındaki giriş gücü ile anlık giriş gücü göz önünde bulundurularak Denklem (3.21), (3.22), (3.23) kullanılarak hesaplanır. Denklemde invörtör anlık verimi (η), invörtör maksimum verimi (η_{norm}), referans verim (η_{ref}), panel anlık gücü (P_{DC}), invörtör maksimum giriş gücü (P_{DC0}), invörtör maksimum çıkış gücü (P_{AC0}), DC güç oranı (ξ) ile gösterilmiştir.

$$\eta = \frac{\eta_{norm}}{\eta_{ref}} \left(-0.016138 \xi - \frac{0.0059}{\xi} + 0.9858 \right) \quad (3.21)$$

$$\xi = \frac{P_{DC}}{P_{DC0}} \quad (3.22)$$

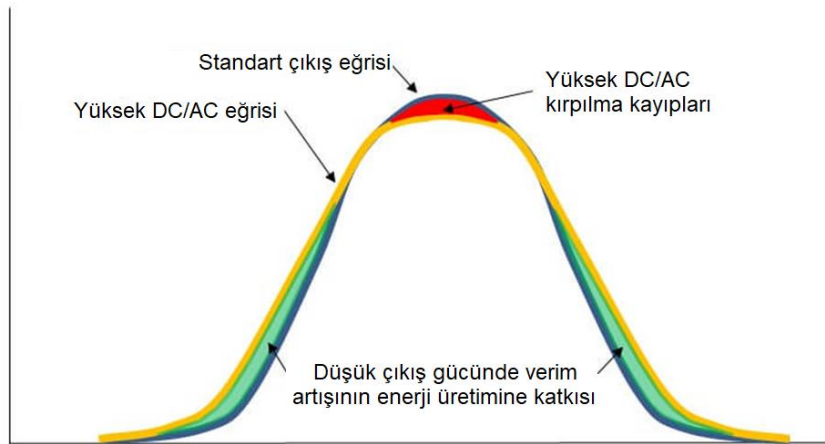
$$P_{DC0} = \frac{P_{AC0}}{\eta_{norm}} \quad (3.23)$$

Sistemin invörtör verimini ve sistem kayıplarını hesaplayan modül Şekil 3.23’te gösterilmiştir.



Şekil 3.23: İnvörtör ve sistem verim hesaplama modülü.

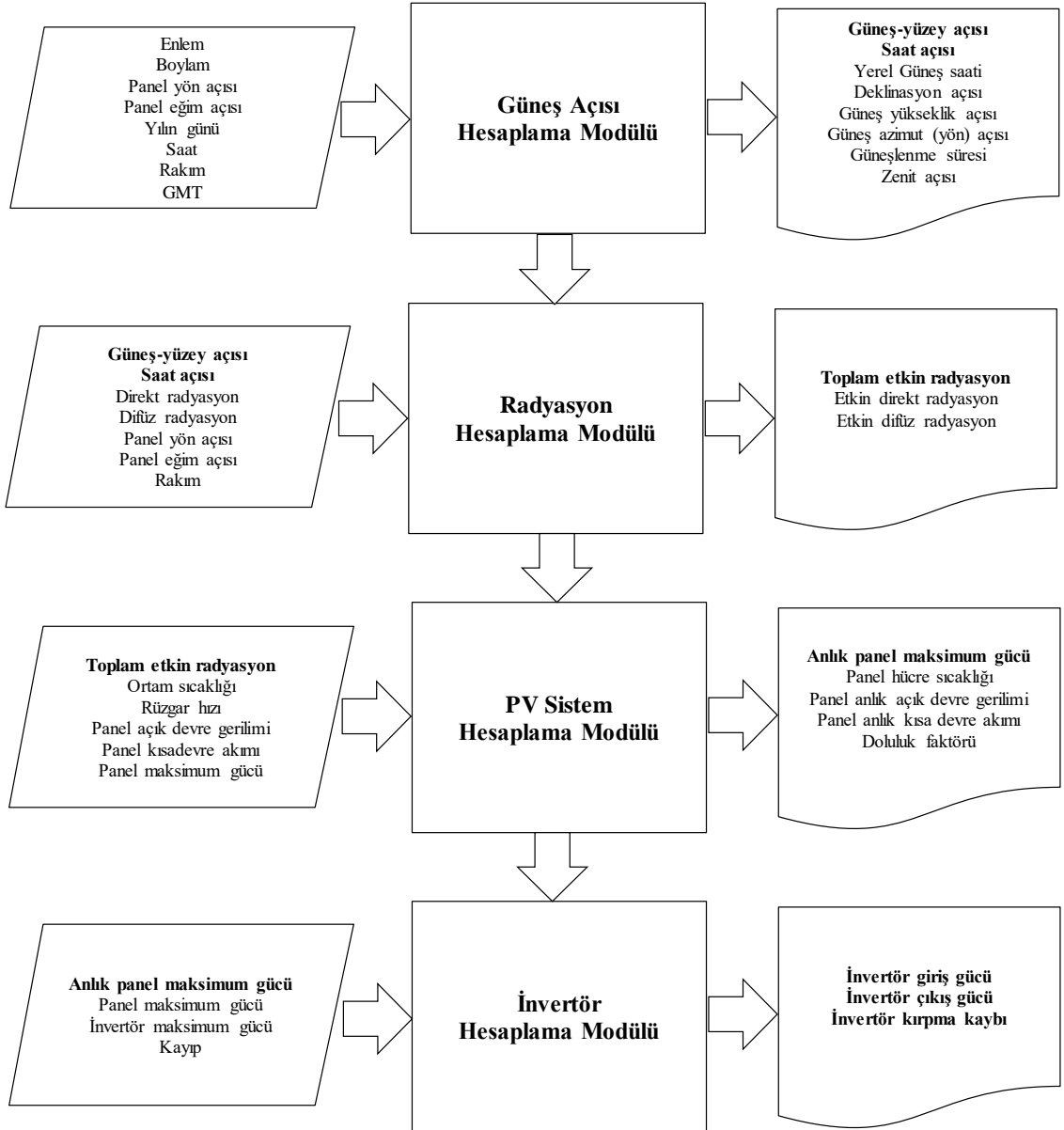
İnvörtör kırılma (clipping) kayıp değerleri sistem boyutlandırma önemli bir kriterdir. Sistemin elde edilecek maksimum güç değerine göre boyutlandırılması sistemi gereksiz büyütmekte ve ilk kurulum maliyetlerini yükseltmektedir. Bu nedenle invörtör gücü maksimum DC güce oranla yaklaşık olarak $DC/AC=1,2$ olacak şekilde seçilir. Bu sayede invörtör boyutu ve maliyeti düşer, aynı zamanda invörtörün yılın büyük bölümünde yüksek verimde çalışması sağlanır. DC/AC oranının sistem enerji üretimine etkisine ilişkin örnek grafik Şekil 3.24'te paylaşılmıştır.



Şekil 3.24: Sistem DC/AC oranı.

Modele, sistemde kullanılan invertör katalog değerlerinden maksimum DC güç değeri girilmektedir. Bu değer üzerindeki DC güç üretimlerinin ne kadar kayba neden olacağı bilgisi de hesaplanabilmektedir.

Analitik model sistem akış diyagramı Şekil 3.25'te paylaşılmıştır. Diyagramda modül giriş ve çıkış parametreleri ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.25: Analitik model sistem akış diyagramı.

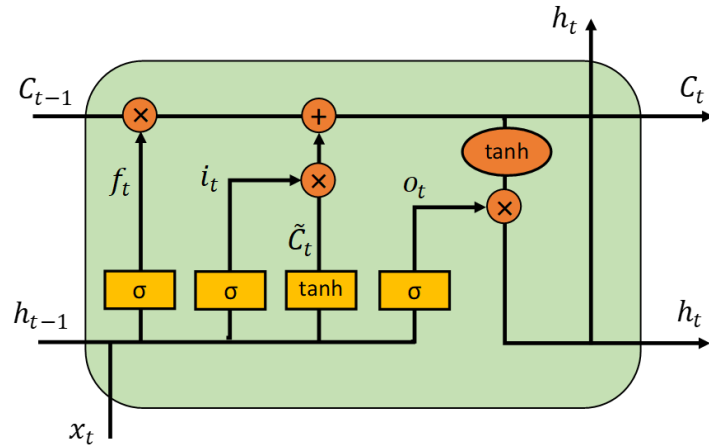
4. FOTOVOLTAİK SİSTEMİN DERİN ÖĞRENME İLE MODELİNİN OLUŞTURULMASI

Güneş enerji sistemlerinin enerji üretimlerinin hesaplanmasında birçok parametre ve formül kullanılmaktadır. Bu bölümde işlemlerin sadeleştirilmesi ve kolaylaştırılması için güneş enerji santrallerinin enerji üretimini sadece giriş ve çıkış parametrelerinin birbiri ile ilişkilendirilmesine dayalı olarak makine öğrenmesi metodu ile modellenmesi üzerinde çalışılmıştır.

4.1 Derin Öğrenmenin Yapısı

Uzun kısa süreli bellek (LSTM) sıralı verilerin modellenmesinde kullanılan Yinelemeli Sinir Ağı (RNN) algoritmanın gelişmiş bir türü olup, uzun vadede gerçekleşen işlemleri öğrenebilen bir algoritmadır. Geleneksel RNN, sıralı girdisi nedeniyle geçmiş girdileri öğrenebilmesine rağmen, uzun vadeli bağımlılıkları öğrenmek için yetersizdir. LSTM, geri beslemeli ağları sayesinde uzun vadeli bağımlılıkları yakalama konusunda daha yeteneklidir.

LSTM hücresinin temel yapısı Şekil 4.1'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1: LSTM mimari yapısı.

LSTM birbirini takip eden sıralı yapılardan oluşur. LSTM algoritmasının temel olarak üç kapısı vardır. Bu kapılar unut (f_t), giriş (i_t) ve çıkış (o_t) kapılarıdır. Unut kapısı (f_t) önceki bilgi ile son bilgi arasında analiz yaparak 0 ile 1 arasında bir değer üreterek, gelen bilginin unutulup unutulmayacağına karar verir. Giriş kapısı (i_t) hangi bilginin bellekte saklanacağına karar verir. Çıktı kapısı ise eski verilerin bir sonraki hücreye aktarılmasını sağlayan yapıdır, hangi bilginin çıktı olup olmayacağına bu kapı karar verir. Mevcut hücre

durumu C_t ile, önceki hücre durumu C_{t-1} ile ifade edilmektedir. h_t mevcut ve h_{t-1} önceki gizli durumlarıdır [59].

LSTM algoritmasının ilk adımı olan unut kapısı (f_t), X_t ve h_{t-1} girdilerini kullanarak nelerin silineceğine karar verir. Aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu (σ) kullanan bu işleme ilişkin ifade Denklem (4.1)'de verilmiştir. Burada t adım sayısını gösterir ve x_t girişi temsil eder. Ağırlık matrisi ve unutma kapısının yanlılığı sırasıyla W_f ve b_f olarak gösterilir.

$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f) \quad (4.1)$$

İkinci kapı yeni bilgilerin belirleneceği giriş kapısıdır. Bu kapıda Denklem (4.2)'de verilen i_t formülü kullanılarak sigmoid fonksiyonu ile bilgiler güncellenir. Burada ağırlık matrisi ve giriş kapısının yanlılığı W_i ve b_i olarak tanımlanır.

$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i) \quad (4.2)$$

Üçüncü aşamada yeni bilgiyi oluşturacak aday bilgiler \tanh fonksiyonu tarafından belirlenerek geçici hücre durumu C_t elde edilir. Geçici hücre durumu Denklem (4.3)'te verilmiştir. Burada, geçici hücre durumunun yanlılığı ve ağırlık matrisi sırasıyla b_c ve W_c olarak gösterilir.

$$\tilde{C}_t = \tanh(W_c \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_c) \quad (4.3)$$

Denklem (4.4) tarafından yeni bilgiler oluşturulur. Burada o eleman bazında çarpım sembolüdür.

$$C_t = f_t \circ C_{t-1} + i_t \circ \tilde{C}_t \quad (4.4)$$

Son aşamada çalışan çıkış kapısına ilişkin ifade Denklem (4.5)'te verilmiştir. Burada çıkış kapısının yanlılığı ve ağırlık matrisi b_o ve W_o olarak ifade edilir.

$$o_t = \sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o) \quad (4.5)$$

Sonuç olarak, Denklem (4.6) kullanılarak LSTM hücresinin çıktısı (h_t) hesaplanır. Burada \tanh teğet hiperbolik fonksiyondur. Burada, geçit faktörü 1'e yakınsa, birçok zamansal adımdan sonra eski hücre hafızası korunabilir. Bu arada, birçok zamansal adım için hatalar geriye doğru akmaya devam eder. RNN'ye kıyasla gradyan yok olma probleminden

kaçınarak doğrusal olmayan sistemi modelleme yeteneğini geliştirir [59].

$$h_t = o_t \circ \tanh(C_t) \quad (4.6)$$

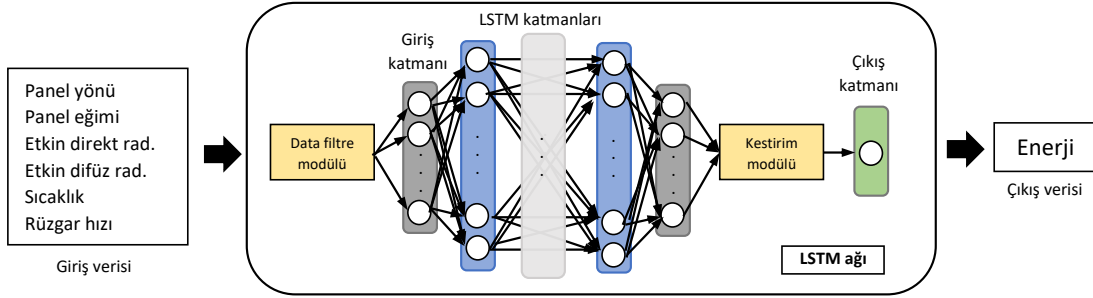
Bu süreç tekrarlanarak devam eder. Ağırlık (W) ve yanlılık (b) parametreleri gerçek eğitim değerleri ile LSTM çıktı değerleri arasındaki fark minimum olacak şekilde model tarafından öğrenilmektedir.

4.2 Derin Öğrenme ile Modelleme

Derin öğrenme modelinin amacı, model çıktısı olarak elde edilmesi istenilen değer, en verimli, en doğru ve en hızlı şekilde tahmin edilmesidir.

Giriş parametresi olarak yüzeye gelen etkin direkt radyasyon, etkin difüz radyasyon, sıcaklık ve rüzgâr verileri kullanılmış, çıkış parametresi olarak üretilen enerji miktarı hesaplanmıştır.

Güneş enerjisi santrali enerji üretim modelinde, direkt ve difüz radyasyon, sıcaklık, rüzgâr hızı, panel yönü ve açısı girdileri arasında doğal bir korelasyon vardır. Bu nedenle, doğal bağımlılıkları modellemek için bir LSTM derin öğrenme yaklaşımı ele alındı. LSTM tabanlı enerji üretim tahmini için MATLAB programı kullanılmıştır. Tasarlanan derin öğrenme ağı Şekil 4.2'de sunulmuştur.



Şekil 4.2: PV sistem LSTM mimarisi.

Giriş parametresi olarak panelin yönü, eğimi, yüzeye gelen etkin direkt radyasyon, etkin difüz radyasyon, sıcaklık ve rüzgâr verileri kullanılmış, çıkış parametresi olarak üretilen enerji miktarı hesaplanmıştır. LSTM katmanının durum ve kapı aktivasyon fonksiyonları \tanh ve sigmoid (σ) olarak seçilmiştir. LSTM katmanının gizli birimleri 100 olarak seçilmiştir. Mini yığın boyutu 64'tür. Giriş ve çıkış verilerinin normalizasyonu için Denklem (4.7) kullanılmıştır.

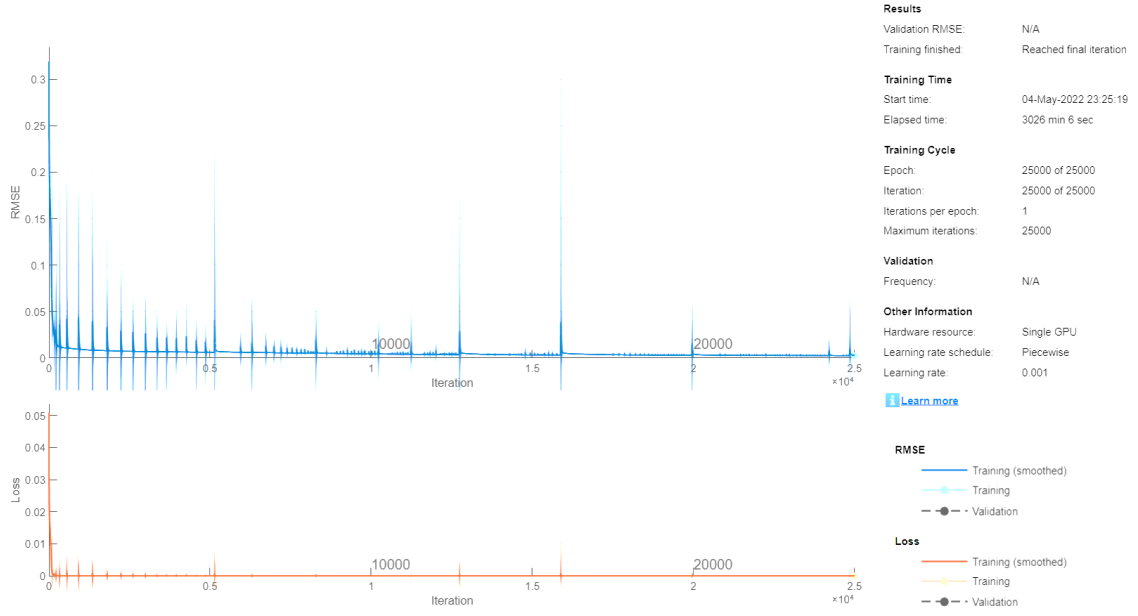
$$x_{norm} = \frac{x}{x_{maks}} \quad (4.7)$$

Burada x , gerçek veriyi, x_{norm} , x 'in normalize edilmiş değerini ifade eder. Önerilen LSTM gözlemcisinin (LSTMO) tahmin performansı, RMSE kullanılarak ölçülmüş olup tanımı Denklem (4.8)'de verilmiştir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2} \quad (4.8)$$

Burada x_i gerçek veriyi, y_i tahmin edilen veriyi ve N zaman serisi numarasını ifade etmektedir.

Bu bilgiler ışığında, derin öğrenme modeli için 39.7N kuzey, 27.9E doğu koordinatlarında kurulu 100 kWp gücünde bir güneş enerji santrali olduğu varsayılmış ve tüm hesaplamalar bu sistem için yapılmıştır. PVGIS programı ile SARA2 meteoroloji veritabanı 2019 yılı verileri kullanılarak yatayda 360° ve düşeyde 90° için 30 derecelik aralıklarla hesaplamalar yapılmıştır. Panel eğim açısı (slope) için 0-30-60-90° açıları için veri setleri kullanılmıştır. Panel yön açısı (azimut) 0-30-60-90-120-150-180-210-240-270-300-330° açıları için veri setleri kullanılmıştır. Farklı açı kombinasyonları için hesaplanan enerji üretim verileri 25.000 iterasyon ile modele öğretilmiştir. Şekil 4.3'te derin öğrenme iterasyon ilerleme grafiği ve Tablo 4.1'de derin öğrenme iterasyon tablosu gösterilmiştir.



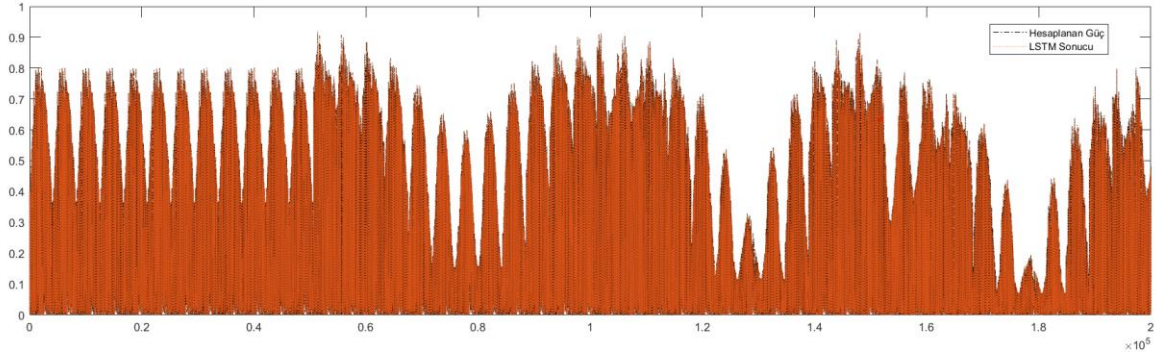
Şekil 4.3: Derin öğrenme iterasyon grafiği.

Tablo 4.1’den de görüleceği üzere 25.000 iterasyon sonucunda RMSE değeri %0,29 olarak elde edilmiştir.

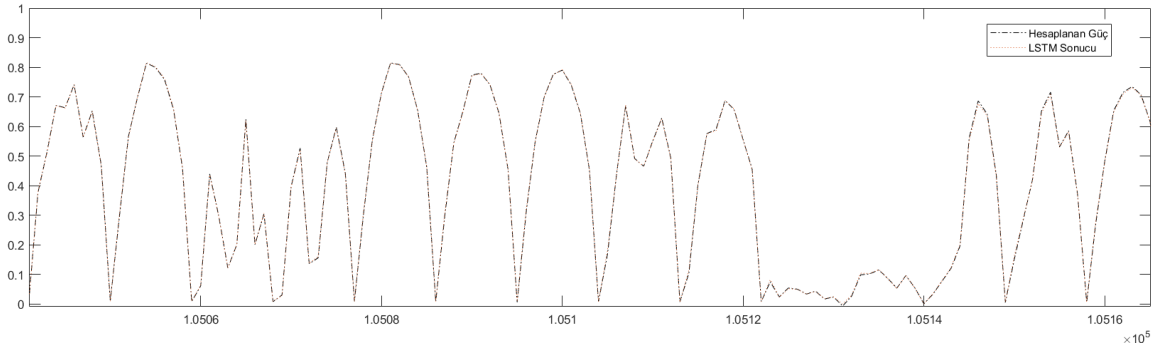
Tablo 4.1: Derin öğrenme iterasyon tablosu.

Iteration	Time Elapsed (hh:mm:ss)	Mini-batch RMSE	Mini-batch Loss	Base Learning Rate	Mini-batch RMSE (%)
1	00:00:13	0,32	5,10E-02	0,001	32,00%
50	00:05:56	0,15	1,10E-02	0,001	15,00%
100	00:11:59	0,05	1,30E-03	0,001	5,00%
150	00:18:02	0,03	3,20E-04	0,001	3,00%
200	00:24:05	0,02	1,60E-04	0,001	2,00%
250	00:30:08	0,01	9,90E-05	0,001	1,00%
300	00:36:08	0,01	7,60E-05	0,001	1,00%
350	00:42:11	0,01	9,50E-05	0,001	1,00%
400	00:48:14	0,01	6,60E-05	0,001	1,00%
450	00:54:17	0,01	6,20E-05	0,001	1,00%
500	01:00:21	0,01	5,90E-05	0,001	1,00%
550	01:06:24	0,04	9,90E-04	0,001	4,00%
600	01:12:27	0,01	6,00E-05	0,001	1,00%
650	01:18:30	0,01	5,50E-05	0,001	1,00%
700	01:24:33	0,01	5,20E-05	0,001	1,00%
750	01:30:37	0,01	5,00E-05	0,001	1,00%
800	01:36:40	9,81E-03	4,80E-05	0,001	0,98%
850	01:42:43	9,62E-03	4,60E-05	0,001	0,96%
900	01:48:46	9,43E-03	4,40E-05	0,001	0,94%
950	01:54:49	0,01	5,50E-05	0,001	1,00%
1000	02:00:52	9,43E-03	4,40E-05	0,001	0,94%
24000	48:24:49	2,83E-03	4,00E-06	0,001	0,28%
24050	48:30:52	2,62E-03	3,40E-06	0,001	0,26%
24100	48:36:55	2,58E-03	3,30E-06	0,001	0,26%
24150	48:42:58	2,67E-03	3,60E-06	0,001	0,27%
24200	48:49:01	6,24E-03	1,90E-05	0,001	0,62%
24250	48:55:05	3,04E-03	4,60E-06	0,001	0,30%
24300	49:01:08	2,71E-03	3,70E-06	0,001	0,27%
24350	49:07:11	2,62E-03	3,40E-06	0,001	0,26%
24400	49:13:14	2,57E-03	3,30E-06	0,001	0,26%
24450	49:19:17	2,54E-03	3,20E-06	0,001	0,25%
24500	49:25:20	2,52E-03	3,20E-06	0,001	0,25%
24550	49:31:27	2,51E-03	3,20E-06	0,001	0,25%
24600	49:37:42	2,50E-03	3,10E-06	0,001	0,25%
24650	49:43:45	2,52E-03	3,20E-06	0,001	0,25%
24700	49:49:48	2,53E-03	3,20E-06	0,001	0,25%
24750	49:55:51	2,75E-03	3,80E-06	0,001	0,28%
24800	50:01:55	2,48E-03	3,10E-06	0,001	0,25%
24850	50:07:58	8,17E-03	3,30E-05	0,001	0,82%
24900	50:14:01	3,57E-03	6,40E-06	0,001	0,36%
24950	50:20:03	3,16E-03	5,00E-06	0,001	0,32%
25000	50:26:06	2,90E-03	4,20E-06	0,001	0,29%

Şekil 4.4'te, derin öğrenme modelinin üretim tahmin sonuçları ile PVGIS programı üretim tahminlerinin toplu karşılaştırması yapılmıştır. Şekil 4.5'te her iki tahmin sonucunun iki haftalık dönem için ayrıntılı kesiti paylaşılmıştır. Grafiklerden de görüldüğü üzere derin öğrenme modeli PVGIS program sonuçları ile yüksek doğrulukla örtüşmektedir.



Şekil 4.4: Derin öğrenme model sonucunun giriş verileri ile yıllık karşılaştırılması.



Şekil 4.5: Derin öğrenme model sonucunun giriş verileri ile iki haftalık karşılaştırılması.

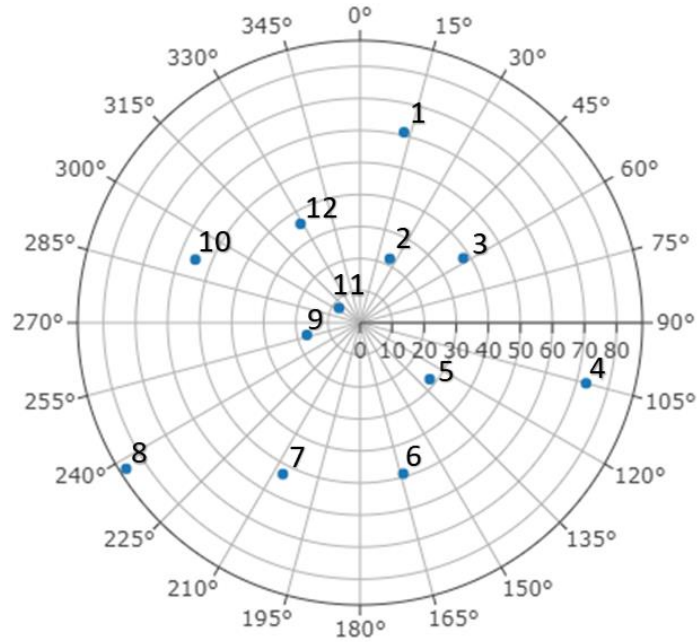
4.3 Derin Öğrenme Modelinin Test Edilmesi

Derin öğrenme modelinin 2020 yılı verileri ile yatayda 360°, düşeyde 90° olmak üzere 30°'lik aralıklar ile tüm açıların testi yapılmış olup sonuçlar PVGIS programı 2020 yılı üretim tahmin sonuçları ile karşılaştırılmış ve Tablo 4.2'de sunulmuştur. Bu sayede modelin farklı açıları için elde edilen sonuçlarının da doğruluğu test edilmiştir. Karşılaştırma tablosu incelendiğinde derin öğrenme modeli ile PVGIS tahmin programı sonuçlarının sonucunda sistemin hata değerinin açıya bağlı olarak %0-%0,43 aralığında değiştiği görülmüştür.

Tablo 4.2: Derin öğrenme modeli 2020 yılı verileri ile tüm açılar için test sonuçları.

Eğim Açısı (°)	Azimuth Açısı (°)	Üretilen Enerji (kWh)	Derin Öğrenme Tahmini (kWh)	Hata (%)
0	0	126.924	126.998	-0,06%
	30	126.924	126.983	-0,05%
	60	126.924	126.949	-0,02%
	90	126.923	126.906	0,01%
	120	126.923	126.867	0,04%
	150	126.923	126.840	0,07%
	180	126.923	126.831	0,07%
	210	126.923	126.842	0,06%
	240	126.923	126.875	0,04%
	270	126.923	126.928	0,00%
	300	126.924	127.002	-0,06%
	330	126.924	127.096	-0,14%
	30	0	144.109	144.105
30		140.866	140.894	-0,02%
60		131.771	131.812	-0,03%
90		118.456	118.481	-0,02%
120		103.336	103.318	0,02%
150		90.426	90.465	-0,04%
180		85.745	85.567	0,21%
210		89.803	89.949	-0,16%
240		102.548	102.586	-0,04%
270		117.599	117.540	0,05%
300		130.999	130.874	0,10%
330		140.492	140.297	0,14%
60		0	131.703	131.798
	30	127.736	127.714	0,02%
	60	115.904	115.836	0,06%
	90	97.986	97.856	0,13%
	120	76.040	76.124	-0,11%
	150	54.920	55.018	-0,18%
	180	44.889	44.822	0,15%
	210	54.350	54.332	0,03%
	240	75.621	75.665	-0,06%
	270	97.578	97.576	0,00%
	300	115.542	115.626	-0,07%
	330	127.658	127.664	0,00%
	90	0	90.059	90.124
30		88.979	89.064	-0,09%
60		81.456	81.416	0,05%
90		66.932	66.859	0,11%
120		47.826	47.938	-0,23%
150		30.232	30.249	-0,05%
180		20.899	20.854	0,21%
210		29.575	29.449	0,43%
240		47.324	47.398	-0,16%
270		66.601	66.631	-0,04%
300		81.441	81.481	-0,05%
330		89.297	89.220	0,09%

Derin öğrenme modelinin öğrenmede kullanılan açılar dışında farklı açılar için de testi yapılmış olup açılara ilişkin grafik Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.6: Derin öğrenme modeli SARA2 2020 verileri ile farklı açılar için testi.

Tablo 4.3’te rasgele açılar için test sonuçlarına ilişkin karşılaştırma tablosu verilmiş olup, tablo incelendiğinde hata oranının %0,01 ile %1,2 aralığında değiştiği ve derin öğrenme modeli ile kararlı ve doğru sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

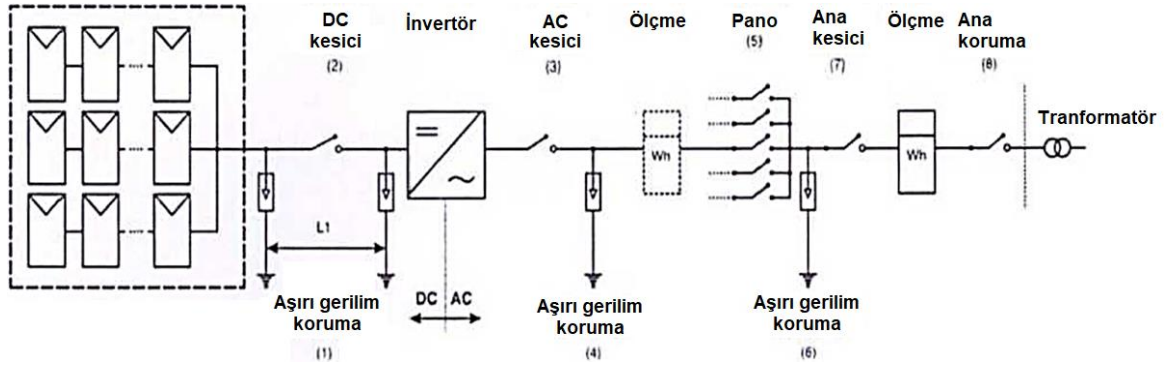
Tablo 4.3: Rasgele açılar için test sonuçları.

Test No	Azimuth Açısı (°)	Eğim Angle (°)	Üretilen Enerji (kWh)	Derin Öğrenme Tahmini (kWh)	Hata (%)
1	13	61	130,02	130,30	-0,22%
2	25	22	140,70	140,84	-0,11%
3	58	38	130,28	130,29	-0,01%
4	105	73	74,93	75,82	-1,20%
5	129	28	101,05	101,16	-0,11%
6	164	49	61,68	61,39	0,48%
7	207	53	60,13	60,02	0,18%
8	238	86	49,66	50,24	-1,18%
9	257	17	118,98	118,99	-0,01%
10	291	55	114,75	114,82	-0,06%
11	305	8	130,64	130,55	0,07%
12	329	36	139,89	139,85	0,03%

5. 54 kWp GÜCÜNDE GES ENERJİ ÜRETİMİNİN HESAPLANMASI

Balıkesir ilinde yer alan şebekeye bağlı güneş enerji santralleri ile ilgili araştırmalar yapılmıştır. Balıkesir Küçük Sanayi Bölgesi'nde bir işletmenin çatısında uygulaması yapılmış olan 54 kWp gücünde bir güneş enerji santralinde incelemelerde bulunulmuştur. Tesisin 2016 ile 2020 yılları arasında aylık enerji üretim verileri temin edilmiş ve çalışmalar bu veriler üzerinden yapılmıştır.

Güneş enerji santralinin elektriksel tasarımı Şekil 5.1'de belirtilmiştir.



Şekil 5.1: Güneş enerji santrali elektriksel şeması.

Güneş enerji santralinde 250 W maksimum güçlü BYD 250P6-30 modeli güneş enerji panelleri ve Powador 33.0 TL3 model invertör kullanılmıştır. Kullanılan panel ve invertörlere ilişkin katalog bilgileri Tablo 5.1'de, ürün resimleri Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Üretilen enerji işletme ihtiyacını karşılamakta, üretim fazlası enerji şebekeye verilerek enerji satışı yapılmaktadır.



Şekil 5.2: Güneş enerji santrali ürün resimleri.

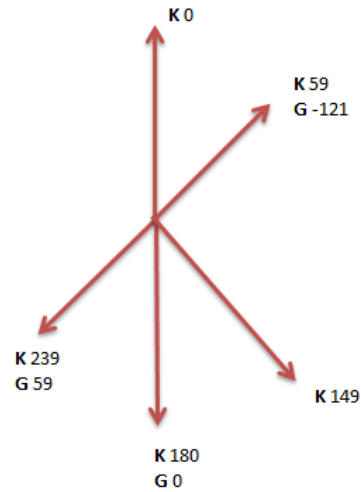
Tablo 5.1: Güneş enerji santrali sistem bilgisi.

Sistem Bilgisi			
PV Katalog Verileri		İnvertör Katalog Verileri	
Model	BYD 250P6-30	Model	POWADOR 33.0 TL3
V_{oc}	38 V	Çalışma Gerilimi	200 V-950 V DC
V_{mp}	30,40 V	Maks. Giriş Akımı	3X34 A
I_{sc}	8,98 A	Verim	98%
I_{mp}	8,22 A		
P_{max}	250 W		
Verim	15,37%		

Güneş enerji santrali, 39.666 kuzey, 27.919 doğu koordinatlarında yer alan işletmenin 17° eğimli çatısına, güneş panellerinin kuzeyden 59° ve 239° yönüne bakan iki grup olarak tesis edilmiştir. Her iki grup kurulum istikametleri dışında birebir aynıdır. Farklı açılar için model sonuçlarının incelenmesine imkan sağlayacağı için bu tesis üzerinde çalışılmıştır. Tablo 5.2’de sistemin montaj bilgileri paylaşılmıştır.

Tablo 5.2: Güneş enerji santrali montaj bilgisi.

Konum Bilgisi	
Enlem	39.666 Kuzey
Boylam	27.919 Doğu
Rakım	113 metre
Montaj Bilgisi	
Çatı Eğim	17°
Panel Yönü	
Grup 1	59° Kuzey (-121 G)
Grup 2	239° Kuzey (59 G)



Proje aşamasında 1. Grup güneş panelinin 32.596 kWh, 2. Grup güneş panelinin 36.618 kWh olmak üzere toplam 69.214 kWh/yıl enerji üretmesi ön görülmüştür. Proje üretim tahmin tablosu Tablo 5.3’te verilmiştir. Tasarıma ilişkin kayıp diyagramları Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’te paylaşılmıştır.

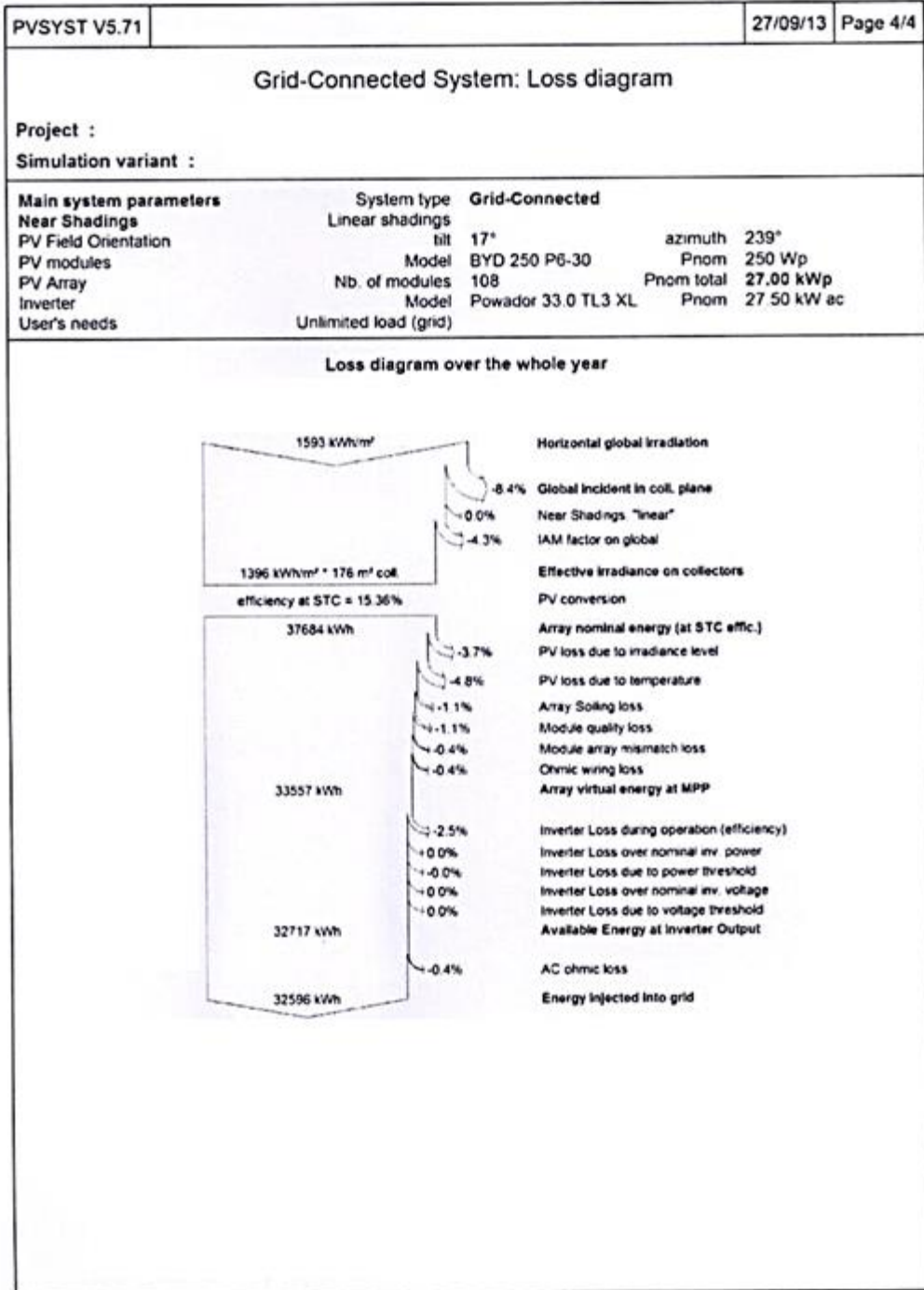
Tablo 5.3: Güneş enerji santrali enerji üretim tahmini.

Dizi Gücü	Özgün Üretim	Tahmini Enerji Üretimi
54 kWp	1.281 kWh/kWp/yıl	• 69.214 kWh/Yıl

• En iyi koşullarda %82.85’e ulaşan performans oranı. Radyasyon bilgisi Meteonorm sistem V6 ile elde edilmiştir.

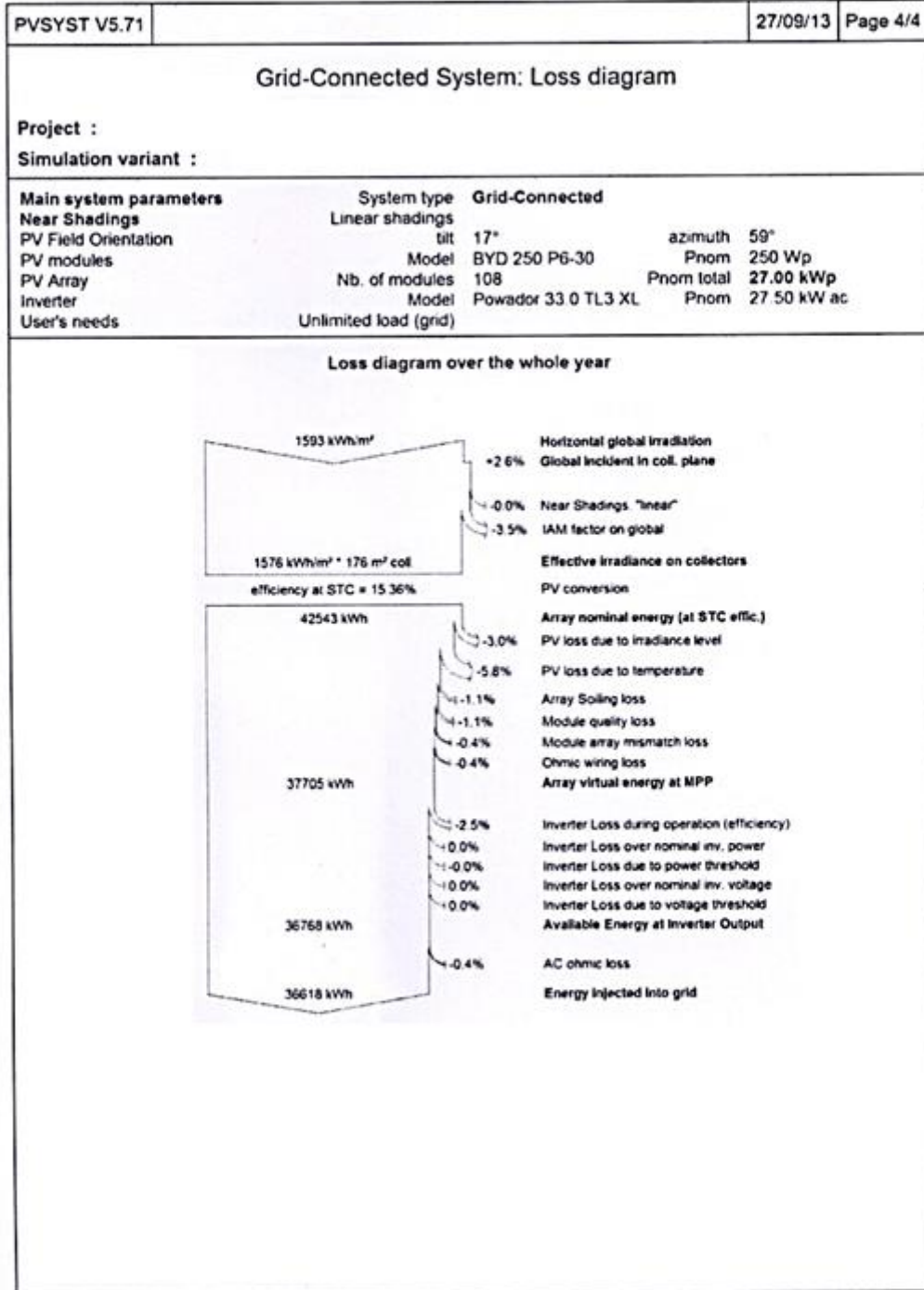
Sistem Verim Analizi

1. Cephe



Şekil 5.3: Grup 1 enerji üretim hesabı.

2. Cephe



Şekil 5.4: Grup 2 enerji üretim hesabı.

5.1 Güneş Enerji Santrali Üretim Sonuçları

Güneş enerji santralının 2016–2020 dönemi enerji üretim değerleri Tablo 5.4’te belirtilmiştir. Değerler incelendiğinde 239° kuzey istikametindeki panellerin, 59° kuzey istikametindeki panellere göre 5 yıllık ortalamada %22 daha fazla enerji ürettiği görülmektedir.

Proje aşamasında 1. Grup güneş panelinin 32.596 kWh, 2. Grup güneş panelinin 36.618 kWh olmak üzere toplam 69.214 kWh enerji üretmesi ön görülürken, 2016-2020 yılları ortalama üretiminin 58.423 kWh gerçekleştiği görülmektedir.

Tablo 5.4: Güneş enerji santrali enerji üretimi (kWh).

GES Üretim	2016		2017		2018		2019		2020		Ortalama	
	Grup 1	Grup 2	Grup 1	Grup 2	Grup 1	Grup 2	Grup 1	Grup 2	Grup 1	Grup 2	Grup 1	Grup 2
Ocak	564	922	650	1.000	790	1.306	611	840	683	1.208	660	1.055
Şubat	1.144	1.799	1.027	1.481	867	1.103	992	1.563	1.128	1.695	1.032	1.528
Mart	2.216	2.725	1.883	2.508	1.890	2.509	2.337	3.108	1.794	2.304	2.024	2.631
Nisan	3.230	3.872	3.004	3.513	2.920	3.525	2.554	2.983	2.640	3.123	2.870	3.403
Mayıs	3.568	3.907	3.357	3.681	2.965	3.276	3.465	3.621	3.245	3.565	3.320	3.610
Haziran	4.147	4.327	3.786	4.042	3.647	3.708	3.827	3.941	3.337	3.316	3.749	3.867
Temmuz	4.380	4.785	4.086	4.419	3.743	4.024	3.935	4.129	3.856	4.099	4.000	4.291
Ağustos	3.216	3.806	3.213	3.791	3.390	3.959	3.475	4.001	3.055	3.634	3.270	3.838
Eylül	2.308	2.934	2.564	3.291	2.365	3.001	2.424	3.182	1.930	2.664	2.318	3.014
Ekim	1.749	2.592	1.750	2.575	1.548	2.261	1.386	2.163	1.440	2.184	1.575	2.355
Kasım	963	1.681	976	1.605	759	1.281	852	1.411	902	1.680	890	1.532
Aralık	688	1.228	656	1.056	547	878	556	940	540	861	597	993
Grup Toplam	28.176	34.577	26.954	32.962	25.432	30.830	26.415	31.882	24.551	30.333	26.305	32.117
GES Toplam	62.752		59.916		56.262		58.298		54.884		58.423	

5.2 Analitik Model ile Enerji Üretim Tahmini

Fotovoltaik panellerin çalışma karakteristikleri kataloglarında verilen değerler ve eğriler ile tanımlanmaktadır. Farklı ortam sıcaklıkları ve ışıma değerlerinde söz konusu eğrilerde değişiklik olduğundan, verilen katalog değerler ışığında panelin çalışma eğrilerinin oluşturulması ve her koşulda maksimum güç noktasının doğru tayini için PV sistem modeli ile çalışılmıştır.

Analitik modelde MGM ve SARA2 meteoroloji verileri kullanılarak güneş enerji santrali enerji üretim tahminlerinde bulunulmuştur [4,59].

5.2.1 Modelin MGM Yıllık Verileri ile Analizi

MGM veritabanı 2016-2020 dönemi 5 yıllık meteoroloji verileri kullanılarak üretim tahmini yapılmış, Tablo 5.5'te her iki panel grubu için aylık ve yıllık üretim tahminleri paylaşılmıştır. 5 yıllık ortalamada Grup 1 için 26.785 kWh, Grup 2 için 32.173 kWh enerji üretimi öngörülmektedir.

Tablo 5.5: MGM yıllık verileri ile model GES enerji üretim tahmini (kWh).

Model - MGM	2016		2017		2018		2019		2020		Ortalama	
	Grup 1	Grup 2	Grup 1	Grup 2	Grup 1	Grup 2	Grup 1	Grup 2	Grup 1	Grup 2	Grup 1	Grup 2
Ocak	1.452	2.452	1.667	2.398	1.400	2.115	1.037	1.579	1.124	1.668	1.336	2.042
Şubat	1.564	2.348	1.125	1.658	1.003	1.421	1.489	2.142	1.160	1.586	1.268	1.831
Mart	1.656	2.206	2.209	2.605	1.706	2.062	2.646	3.100	1.267	1.497	1.897	2.294
Nisan	2.293	2.774	2.735	3.058	3.047	3.308	2.510	2.804	1.601	1.696	2.437	2.728
Mayıs	2.825	3.192	2.628	2.835	2.881	3.040	2.869	3.018	1.939	1.976	2.628	2.812
Haziran	3.396	3.719	3.392	3.533	2.135	2.124	3.564	3.570	2.246	2.164	2.947	3.022
Temmuz	4.682	5.231	3.636	3.888	3.744	3.790	4.052	4.074	2.589	2.438	3.740	3.884
Ağustos	3.391	3.997	2.460	2.771	3.617	3.661	3.639	3.818	2.735	2.811	3.169	3.412
Eylül	2.340	2.970	1.730	2.041	2.714	3.154	2.530	2.813	3.223	4.286	2.507	3.053
Ekim	1.960	2.735	2.210	2.755	2.057	2.750	1.760	2.197	2.668	3.832	2.131	2.854
Kasım	1.684	2.589	1.397	1.921	1.379	2.059	1.217	1.666	1.985	3.271	1.532	2.301
Aralık	1.514	2.453	1.182	1.715	1.135	1.985	854	1.248	1.279	2.295	1.193	1.939
Grup Toplam	28.756	36.666	26.372	31.179	26.817	31.470	28.166	32.031	23.816	29.519	26.785	32.173
GES Toplam	65.422		57.551		58.287		60.197		53.335		58.959	

Model ile MGM 2016 yılı verileri kullanılarak hesaplanan üretim tahminleri GES üretim miktarı ile karşılaştırılmış ve Tablo 5.6'da gösterilmiştir. Grup 1 için %2, Grup 2 için %6 toplamda %4 sapma ile 65.422 kWh enerji üretilmesi öngörülmektedir.

Tablo 5.6: MGM 2016 verileri ile model GES enerji üretim tahmini (kWh).

2016 - MGM	Grup 1 (59°)			Grup 2 (239°)		
	Ay	GES Üretim [kWh]	Model [kWh]	%	GES Üretim [kWh]	Model [kWh]
Ocak	564	1.452	157%	922	2.452	166%
Şubat	1.144	1.564	37%	1.799	2.348	31%
Mart	2.216	1.656	-25%	2.725	2.206	-19%
Nisan	3.230	2.293	-29%	3.872	2.774	-28%
Mayıs	3.568	2.825	-21%	3.907	3.192	-18%
Haziran	4.147	3.396	-18%	4.327	3.719	-14%
Temmuz	4.380	4.682	7%	4.785	5.231	9%
Ağustos	3.216	3.391	5%	3.806	3.997	5%
Eylül	2.308	2.340	1%	2.934	2.970	1%
Ekim	1.749	1.960	12%	2.592	2.735	6%
Kasım	963	1.684	75%	1.681	2.589	54%
Aralık	688	1.514	120%	1.228	2.453	100%
Toplam	28.176	28.756	2%	34.577	36.666	6%

Model ile MGM 2017 yılı verileri kullanılarak hesaplanan üretim tahminleri GES üretim miktarı ile karşılaştırılmış ve Tablo 5.7’de gösterilmiştir. Grup 1 için %2, Grup 2 için %5 toplamda %4 sapma ile 57.551 kWh enerji üretilmesi öngörülmektedir.

Tablo 5.7: MGM 2017 verileri ile model GES enerji üretim tahmini (kWh).

2017 - MGM	Grup 1 (59°)			Grup 2 (239°)		
	Ay	GES Üretim [kWh]	Model [kWh]	%	GES Üretim [kWh]	Model [kWh]
Ocak	650	1.667	156%	1.000	2.398	140%
Şubat	1.027	1.125	10%	1.481	1.658	12%
Mart	1.883	2.209	17%	2.508	2.605	4%
Nisan	3.004	2.735	-9%	3.513	3.058	-13%
Mayıs	3.357	2.628	-22%	3.681	2.835	-23%
Haziran	3.786	3.392	-10%	4.042	3.533	-13%
Temmuz	4.086	3.636	-11%	4.419	3.888	-12%
Ağustos	3.213	2.460	-23%	3.791	2.771	-27%
Eylül	2.564	1.730	-33%	3.291	2.041	-38%
Ekim	1.750	2.210	26%	2.575	2.755	7%
Kasım	976	1.397	43%	1.605	1.921	20%
Aralık	656	1.182	80%	1.056	1.715	62%
Toplam	26.954	26.372	-2%	32.962	31.179	-5%

Model ile MGM 2018 yılı verileri kullanılarak hesaplanan üretim tahminleri GES üretim miktarı ile karşılaştırılmış ve Tablo 5.8’de gösterilmiştir. Grup 1 için %5, Grup 2 için %2 toplamda %4 sapma ile 58.287 kWh enerji üretilmesi öngörülmektedir.

Tablo 5.8: MGM 2018 verileri ile model GES enerji üretim tahmini (kWh).

2018 - MGM	Grup 1 (59°)			Grup 2 (239°)		
	Ay	GES Üretim [kWh]	Model [kWh]	%	GES Üretim [kWh]	Model [kWh]
Ocak	790	1.400	77%	1.306	2.115	62%
Şubat	867	1.003	16%	1.103	1.421	29%
Mart	1.890	1.706	-10%	2.509	2.062	-18%
Nisan	2.920	3.047	4%	3.525	3.308	-6%
Mayıs	2.965	2.881	-3%	3.276	3.040	-7%
Haziran	3.647	2.135	-41%	3.708	2.124	-43%
Temmuz	3.743	3.744	0%	4.024	3.790	-6%
Ağustos	3.390	3.617	7%	3.959	3.661	-8%
Eylül	2.365	2.714	15%	3.001	3.154	5%
Ekim	1.548	2.057	33%	2.261	2.750	22%
Kasım	759	1.379	82%	1.281	2.059	61%
Aralık	547	1.135	108%	878	1.985	126%
Toplam	25.432	26.817	5%	30.830	31.470	2%

Model ile MGM 2019 yılı verileri kullanılarak hesaplanan üretim tahminleri GES üretim miktarı ile karşılaştırılmış ve Tablo 5.9’da gösterilmiştir. Grup 1 için %7, Grup 2 için %0 toplamda %3 sapma ile 60.197 kWh enerji üretilmesi öngörülmektedir.

Tablo 5.9: MGM 2019 verileri ile model GES enerji üretim tahmini (kWh).

2019 - MGM	Grup 1 (59°)			Grup 2 (239°)			
	Ay	GES Üretim [kWh]	Model [kWh]	%	GES Üretim [kWh]	Model [kWh]	%
	Ocak	611	1.037	70%	840	1.579	88%
	Şubat	992	1.489	50%	1.563	2.142	37%
	Mart	2.337	2.646	13%	3.108	3.100	0%
	Nisan	2.554	2.510	-2%	2.983	2.804	-6%
	Mayıs	3.465	2.869	-17%	3.621	3.018	-17%
	Haziran	3.827	3.564	-7%	3.941	3.570	-9%
	Temmuz	3.935	4.052	3%	4.129	4.074	-1%
	Ağustos	3.475	3.639	5%	4.001	3.818	-5%
	Eylül	2.424	2.530	4%	3.182	2.813	-12%
	Ekim	1.386	1.760	27%	2.163	2.197	2%
	Kasım	852	1.217	43%	1.411	1.666	18%
	Aralık	556	854	54%	940	1.248	33%
	Toplam	26.415	28.166	7%	31.882	32.031	0%

Model ile MGM 2020 yılı verileri kullanılarak hesaplanan üretim tahminleri GES üretim miktarı ile karşılaştırılmış ve Tablo 5.10’da gösterilmiştir. Grup 1 için %3, Grup 2 için %3 toplamda %3 sapma ile 53.335 kWh enerji üretilmesi öngörülmektedir.

Tablo 5.10: MGM 2020 verileri ile model GES enerji üretim tahmini (kWh).

2020 - MGM	Grup 1 (59°)			Grup 2 (239°)			
	Ay	GES Üretim [kWh]	Model [kWh]	%	GES Üretim [kWh]	Model [kWh]	%
	Ocak	683	1.124	65%	1.208	1.668	38%
	Şubat	1.128	1.160	3%	1.695	1.586	-6%
	Mart	1.794	1.267	-29%	2.304	1.497	-35%
	Nisan	2.640	1.601	-39%	3.123	1.696	-46%
	Mayıs	3.245	1.939	-40%	3.565	1.976	-45%
	Haziran	3.337	2.246	-33%	3.316	2.164	-35%
	Temmuz	3.856	2.589	-33%	4.099	2.438	-41%
	Ağustos	3.055	2.735	-10%	3.634	2.811	-23%
	Eylül	1.930	3.223	67%	2.664	4.286	61%
	Ekim	1.440	2.668	85%	2.184	3.832	75%
	Kasım	902	1.985	120%	1.680	3.271	95%
	Aralık	540	1.279	137%	861	2.295	166%
	Toplam	24.551	23.816	-3%	30.333	29.519	-3%

Söz konusu 5 yıllık dönem için MGM verileri ile elde edilen model sonuçları incelendiğinde %0-%7 aralığında dönemsel sapmalar görülmekte, 5 yıllık üretim değeri incelendiğinde ise sistemin ortalama üretimde %1 sapma ile sonuca ulaşıldığı görülmüştür.

5.2.2 Modelin SARA2 Yıllık Verileri ile Analizi

PVGIS-SARA2 veritabanı 2016-2020 dönemi 5 yıllık meteoroloji verileri kullanılarak üretim tahmini yapılmış, Tablo 5.11’de her iki panel grubu için aylık ve yıllık üretim tahminleri paylaşılmıştır. 5 yıllık ortalamada Grup 1 için 27.381 kWh, Grup 2 için 34.813 kWh enerji üretimi öngörülmektedir.

Tablo 5.11: SARA2 yıllık verileri ile model GES enerji üretim tahmini (kWh).

Model - SARA2	2016		2017		2018		2019		2020		Ortalama	
	Grup 1	Grup 2	Grup 1	Grup 2	Grup 1	Grup 2	Grup 1	Grup 2	Grup 1	Grup 2	Grup 1	Grup 2
Ocak	731	1.236	720	1.250	888	1.518	622	1.080	870	1.557	766	1.328
Şubat	1.138	1.769	1.078	1.651	824	1.259	1.044	1.726	1.362	2.034	1.089	1.688
Mart	2.202	2.827	1.896	2.566	1.854	2.583	2.658	3.463	2.000	2.643	2.122	2.816
Nisan	3.217	3.901	2.810	3.430	2.993	3.760	2.681	3.308	2.881	3.537	2.916	3.587
Mays	3.369	3.871	3.221	3.764	3.049	3.553	3.518	3.981	3.448	3.974	3.321	3.829
Haziran	3.884	4.314	3.568	3.988	3.691	4.062	3.823	4.273	3.668	4.023	3.726	4.132
Temmuz	4.126	4.695	3.953	4.452	3.792	4.297	3.955	4.461	4.094	4.648	3.984	4.511
Ağustos	3.236	3.976	3.297	3.987	3.521	4.224	3.586	4.270	3.520	4.217	3.432	4.135
Eylül	2.583	3.315	2.633	3.338	2.459	3.164	2.713	3.454	2.475	3.199	2.572	3.294
Ekim	1.696	2.456	1.945	2.703	1.692	2.473	1.473	2.327	1.705	2.447	1.702	2.481
Kasım	995	1.723	1.104	1.817	874	1.499	990	1.620	1.131	1.933	1.019	1.719
Aralık	913	1.538	807	1.284	630	1.193	661	1.247	638	1.203	730	1.293
Grup Toplam	28.090	35.623	27.031	34.230	26.266	33.585	27.724	35.212	27.792	35.416	27.381	34.813
GES Toplam	63.713		61.261		59.851		62.936		63.208		62.194	

Model ile SARA2 veritabanı 2016 yılı verileri kullanılarak hesaplanan üretim tahminleri GES üretim miktarı ile karşılaştırılmış ve Tablo 5.12’de gösterilmiştir. Grup 1 için %0, Grup 2 için %3 toplamda %2 sapma ile 63.713 kWh enerji üretilmesi öngörülmektedir.

Tablo 5.12: SARA2 2016 verileri ile model GES enerji üretim tahmini (kWh).

2016 - SARA2	Grup 1 (59°)			Grup 2 (239°)		
	GES Üretim [kWh]	Model [kWh]	%	GES Üretim [kWh]	Model [kWh]	%
Ay						
Ocak	564	731	29%	922	1.236	34%
Şubat	1.144	1.138	-1%	1.799	1.769	-2%
Mart	2.216	2.202	-1%	2.725	2.827	4%
Nisan	3.230	3.217	0%	3.872	3.901	1%
Mayıs	3.568	3.369	-6%	3.907	3.871	-1%
Haziran	4.147	3.884	-6%	4.327	4.314	0%
Temmuz	4.380	4.126	-6%	4.785	4.695	-2%
Ağustos	3.216	3.236	1%	3.806	3.976	4%
Eylül	2.308	2.583	12%	2.934	3.315	13%
Ekim	1.749	1.696	-3%	2.592	2.456	-5%
Kasım	963	995	3%	1.681	1.723	3%
Aralık	688	913	33%	1.228	1.538	25%
Toplam	28.176	28.090	0%	34.577	35.623	3%

Model ile SARA2 veritabanı 2017 yılı verileri kullanılarak hesaplanan üretim tahminleri GES üretim miktarı ile karşılaştırılmış ve Tablo 5.13'te gösterilmiştir. Grup 1 için %0, Grup 2 için %4 toplamda %2 sapma ile 61.261 kWh enerji üretilmesi öngörülmektedir.

Tablo 5.13: SARA2 2017 verileri ile model GES enerji üretim tahmini (kWh).

2017 - SARA2	Grup 1 (59°)			Grup 2 (239°)		
	GES Üretim [kWh]	Model [kWh]	%	GES Üretim [kWh]	Model [kWh]	%
Ay						
Ocak	650	720	11%	1.000	1.250	25%
Şubat	1.027	1.078	5%	1.481	1.651	11%
Mart	1.883	1.896	1%	2.508	2.566	2%
Nisan	3.004	2.810	-6%	3.513	3.430	-2%
Mayıs	3.357	3.221	-4%	3.681	3.764	2%
Haziran	3.786	3.568	-6%	4.042	3.988	-1%
Temmuz	4.086	3.953	-3%	4.419	4.452	1%
Ağustos	3.213	3.297	3%	3.791	3.987	5%
Eylül	2.564	2.633	3%	3.291	3.338	1%
Ekim	1.750	1.945	11%	2.575	2.703	5%
Kasım	976	1.104	13%	1.605	1.817	13%
Aralık	656	807	23%	1.056	1.284	22%
Toplam	26.954	27.031	0%	32.962	34.230	4%

Model ile SARA2 veritabanı 2018 yılı verileri kullanılarak hesaplanan üretim tahminleri GES üretim miktarı ile karşılaştırılmış ve Tablo 5.14'te gösterilmiştir. Grup 1 için %3, Grup 2 için %9 toplamda %6 sapma ile 59.851 kWh enerji üretilmesi öngörülmektedir.

Tablo 5.14: SARA2 2018 verileri ile model GES enerji üretim tahmini (kWh).

2018 - SARA2	Grup 1 (59°)			Grup 2 (239°)		
	GES Üretim [kWh]	Model [kWh]	%	GES Üretim [kWh]	Model [kWh]	%
Ocak	790	888	12%	1.306	1.518	16%
Şubat	867	824	-5%	1.103	1.259	14%
Mart	1.890	1.854	-2%	2.509	2.583	3%
Nisan	2.920	2.993	2%	3.525	3.760	7%
Mayıs	2.965	3.049	3%	3.276	3.553	8%
Haziran	3.647	3.691	1%	3.708	4.062	10%
Temmuz	3.743	3.792	1%	4.024	4.297	7%
Ağustos	3.390	3.521	4%	3.959	4.224	7%
Eylül	2.365	2.459	4%	3.001	3.164	5%
Ekim	1.548	1.692	9%	2.261	2.473	9%
Kasım	759	874	15%	1.281	1.499	17%
Aralık	547	630	15%	878	1.193	36%
Toplam	25.432	26.266	3%	30.830	33.585	9%

Model ile SARA2 veritabanı 2019 yılı verileri kullanılarak hesaplanan üretim tahminleri GES üretim miktarı ile karşılaştırılmış ve Tablo 5.15'te gösterilmiştir. Grup 1 için %5, Grup 2 için %10 toplamda %8 sapma ile 62.936 kWh enerji üretilmesi öngörülmektedir.

Tablo 5.15: SARA2 2019 verileri ile model GES enerji üretim tahmini (kWh).

2019 - SARA2	Grup 1 (59°)			Grup 2 (239°)		
	GES Üretim [kWh]	Model [kWh]	%	GES Üretim [kWh]	Model [kWh]	%
Ocak	611	622	2%	840	1.080	29%
Şubat	992	1.044	5%	1.563	1.726	10%
Mart	2.337	2.658	14%	3.108	3.463	11%
Nisan	2.554	2.681	5%	2.983	3.308	11%
Mayıs	3.465	3.518	2%	3.621	3.981	10%
Haziran	3.827	3.823	0%	3.941	4.273	8%
Temmuz	3.935	3.955	1%	4.129	4.461	8%
Ağustos	3.475	3.586	3%	4.001	4.270	7%
Eylül	2.424	2.713	12%	3.182	3.454	9%
Ekim	1.386	1.473	6%	2.163	2.327	8%
Kasım	852	990	16%	1.411	1.620	15%
Aralık	556	661	19%	940	1.247	33%
Toplam	26.415	27.724	5%	31.882	35.212	10%

Model ile SARA2 veritabanı 2020 yılı verileri kullanılarak hesaplanan üretim tahminleri GES üretim miktarı ile karşılaştırılmış ve Tablo 5.16'da gösterilmiştir. Grup 1 için %13, Grup 2 için %17 toplamda %15 sapma ile 63.208 kWh enerji üretilmesi öngörülmektedir.

Tablo 5.16: SARA2 2020 verileri ile model GES enerji üretim tahmini (kWh).

2020 - SARA2	Grup 1 (59°)			Grup 2 (239°)		
	GES Üretim [kWh]	Model [kWh]	%	GES Üretim [kWh]	Model [kWh]	%
Ocak	683	870	27%	1.208	1.557	29%
Şubat	1.128	1.362	21%	1.695	2.034	20%
Mart	1.794	2.000	11%	2.304	2.643	15%
Nisan	2.640	2.881	9%	3.123	3.537	13%
Mayıs	3.245	3.448	6%	3.565	3.974	11%
Haziran	3.337	3.668	10%	3.316	4.023	21%
Temmuz	3.856	4.094	6%	4.099	4.648	13%
Ağustos	3.055	3.520	15%	3.634	4.217	16%
Eylül	1.930	2.475	28%	2.664	3.199	20%
Ekim	1.440	1.705	18%	2.184	2.447	12%
Kasım	902	1.131	25%	1.680	1.933	15%
Aralık	540	638	18%	861	1.203	40%
Toplam	24.551	27.792	13%	30.333	35.416	17%

Söz konusu 5 yıllık dönem için SARA2 verileri ile elde edilen model sonuçları incelendiğinde %0-%17 aralığında dönemsel sapmalar görülmekte, 5 yıllık üretim değeri incelendiğinde ise sistemin ortalama üretimde %6 sapma ile sonuca ulaşıldığı görülmüştür.

5.3 Derin Öğrenme ile Enerji Üretim Tahmini

2019 yılı SARA2 meteoroloji verileri ve PVGIS programı kullanılarak elde edilen derin öğrenme modeli ile 54 kWp gücündeki güneş enerji santralinin enerji üretim değerleri 2016-2020 yılları aralığı için tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar PVGIS programı üretim tahmini ile karşılaştırılmış sözkonusu dönem için aylık üretimin en yüksek %3,40, yıllık toplam enerji üretiminin %0,92 mertebesinde bir hata ile tahmin edildiği, doğru ve uyumlu sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Karşılaştırma sonuçları Tablo 5.17’de verilmiştir.

Benzer şekilde, derin öğrenme modelinin GES gerçek üretim değerleri ile de karşılaştırması yapılmış, sonuçlar Tablo 5.18’de sunulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde, modelin üretildiği PVGIS program sonuçları ile uyumlu olması nedeniyle, yine programın hata oranına uygun şekilde benzer sonuçlar verdiği,

yıllık toplam enerji üretiminde hatanın %10,16 ile %24,65 aralığında değiştiği ve beş yıllık ortalamada %15,47 değerini aldığı görülmüştür.

Tablo 5.17: Derin öğrenme modeli ile PVGIS enerji üretim tahmin sonuç karşılaştırması.

Grup	Grup 1 (59°) (kWh)			Grup 2 (239°) (kWh)			Toplam (kWh)		
	PVGIS	Derin Öğrenme	%	PVGIS	Derin Öğrenme	%	PVGIS	Derin Öğrenme	%
2016	31.298	31.932	-2,03%	37.233	37.197	0,10%	68.531	69.129	-0,87%
Ocak	806	827	-2,53%	1.234	1.218	1,28%	2.040	2.045	-0,23%
Şubat	1.282	1.319	-2,93%	1.812	1.801	0,59%	3.094	3.121	-0,86%
Mart	2.358	2.413	-2,36%	2.744	2.750	-0,22%	5.101	5.163	-1,21%
Nisan	3.539	3.618	-2,23%	4.010	4.023	-0,31%	7.549	7.640	-1,21%
Mayıs	3.720	3.783	-1,71%	3.982	3.992	-0,25%	7.701	7.775	-0,96%
Haziran	4.367	4.426	-1,34%	4.536	4.540	-0,08%	8.904	8.966	-0,70%
Temmuz	4.672	4.747	-1,59%	5.069	5.073	-0,09%	9.741	9.820	-0,81%
Ağustos	3.740	3.813	-1,93%	4.367	4.368	-0,02%	8.107	8.180	-0,90%
Eylül	2.892	2.954	-2,15%	3.516	3.517	-0,03%	6.407	6.471	-0,99%
Ekim	1.875	1.920	-2,43%	2.602	2.596	0,23%	4.477	4.516	-0,88%
Kasım	1.128	1.164	-3,19%	1.855	1.834	1,14%	2.983	2.998	-0,50%
Aralık	919	949	-3,23%	1.507	1.486	1,41%	2.426	2.434	-0,35%
2017	30.103	30.711	-2,02%	35.431	35.423	0,02%	65.534	66.134	-0,92%
Ocak	844	862	-2,19%	1.206	1.193	1,15%	2.050	2.055	-0,22%
Şubat	1.206	1.237	-2,51%	1.601	1.596	0,28%	2.807	2.833	-0,92%
Mart	2.118	2.172	-2,53%	2.626	2.631	-0,18%	4.744	4.803	-1,23%
Nisan	3.102	3.170	-2,17%	3.464	3.475	-0,31%	6.567	6.645	-1,19%
Mayıs	3.591	3.653	-1,71%	3.886	3.894	-0,20%	7.477	7.547	-0,92%
Haziran	4.030	4.089	-1,47%	4.215	4.221	-0,15%	8.245	8.310	-0,79%
Temmuz	4.454	4.520	-1,49%	4.752	4.760	-0,16%	9.206	9.280	-0,80%
Ağustos	3.725	3.797	-1,94%	4.290	4.293	-0,06%	8.015	8.090	-0,94%
Eylül	2.952	3.025	-2,47%	3.530	3.539	-0,25%	6.481	6.563	-1,26%
Ekim	2.059	2.108	-2,41%	2.789	2.786	0,10%	4.848	4.894	-0,96%
Kasım	1.211	1.248	-3,09%	1.885	1.870	0,77%	3.096	3.118	-0,74%
Aralık	812	831	-2,44%	1.186	1.165	1,80%	1.998	1.996	0,08%
2018	29.760	30.361	-2,02%	34.977	34.955	0,06%	64.737	65.316	-0,89%
Ocak	972	999	-2,75%	1.506	1.488	1,20%	2.478	2.486	-0,35%
Şubat	996	1.020	-2,37%	1.186	1.184	0,09%	2.182	2.204	-1,03%
Mart	2.119	2.176	-2,67%	2.694	2.698	-0,12%	4.814	4.874	-1,25%
Nisan	3.395	3.469	-2,19%	3.993	4.001	-0,19%	7.388	7.470	-1,11%
Mayıs	3.410	3.476	-1,96%	3.697	3.708	-0,30%	7.107	7.184	-1,09%
Haziran	4.094	4.154	-1,48%	4.092	4.100	-0,19%	8.186	8.254	-0,83%
Temmuz	4.328	4.392	-1,48%	4.598	4.602	-0,10%	8.925	8.994	-0,77%
Ağustos	3.994	4.069	-1,87%	4.511	4.514	-0,07%	8.504	8.582	-0,91%
Eylül	2.772	2.830	-2,07%	3.324	3.325	-0,05%	6.096	6.155	-0,97%
Ekim	1.920	1.971	-2,67%	2.598	2.591	0,28%	4.519	4.562	-0,97%
Kasım	997	1.021	-2,38%	1.603	1.589	0,85%	2.600	2.610	-0,39%
Aralık	763	784	-2,77%	1.175	1.154	1,78%	1.938	1.938	-0,01%
2019	31.076	31.690	-1,97%	36.632	36.614	0,05%	67.709	68.303	-0,88%
Ocak	785	802	-2,10%	985	975	1,04%	1.770	1.776	-0,36%
Şubat	1.218	1.255	-3,03%	1.803	1.795	0,45%	3.021	3.050	-0,95%
Mart	2.770	2.831	-2,20%	3.467	3.470	-0,09%	6.237	6.301	-1,03%
Nisan	2.976	3.038	-2,07%	3.385	3.395	-0,32%	6.361	6.433	-1,14%
Mayıs	3.889	3.957	-1,75%	4.040	4.053	-0,32%	7.929	8.010	-1,02%
Haziran	4.295	4.347	-1,19%	4.500	4.502	-0,04%	8.795	8.848	-0,61%
Temmuz	4.460	4.521	-1,37%	4.712	4.717	-0,11%	9.172	9.238	-0,73%
Ağustos	4.025	4.097	-1,80%	4.551	4.557	-0,13%	8.576	8.654	-0,91%
Eylül	3.005	3.075	-2,31%	3.588	3.590	-0,06%	6.593	6.665	-1,09%
Ekim	1.764	1.819	-3,09%	2.641	2.634	0,26%	4.405	4.452	-1,08%
Kasım	1.093	1.127	-3,08%	1.708	1.691	0,97%	2.801	2.818	-0,61%
Aralık	795	822	-3,40%	1.254	1.234	1,54%	2.049	2.056	-0,37%
2020	30.981	31.618	-2,06%	36.827	36.793	0,09%	67.808	68.411	-0,89%
Ocak	963	992	-2,97%	1.596	1.577	1,18%	2.559	2.568	-0,38%
Şubat	1.457	1.493	-2,48%	1.973	1.971	0,14%	3.430	3.464	-0,98%
Mart	2.142	2.194	-2,45%	2.626	2.633	-0,25%	4.768	4.827	-1,24%
Nisan	3.150	3.218	-2,15%	3.595	3.605	-0,28%	6.745	6.823	-1,15%
Mayıs	3.835	3.907	-1,88%	4.154	4.165	-0,25%	7.989	8.072	-1,04%
Haziran	4.067	4.122	-1,35%	4.107	4.114	-0,18%	8.174	8.236	-0,76%
Temmuz	4.610	4.678	-1,48%	4.931	4.934	-0,05%	9.541	9.612	-0,74%
Ağustos	4.004	4.082	-1,95%	4.525	4.527	-0,06%	8.529	8.610	-0,94%
Eylül	2.824	2.890	-2,34%	3.410	3.409	0,04%	6.234	6.299	-1,04%
Ekim	1.923	1.976	-2,77%	2.577	2.572	0,19%	4.499	4.548	-1,08%
Kasım	1.206	1.241	-2,87%	2.068	2.045	1,08%	3.273	3.286	-0,38%
Aralık	800	825	-3,04%	1.265	1.241	1,84%	2.065	2.066	-0,05%
Genel Toplam	153.218	156.312	-2,02%	181.100	180.981	0,07%	334.318	337.293	-0,89%

Tablo 5.18: Derin öğrenme modeli ile GES enerji üretim sonuçları karşılaştırması.

Grup	Grup 1 (59°) (kWh)			Grup 2 (239°) (kWh)			Toplam (kWh)		
	Dönem	GES	Derin Öğrenme %	GES	Derin Öğrenme %	GES	Derin Öğrenme %		
2016	28.176	31.932	-13,33%	34.577	37.197	-7,58%	62.752	69.129	-10,16%
Ocak	564	827	-46,49%	922	1.218	-32,13%	1.486	2.045	-37,58%
Şubat	1.144	1.319	-15,28%	1.799	1.801	-0,15%	2.943	3.121	-6,03%
Mart	2.216	2.413	-8,88%	2.725	2.750	-0,91%	4.941	5.163	-4,49%
Nisan	3.230	3.618	-11,99%	3.872	4.023	-3,90%	7.102	7.640	-7,58%
Mayıs	3.568	3.783	-6,02%	3.907	3.992	-2,17%	7.475	7.775	-4,01%
Haziran	4.147	4.426	-6,73%	4.327	4.540	-4,93%	8.473	8.966	-5,81%
Temmuz	4.380	4.747	-8,36%	4.785	5.073	-6,03%	9.165	9.820	-7,14%
Ağustos	3.216	3.813	-18,55%	3.806	4.368	-14,77%	7.022	8.180	-16,50%
Eylül	2.308	2.954	-28,00%	2.934	3.517	-19,84%	5.242	6.471	-23,43%
Ekim	1.749	1.920	-9,78%	2.592	2.596	-0,14%	4.342	4.516	-4,02%
Kasım	963	1.164	-20,86%	1.681	1.834	-9,08%	2.644	2.998	-13,37%
Aralık	688	949	-37,85%	1.228	1.486	-20,99%	1.916	2.434	-27,05%
2017	26.954	30.711	-13,94%	32.962	35.423	-7,46%	59.916	66.134	-10,38%
Ocak	650	862	-32,55%	1.000	1.193	-19,23%	1.651	2.055	-24,48%
Şubat	1.027	1.237	-20,42%	1.481	1.596	-7,81%	2.508	2.833	-12,97%
Mart	1.883	2.172	-15,31%	2.508	2.631	-4,93%	4.391	4.803	-9,38%
Nisan	3.004	3.170	-5,51%	3.513	3.475	1,10%	6.518	6.645	-1,95%
Mayıs	3.357	3.653	-8,81%	3.681	3.894	-5,79%	7.038	7.547	-7,23%
Haziran	3.786	4.089	-8,01%	4.042	4.221	-4,43%	7.828	8.310	-6,16%
Temmuz	4.086	4.520	-10,61%	4.419	4.760	-7,72%	8.505	9.280	-9,11%
Ağustos	3.213	3.797	-18,17%	3.791	4.293	-13,24%	7.005	8.090	-15,50%
Eylül	2.564	3.025	-17,96%	3.291	3.539	-7,54%	5.855	6.563	-12,10%
Ekim	1.750	2.108	-20,49%	2.575	2.786	-8,18%	4.325	4.894	-13,16%
Kasım	976	1.248	-27,92%	1.605	1.870	-16,50%	2.581	3.118	-20,82%
Aralık	656	831	-26,71%	1.056	1.165	-10,27%	1.713	1.996	-16,57%
2018	25.432	30.361	-19,38%	30.830	34.955	-13,38%	56.262	65.316	-16,09%
Ocak	790	999	-26,37%	1.306	1.488	-13,91%	2.096	2.486	-18,60%
Şubat	867	1.020	-17,64%	1.103	1.184	-7,42%	1.970	2.204	-11,92%
Mart	1.890	2.176	-15,17%	2.509	2.698	-7,54%	4.398	4.874	-10,82%
Nisan	2.920	3.469	-18,79%	3.525	4.001	-13,51%	6.446	7.470	-15,90%
Mayıs	2.965	3.476	-17,25%	3.276	3.708	-13,19%	6.241	7.184	-15,12%
Haziran	3.647	4.154	-13,90%	3.708	4.100	-10,58%	7.355	8.254	-12,23%
Temmuz	3.743	4.392	-17,35%	4.024	4.602	-14,39%	7.766	8.994	-15,81%
Ağustos	3.390	4.069	-20,02%	3.959	4.514	-14,01%	7.349	8.582	-16,78%
Eylül	2.365	2.830	-19,63%	3.001	3.325	-10,80%	5.366	6.155	-14,69%
Ekim	1.548	1.971	-27,31%	2.261	2.591	-14,59%	3.810	4.562	-19,76%
Kasım	759	1.021	-34,39%	1.281	1.589	-24,04%	2.041	2.610	-27,89%
Aralık	547	784	-43,42%	878	1.154	-31,45%	1.425	1.938	-36,04%
2019	26.415	31.690	-19,97%	31.882	36.614	-14,84%	58.298	68.303	-17,16%
Ocak	611	802	-31,18%	840	975	-16,08%	1.451	1.776	-22,44%
Şubat	992	1.255	-26,45%	1.563	1.795	-14,83%	2.555	3.050	-19,34%
Mart	2.337	2.831	-21,11%	3.108	3.470	-11,64%	5.446	6.301	-15,70%
Nisan	2.554	3.038	-18,93%	2.983	3.395	-13,82%	5.538	6.433	-16,17%
Mayıs	3.465	3.957	-14,21%	3.621	4.053	-11,94%	7.086	8.010	-13,05%
Haziran	3.827	4.347	-13,57%	3.941	4.502	-14,22%	7.769	8.848	-13,90%
Temmuz	3.935	4.521	-14,91%	4.129	4.717	-14,24%	8.064	9.238	-14,56%
Ağustos	3.475	4.097	-17,90%	4.001	4.557	-13,90%	7.476	8.654	-15,76%
Eylül	2.424	3.075	-26,83%	3.182	3.590	-12,84%	5.606	6.665	-18,89%
Ekim	1.386	1.819	-31,19%	2.163	2.634	-21,78%	3.549	4.452	-25,45%
Kasım	852	1.127	-32,33%	1.411	1.691	-19,84%	2.263	2.818	-24,54%
Aralık	556	822	-47,91%	940	1.234	-31,31%	1.496	2.056	-37,48%
2020	24.551	31.618	-28,78%	30.333	36.793	-21,30%	54.884	68.411	-24,65%
Ocak	683	992	-45,18%	1.208	1.577	-30,50%	1.891	2.568	-35,80%
Şubat	1.128	1.493	-32,38%	1.695	1.971	-16,25%	2.823	3.464	-22,69%
Mart	1.794	2.194	-22,31%	2.304	2.633	-14,26%	4.098	4.827	-17,78%
Nisan	2.640	3.218	-21,87%	3.123	3.605	-15,43%	5.763	6.823	-18,38%
Mayıs	3.245	3.907	-20,39%	3.565	4.165	-16,84%	6.810	8.072	-18,53%
Haziran	3.337	4.122	-23,52%	3.316	4.114	-24,07%	6.653	8.236	-23,79%
Temmuz	3.856	4.678	-21,32%	4.099	4.934	-20,38%	7.955	9.612	-20,84%
Ağustos	3.055	4.082	-33,63%	3.634	4.527	-24,59%	6.689	8.610	-28,72%
Eylül	1.930	2.890	-49,72%	2.664	3.409	-27,98%	4.594	6.299	-37,12%
Ekim	1.440	1.976	-37,18%	2.184	2.572	-17,75%	3.624	4.548	-25,47%
Kasım	902	1.241	-37,60%	1.680	2.045	-21,75%	2.581	3.286	-27,28%
Aralık	540	825	-52,70%	861	1.241	-44,14%	1.401	2.066	-47,44%
Genel Toplam	131.527	156.312	-18,84%	160.585	180.981	-12,70%	292.113	337.293	-15,47%

5.4 Üretim Tahmin Programları

Güneş enerji santrallerinin enerji üretiminin doğru hesaplanması enerji ihtiyacının karşılanması ve projenin en uygun maliyet ile hazırlanması açısından çok önemlidir. GES üretim hesabı konusunda farklı özellikleri, avantaj ve dezavantajları ve farklı maliyetleri ile birçok program kullanılmaktadır. Bunlardan bazılarını PVGIS, PVWatts, HOMER, PVSYST, PVSOL vb. olarak sıralayabiliriz. Bazı özel programlar belirtilen konum için 3 boyutlu analizler ve gölgeleme hesaplarını da yapabilmektedir. Tezde ücretsiz kullanıma imkan tanınması, pratik ve kullanışlı arayüzü, saatlik çözünürlükte hesaplama yapma ve veri çekme imkanı sağlaması nedeni ile PVGIS ve PVWatts programlarının kullanılması tercih edilmiştir.

5.4.1 PVGIS Programı ile Enerji Üretim Tahmini

PVGIS programı Avrupa Komisyonu'nun hazırlanmış olduğu ücretsiz bir güneş enerjisi hesaplama programıdır. Programa <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> linkinden ulaşılabilir. PVGIS programı ile söz konusu güneş enerji santrali için hesaplamalar yapıldığında aylık ve yıllık enerji üretim miktarı öngörüsü Tablo 5.19'da belirtilmiştir [60].

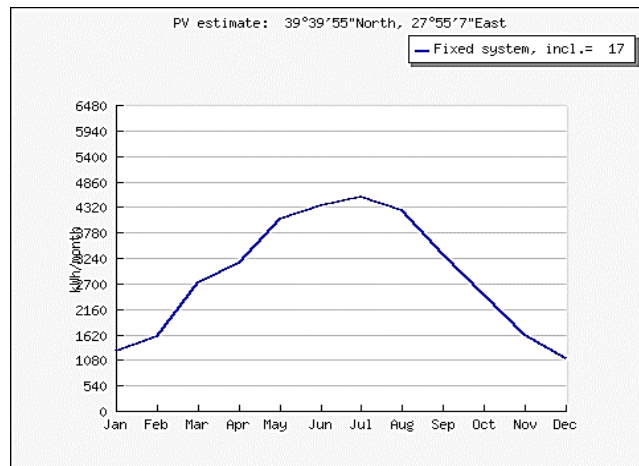
Tablo 5.19: PVGIS sistem modeli sonucu (kWh).

PVGIS - SARA2		Ortalama Enerji Üretimi (kWh)	
Ay	Grup 1 (59°)	Grup 2 (239°)	
Ocak	906	1.343	
Şubat	1.216	1.611	
Mart	2.137	2.575	
Nisan	2.942	3.324	
Mayıs	3.641	3.897	
Haziran	4.040	4.193	
Temmuz	4.378	4.682	
Ağustos	3.819	4.322	
Eylül	2.755	3.326	
Ekim	1.805	2.467	
Kasım	1.093	1.726	
Aralık	804	1.265	
Toplam	29.536	34.730	
Genel Toplam	64.266		

PVGIS program ile GES için yapılan simülasyon sonuçları EK-B’de paylaşılmıştır. Örnek sonuç tablosunun bir bölümü Şekil 5.5’te gösterilmiştir.

Fixed system: inclination=17°, orientation=59°

Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	40.90	1270	1.90	58.9
Feb	56.00	1570	2.61	73.2
Mar	87.60	2720	4.15	129
Apr	104.00	3130	5.07	152
May	131.00	4060	6.55	203
Jun	146.00	4370	7.42	223
Jul	146.00	4540	7.54	234
Aug	137.00	4240	7.06	219
Sep	110.00	3310	5.54	166
Oct	79.70	2470	3.87	120
Nov	53.20	1600	2.54	76.3
Dec	36.00	1120	1.69	52.3
Yearly average	94.2	2.870	4.67	142
Total for year	34.400		1710	



Şekil 5.5: PVGIS örnek hesap sonucu.

5.4.2 PVWatts Programı ile Enerji Üretim Tahmini

Amerikan Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarları'nın (NREL National Renewable Energy Laboratory) sunmuş olduğu NREL's PVWatts Calculator programı ücretsiz olarak kullanılabilen bir güneş enerjisi hesaplama programıdır. Programa <http://pvwatts.nrel.gov/> linkinden ulaşılabilir. PVWatts programı ile sözkonusu güneş enerji santrali için hesaplamalar yapıldığında ortalama aylık ve yıllık enerji üretim miktarı öngörüsü Tablo 5.20'de belirtilmiştir [55].

Tablo 5.20: PVWatts sistem modeli sonucu (kWh).

PVWATT - NREL	Ortalama Enerji Üretimi (kWh)	
	Ay	Grup 1 (59°)
Ocak	1.131	1.615
Şubat	1.462	1.906
Mart	2.469	3.053
Nisan	2.853	3.193
Mayıs	3.957	4.180
Haziran	4.482	4.643
Temmuz	4.571	4.798
Ağustos	4.008	4.439
Eylül	3.049	3.697
Ekim	2.070	2.704
Kasım	1.305	1.902
Aralık	898	1.262
Toplam	32.255	37.392
Genel Toplam	69.647	

5.4.3 PVSYST Programı ile Enerji Üretim Tahmini

PVSYST programı sektörde çok yaygın şekilde kullanılan ücretli ve deneme sürümleri bulunan profesyonel bir güneş enerjisi hesaplama programıdır. Programa <http://www.pvsyst.com/en/> linkinden ulaşılabilir. PVSYST programı ile söz konusu güneş enerji santrali için hesaplamalar yapıldığında aylık ve yıllık enerji üretim miktarı öngörüsü Tablo 5.21'de belirtilmiştir [61].

Tablo 5.21: PVSYST sistem modeli sonucu (kWh).

PVSYST	Ortalama Enerji Üretimi (kWh)	
	Ay	Grup 1 (59°)
Ocak	1.253	1.889
Şubat	1.484	1.990
Mart	2.602	3.217
Nisan	3.454	3.868
Mayıs	4.493	4.768
Haziran	4.979	5.114
Temmuz	5.168	5.370
Ağustos	4.497	4.949
Eylül	3.288	3.974
Ekim	2.240	2.989
Kasım	1.362	2.049
Aralık	977	1.528
Toplam	35.797	41.705
Genel Toplam	77.502	

PVSYST programı ile GES için yapılan simülasyon sonuçları EK-D’de paylaşılmıştır.

5.5 Enerji Üretim Tahmin Sonuçlarının Karşılaştırılması

Balıkesir ilinde bir işletmenin çatısında uygulaması yapılmış olan 54 kWp gücünde bir güneş enerji santralinde incelemelerde bulunulmuş, tesisin 2016 ile 2010 yılları arasında aylık enerji üretim verileri temin edilmiştir. Güneş enerji santralinin enerji üretim tahminleri tasarlanan model, PVGIS, PVSYST ve PVWATT programları ile yapılmıştır.

Güneş enerji santralinin 2016 yılından 2020 yılına kadarki dönem için, gerçek üretim değerleri ile analog model MGM verileri, SARA2 verileri ile elde ettiği sonuçlar, derin öğrenme modeli SARA2 verileri ile elde ettiği sonuçlar ve PVGIS programının yine SARA2 veritabanı verileri ile üretmiş olduğu sonuçlar Tablo 5.22’de ayrıntılı olarak karşılaştırılmıştır.

Bu doğrultuda analiz için kullanılan verilerin model ve programlardan elde edilen sonuçlarının da karşılaştırılması aynı veri setleri ile sonuca ne kadar doğru yaklaşıldığının tespiti açısından önemlidir.

Tablo 5.22: Model yıllık sonuç karşılaştırması.

Program	Grup 1 (59°) (kWh)	Grup 2 (239°) (kWh)	Toplam (kWh)	Oran (%)
2016 GES Üretimi	28.176	34.577	62.752	-
2016 Analitik Model - MGM	28.756	36.666	65.422	4%
2016 Analitik Model - SARA2	28.090	35.623	63.713	2%
2016 Derin öğrenme Modeli - SARA2	31.932	37.197	69.129	10%
2016 PVGIS - SARA2	31.298	37.233	68.531	9%
2017 GES Üretimi	26.954	32.962	59.916	-
2017 Analitik Model - MGM	26.372	31.179	57.551	-4%
2017 Analitik Model - SARA2	27.031	34.230	61.261	2%
2017 Derin öğrenme Modeli - SARA2	30.711	35.423	66.134	10%
2017 PVGIS - SARA2	30.103	35.431	65.534	9%
2018 GES Üretimi	25.432	30.830	56.262	-
2018 Analitik Model - MGM	26.817	31.470	58.287	4%
2018 Analitik Model - SARA2	26.266	33.585	59.851	6%
2018 Derin öğrenme Modeli - SARA2	30.361	34.955	65.316	16%
2018 PVGIS - SARA2	29.760	34.977	64.737	15%
2019 GES Üretimi	26.415	31.882	58.297	-
2019 Analitik Model - MGM	28.166	32.031	60.197	3%
2019 Analitik Model - SARA2	27.724	35.212	62.936	8%
2019 Derin öğrenme Modeli - SARA2	31.690	36.614	68.304	17%
2019 PVGIS - SARA2	31.076	36.632	67.708	16%
2020 GES Üretimi	24.551	30.333	54.884	-
2020 Analitik Model - MGM	23.816	29.519	53.335	-3%
2020 Analitik Model - SARA2	27.792	35.416	63.208	15%
2020 Derin öğrenme Modeli - SARA2	31.618	36.793	68.411	25%
2020 PVGIS - SARA2	30.981	36.827	67.808	24%
2016-2020 GES Ortalama	26.305	32.117	58.422	-
2016-2020 Analitik Model MGM Ortalama	26.785	32.173	58.958	1%
2016-2020 Analitik Model SARA2 Ortalama	27.381	34.813	62.194	6%
2016-2020 Derin öğrenme Modeli SARA2 Ortalama	31.262	36.196	67.459	15%
2016-2020 PVGIS SARA2 Ortalama	30.644	36.220	66.864	14%

Tablo 5.3 ile Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te de belirtildiği üzere proje dosyasında güneş enerji santralının Grup 1 için 32.596 kWh, Grup 2 için 36.618 kWh ve toplamda 69.214 kWh yıllık enerji üretimi yapacağı öngörülmüştür. Sistemin beş yıllık enerji üretimi ortalaması Grup 1 için 26.305 kWh, Grup 2 için 32.117 kWh olarak hesaplanmıştır. Proje hesabı ile üretim ortalaması karşılaştırıldığında projede %18 daha fazla enerji üretimi beklendiği görülmüştür.

Tablo 5.22'de 2016 yılı üretim ve aynı yıla ait veriler ile tahminler incelendiğinde; GES toplam üretiminin 62.752 kWh olarak gerçekleştiği, analitik modelin MGM verileri ile %4 sapma ile 65.422 kWh, SARA2 verileri ile %2 sapma ile 63.713 kWh, derin öğrenme modelinin SARA2 verileri ile %10 sapma ile 69.129 kWh, PVGIS programının ise %9 sapma ile 68.531 kWh enerji üreteceği tahmin edilmiştir.

Tablo 5.22'de 2017 yılı üretim ve aynı yıla ait veriler ile tahminler incelendiğinde; GES toplam üretiminin 59.916 kWh olarak gerçekleştiği, analitik modelin MGM verileri ile %4 sapma ile 57.551 kWh, SARA2 verileri ile %2 sapma ile 61.261 kWh, derin öğrenme modelinin SARA2 verileri ile %10 sapma ile 66.134 kWh, PVGIS programının ise %9 sapma ile 65.534 kWh enerji üreteceği tahmin edilmiştir.

Tablo 5.22'de 2018 yılı üretim ve aynı yıla ait veriler ile tahminler incelendiğinde; GES toplam üretiminin 56.262 kWh olarak gerçekleştiği, analitik modelin MGM verileri ile %4 sapma ile 58.287 kWh, SARA2 verileri ile %6 sapma ile 59.851 kWh, derin öğrenme modelinin SARA2 verileri ile %16 sapma ile 65.316 kWh, PVGIS programının ise %15 sapma ile 64.737 kWh enerji üreteceği tahmin edilmiştir.

Tablo 5.22'de 2019 yılı üretim ve aynı yıla ait veriler ile tahminler incelendiğinde; GES toplam üretiminin 58.297 kWh olarak gerçekleştiği, analitik modelin MGM verileri ile %3 sapma ile 60.197 kWh, SARA2 verileri ile %8 sapma ile 62.936 kWh, derin öğrenme modelinin SARA2 verileri ile %17 sapma ile 68.304 kWh, PVGIS programının ise %16 sapma ile 67.708 kWh enerji üreteceği tahmin edilmiştir.

Tablo 5.22'de 2020 yılı üretim ve aynı yıla ait veriler ile tahminler incelendiğinde; GES toplam üretiminin 54.884 kWh olarak gerçekleştiği, analitik modelin MGM verileri ile %3 sapma ile 53.335 kWh, SARA2 verileri ile %15 sapma ile 63.208 kWh, derin öğrenme

modelinin SARA2 verileri ile %25 sapma ile 68.411 kWh, PVGIS programının ise %24 sapma ile 67.808 kWh enerji üreteceği tahmin edilmiştir.

Tablo 5.22’de 2016-2020 dönemi üretim ve aynı döneme ilişkin tahminlerin ortalaması incelendiğinde; GES ortalama üretiminin 58.422 kWh olarak gerçekleştiği, analitik modelin MGM verileri ile %1 sapma ile 58.958 kWh, SARA2 verileri ile %6 sapma ile 62.194 kWh, derin öğrenme modelinin SARA2 verileri ile %15 sapma ile 67.459 kWh, PVGIS programının ise %15 sapma ile 66.864 kWh enerji üreteceği tahmin edilmiştir.

Söz konusu tablonun incelenmesi sonucunda modelin hem yıllık hem de ortalama değerler açısından her dönem için daha doğru ve hassas sonuçlar verdiği, özellikle MGM verileri ile daha sağlıklı sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Tablo 5.23: Model ortalama sonuç karşılaştırması.

Program 2016-2020	Grup 1 (59°) (kWh)	Grup 2 (239°) (kWh)	Toplam (kWh)	Oran (%)
GES Ortalama	26.305	32.117	58.422	-
Analitik Model MGM Ortalama	26.785	32.173	58.958	1%
Analitik Model SARA2 Ortalama	27.381	34.813	62.194	6%
Derin öğrenme SARA2 Ortalama	31.262	36.196	67.459	15%
PVGIS SARA2 Ortalama	30.644	36.220	66.864	14%
PVGIS Sonucu	29.536	34.730	64.266	10%
PVWATT Sonucu	32.254	37.393	69.647	19%
PVSYST Sonucu	35.797	41.706	77.503	33%

Benzer şekilde, güneş enerji santralının 2016 yılından 2020 yılına kadarki dönem için, gerçek üretim değerleri ile analitik modelin MGM verileri, PVGIS-SARA2 verileri ile elde ettiği sonuçlar, derin öğrenme modelinin SARA2 verileri ile elde edilen sonuçlar ve PVGIS programının yine SARA2 veritabanı verileri ile üretmiş olduğu sonuçların ortalama değerleri, PVGIS, PVWatts ve PVSYS programlarının ortalama verileriyle yapmış olduğu hesaplama sonuçları ile Tablo 5.23’te ayrıntılı olarak karşılaştırılmıştır.

GES ortalama üretiminin 58.422 kWh olarak gerçekleştiği göz önünde bulundurularak, PVGIS programının %10 sapma ile 64.266 kWh, PVWatts programının %19 sapma ile 69.647 kWh, PVSYST programının ise %33 sapma ile 77.503 kWh ortalama enerji üreteceği tahmin edilmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde modelin açılabilir farklılıklar, aylık çözünürlükte ve yıllık çözünürlükteki sonuçlar açısından çok daha doğru sonuçlar verdiği görülmektedir.

Hesaplama programlarında sistem ile ilgili istenen girdiler benzerlik göstermesine rağmen elde edilen sonuçlarda farklılıklar dikkate çarpmaktadır. Programlarda temel girdi olarak sistem panel maksimum gücü, koordinat bilgisi, meteoroloji verisi, montaj yönü ve açısı, panel tipi ve kayıp oranı yer almaktadır. Tablo 5.24'te kullanılan programların hesaplamalar için kullandığı girdi ve sonuç parametreleri belirtilmiştir. Hesaplama sonucunda sistemin aylara göre ve yıllık toplam enerji üretimi öngörüsü verilmektedir.

Tablo 5.24: Girdi/sonuç tablosu.

Program	Girdi	Sonuç
Analitik Model	Konum / Koordinatlar	AC Sistem Çıkışı(kWh)
	Meteoroloji verileri	Güneş Radyasyonu (kWh/m ² /gün)
	PV Katalog Değerleri	Dizi Işınım Düzlemi (W/m ²)
	Sistem Kayıpları (%)	DC dizisi Çıkışı (kWh)
	Eğim (°)	Güneş Konumu ve Açıları
	Azimut (°)	PV gerilim, akım ve güç değerleri
	Panel yaşı (yıl)	Hücre Sıcaklığı (°C)
		Geliş açısı (%)
Derin öğrenme Modeli	Meteoroloji verileri	AC Sistem Çıkışı(kWh)
	Eğim (°)	
	Azimut (°)	
		Gün Uzunluğu (saat)
PVGIS	Konum / Koordinatlar	Yıllık PV enerji üretimi (kWh)
	Meteoroloji veritabanı	Yıllık uçak içi ışınlama (kWh/m ²)
	PV teknolojisi	Yıldan yıla değişkenlik (kWh)
	Kurulu tepe PV gücü (kWp)	Toplam kayıp (%)
	Sistem kayıpları (%)	
	Sabit montaj seçenekleri	
	Eğim (°)	
	Azimut (°)	
PVWATT	Konum / Koordinatlar	AC Sistem Çıkışı (kWh)
	DC Sistem Büyüklüğü (kW)	Güneş Radyasyonu (kWh/m ² /gün)
	Meteoroloji verileri	Dizi Işınım Düzlemi (W/m ²)
	Modül Tipi	DC dizisi Çıkışı (kWh)
	Dizi Türü	Değer (\$)
	Sistem Kayıpları (%)	
	Eğim (°)	
	Azimut (°)	

Tablo 5.25: Parametre karşılaştırma tablosu.

Parametre	Analitik	Derin öğrenme	PVGIS	PVWATT
Direkt Radyasyon (W/m ²)	x	x	x	x
Difüz Radyasyon (W/m ²)	x	x	x	x
Yansıyan Radyasyon (W/m ²)	x		x	
Ortam Sıcaklığı (C)	x	x	x	x
Rüzgar Hızı (m/s)	x	x	x	x
Yüzey Etkin Radyasyon (W/m ²)	x			x
Hücre Sıcaklığı (C)	x			x
DC Panel Çıkışı (W)	x			x
AC Sistem Çıkışı (W)	x	x	x	x
Güneş Yükseklik Açısı (°)	x		x	
Sapma Açısı (°)	x			
Azimut Açısı (°)	x			
Saat Açısı	x			
Yüzey Geliş Açısı (°)	x			
Gün Uzunluğu (saat)	x			
LST Yerel Güneş Saati (saat)	x			
PV Maksimum Güç (W)	x			
PV Açık Devre Gerilimi (V)	x			
PV Kısa Devre Akımı (A)	x			

Analitik model ile panel gruplarının güney istikametinde ve 30° açı ile montajının yapılması halinde ortalama %15 daha fazla enerji üreteceği hesaplanmaktadır. Bu doğrultuda sistemin ideal istikamet ve açıda çalışması halinde 58.422 kWh/yıl olan ortalama yıllık üretimin yaklaşık 8.763 kWh/yıl artışla 67.185 kWh/yıl değerine ulaşacağı tahmin edilmektedir.

6. GES ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Güneş enerji santrali tasarımında invertör gücü seçiminin sistemin boyutlandırması ve etkinliği anlamında, panel yönünün ise enerji üretim miktarında büyük fark ortaya koyduğu görülmüştür. Bu nedenle elde edilen sonuçlar ışığında söz konusu etkenlerin sistemin tasarımındaki etkilerini mercek altına alarak daha ayrıntılı incelemenin faydalı olacağı değerlendirilmiştir.

6.1 Güneş Enerji Santralinde İvertör Gücü Seçiminin Üretime Etkisi

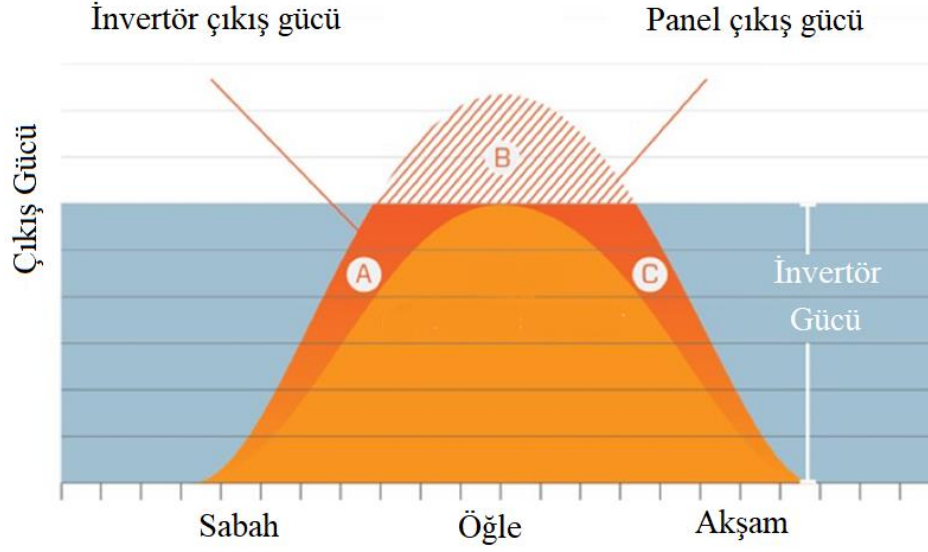
Fotovoltaik enerji santrallerinin projelendirilmesinde önemli kavramlardan biri de DC/AC çevirme oranıdır. Panel gücünün maksimum değeri belirlenmekle birlikte, bu güç değeri için projeye, duruma ve ortama uygun olarak invertör gücünün belirlenmesi sistem verimi açısından önem arz etmektedir.

Bu bölümde, invertör seçiminde belirleyici bir parametre olan DC/AC oranının bir güneş enerjisi santralının boyutlandırılmasındaki etkisi araştırılmıştır. 5. bölümde hesaplamaları yapılan santralin invertör girişindeki DC enerjisi hesaplanmış, elde edilen sonuçlar gerçek üretim değerleri ile karşılaştırılmış ve uyumlu bulunmuştur. Simülasyon ile PV santrallerin farklı güçteki, yani farklı DC/AC oranlarındaki invertörlerin enerji üretimi üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır.

İvertör verimliliği veri sayfasında sabit olarak verilmektedir, ancak aslında verim düşük güç değerlerinde hızla düşmektedir. Bu nedenle sistem sonuçlarını tahmin etmek için farklı invertör güçleri kullanılmıştır. Tahmin sonuçlarına göre, bu yüksek invertör gücü daha yüksek sistem kayıplarına, ancak daha düşük kırpma kayıplarına neden olur.

Sistem boyutlandırılırken trafo gücünün, kablo kesitinin ve konnektörlerin azalacağı göz önünde bulundurulur. Sonuçta sistem kurulum maliyeti invertör gücü ile azalacaktır.

Popüler inanın aksine, yüksek güçlü bir invertör, her zaman daha fazla enerji üretimi anlamına gelmez. Doğru boyutta bir invertör, küçük olsa bile sistemin daha verimli çalışmasını ve daha fazla güç üretmesini sağlayabilir. Bu nedenle optimum DC/AC oranının tespiti için kullanılan iterasyon yöntemi ve güç eğrisi yöntemleri mevcut GES için uygulanmış ve sonuçları incelenmiştir.



Şekil 6.1: PV sistem için DC/AC oranının etkisi.

Şekil 6.1’de de görüldüğü gibi invertör gücünün Panel DC gücünün üzerinde olması halinde invertör tam kapasite çalışmayacağı için düşük verimde çalışma ve/veya sabit kayıplarının yüksek olması durumunu ortaya çıkarır. İntertör gücünün çok düşük seçilmesi halinde de sürekli kırılmaya ve invertör için aşırı yüklenmeye neden olur. DC/AC oranı için bazı genel kabuller olsa da, bu değerler her proje için optimum çözümü ifade etmemektedir.

Tablo 6.1: Farklı DC/AC oranları için örnek üretim karşılaştırması.

Senaryo	Standart	Agresif	Toleranslı
PV Dizisi Gücü	9 kW	9 kW	9 kW
İntertör Gücü	7,6 kW	6 kW	10 kW
DC/AC Oranı	1,18	1,5	0,9
Kırpma Kaybı	0,10%	2,20%	0,10%
Enerji Çıkışı	13.882 kWh	13.582 kWh	13.882 kWh

İntertör verimliliği veri sayfasında sabit olarak verilmektedir, ancak aslında verim düşük güç değerlerinde hızla düşmektedir. Bu nedenle düşük güç değerlerinde daha gerçekçi sonuçlar tahmin etmek için Şekil 3.23’te belirtilen invertör verimlilik modülü kullanılmıştır.

FV sistemde kullanılan invertörler, panellerin ürettiği DC enerjiyi yüksek verimle AC enerjisine dönüştürmek için tasarlanmıştır. Sistem her koşulda maksimum güç noktasını

takip eder. Düşük ışınlama sırasında sistemin sabit kayıpları da önemlidir ve sistemin verimi hızla düşer.

Kurulu GES'nin DC gücünün 27.000 W, invertör çıkış gücünün ise 27.500 VA olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, DC/AC oranı yaklaşık 1'dir. Yapılan hesaplamalarda gerçek sistemin katalog değerleri kullanılmıştır.

Tablo 5.22'den de görüleceği üzere, 2020 yılında GES tarafından 54.883 kWh enerji üretilmiştir. MGM 2020 meteoroloji verileri kullanılarak analog model ile sistemin 53.335 kWh enerji üreteceği hesaplanmıştır. Karşılaştırma tablosunda üretilen ile hesaplama sonuçları arasında %2,8'lik bir sapma gözlemlenmiştir. Sonuçlar, her iki PV grubu için farklı açı değerlerinde kararlı ve gerçekçidir. Bu nedenle incelemeler için 2020 yılı üretim verileri üzerinden hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 6.2: DC/AC oranının 2020 yılı enerji üretimine etkisi.

Grup -1					
DC/AC Oranı	Güç (W)	Giriş (kWh)	Çıkış (kWh)	Kırpılma (kWh)	Oran (%)
0,8	33.750	23.843	23.843	0	0,0%
0,9	30.000	23.893	23.893	0	0,0%
1,0	27.000	23.929	23.926	4	0,0%
1,1	24.500	23.956	23.916	40	0,2%
1,2	22.500	23.975	23.844	131	0,5%
1,3	20.750	23.988	23.714	274	1,1%
1,4	19.300	23.997	23.521	476	2,0%
1,5	18.000	24.002	23.266	736	3,1%

Grup -2					
DC/AC Oranı	Güç (W)	Giriş (kWh)	Çıkış (kWh)	Kırpılma (kWh)	Oran (%)
0,8	33.750	29.544	29.544	0	0,0%
0,9	30.000	29.609	29.605	4	0,0%
1,0	27.000	29.658	29.558	100	0,3%
1,1	24.500	29.693	29.369	324	1,1%
1,2	22.500	29.718	29.123	595	2,0%
1,3	20.750	29.736	28.810	926	3,1%
1,4	19.300	29.748	28.483	1.265	4,3%
1,5	18.000	29.755	28.152	1.603	5,4%

Farklı DC/AC oranları için Grup 1 ve Grup 2 yıllık enerji üretimlerinin karşılaştırmaları Tablo 6.2'de verilmiştir. DC/AC=1 için Grup 1'in 23.926 kWh, Grup 2'nin ise 29.558 kWh

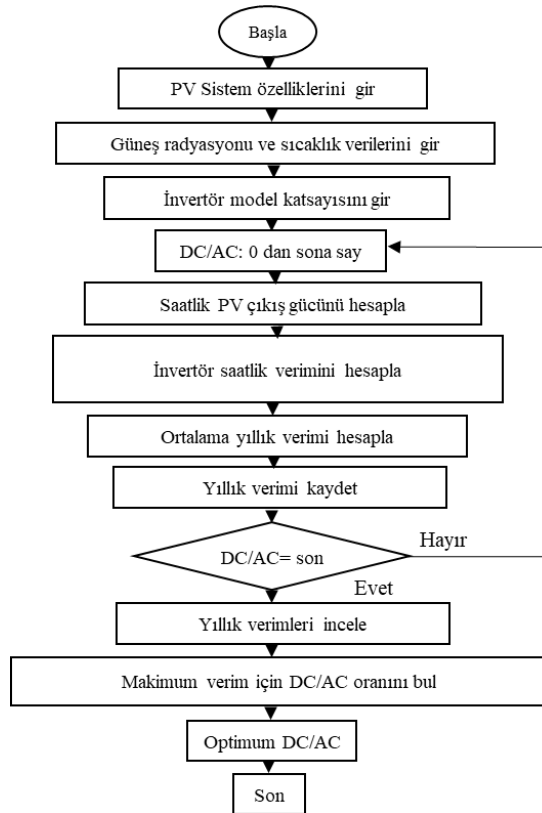
üreteceği hesaplanmıştır. DC/AC=1,5 için Grup 1'in %3,1 ve Grup 2'nin DC/AC=1'den %5,1 daha az enerji üreteceği tahmin edilmektedir. DC/AC= 1,5 için sistem gücü düşmesine rağmen, yüksek DC/AC oranında üretilen enerjinin düşük güçlerde invertörün daha verimli çalışmasına bağlı olarak daha yüksek oluşu dikkat çekicidir. Sistem boyutlandırılırken invertör gücü ile birlikte trafo gücünün, kablo kesiti ve şalt malzeme anma değerleri düşecek ve buna bağlı olarak sistem kurulum maliyeti azalacaktır.

6.1.1 Optimum Boyutlandırma Oranının Belirlenmesi

En uygun DC/AC oranı ile bir invertör seçmek için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu bölümde optimum DC/AC oranı, PV panelde üretilen enerji ve maksimum invertör verimliliği olmak üzere iki yöntem ile hesaplanmıştır. Yöntemler ve elde edilen sonuçlar hakkındaki bilgiler ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

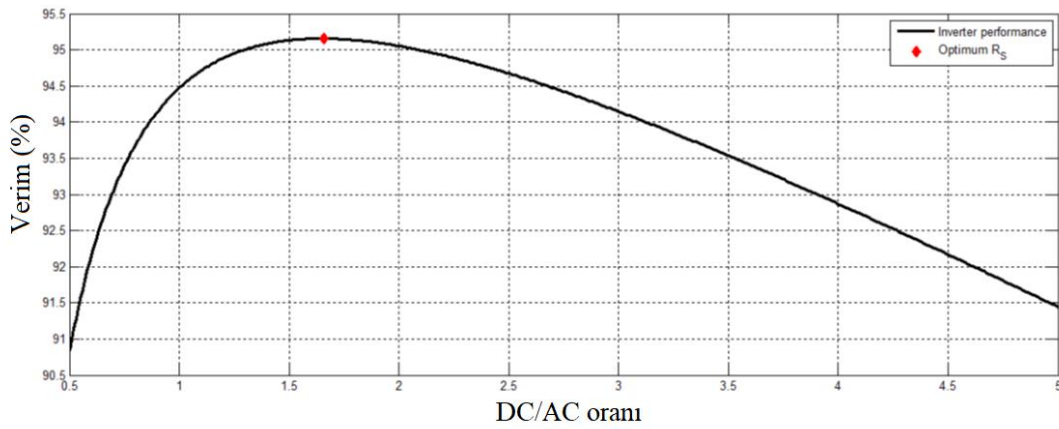
6.1.1.1 İteratif Yöntem

Şekil 6.2'de, şebeke bağlantılı bir PV sisteminde invertör boyutu için önerilen optimizasyon algoritmasını göstermektedir.



Şekil 6.2: İnvertör optimum verim akış diyagramı.

Başlangıçta, PV dizisinin nominal gücü, sıcaklık katsayısı, PV modülünün konumu ve yönü gibi PV sistem parametreleri belirlenir. Bu parametreler ile invertör giriş DC gücünü elde etmek için saatlik güneş ışınımı ve ortam sıcaklığı kayıtları kullanılır. Daha sonra, yineleme ile invertör verimliliğini hesaplamak için DC giriş gücü değerleri kullanılmıştır. DC/AC oranı döngüsü 0,5 ila 5 aralığında ayarlanmıştır. PV dizisi çıkışı, PV modeli kullanılarak saatlik olarak hesaplanır. Daha sonra yıllık ortalama verim hesaplanır. Döngü, DC/AC oranı maksimum değerine ulaşana kadar tekrarlanır. Son olarak, R_s maksimum değerine ulaştığında, maksimum verim için optimum DC/AC oranı bulunur. Şekil 6.3'te invertör boyutlandırma için kullanılan DC/AC oranı ve verim ilişkisi tablosu verilmiştir.



Şekil 6.3: İnvvertör verimi ile DC/AC oranının ilişkisi.

Tablo 6.3'te Grup 1 için 0,5 basamak kullanılarak DC/AC oranı 0,5 ile 5 arasında değiştirilerek dönüşüm verimi ve enerji üretim değerleri elde edilmiştir. Grup 1 için optimum invertör gücü 21.094 W ve DC/AC oranı 1,28 olarak hesaplanmıştır. Bu değer için invertörün ortalama %91,55 verimle çalışacağı ve yılda 23.747 kWh enerji üreteceği tahmin edilmektedir.

Tablo 6.3: DC/AC oranının Grup 1 enerji üretimine etkisi.

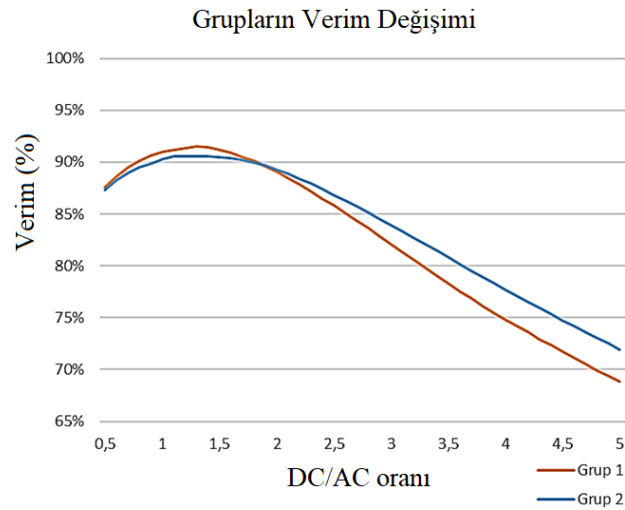
Grup -1			
DC/AC Oranı	İnvertör Gücü (W)	İnvertör Verimi (%)	Üretilen Enerji (kWh)
0,5	54.000	87,58%	23.531
1,0	27.000	91,04%	23.926
1,5	18.000	91,15%	23.266
2,0	13.500	89,04%	21.628
2,5	10.800	85,82%	19.743
3,0	9.000	82,11%	17.901
3,5	7.714	78,31%	16.264
4,0	6.750	74,80%	14.847
4,5	6.000	71,73%	13.633
5,0	5.400	68,83%	12.601
Verime göre optimum DC/AC oranı			
1,28	21.094	91,55%	23.747

Tablo 6.4'te DC/AC oranının 0,5 ile 5 arasında 0,5'lik adımlarla değiştirilmesiyle elde edilen dönüşüm verimi ve enerji üretim değerleri Grup 2 için sunulmuştur. Grup 2 için optimum invertör gücü 20.000 W ve DC/AC oranı 1,35 olarak hesaplanmıştır. Bu değer için invertörün bir yıl boyunca ortalama %90,62 verimle çalışacağı ve 28.645 kWh enerji üreteceği tahmin edilmektedir.

Tablo 6.4: DC/AC oranının Grup 2 enerji üretimine etkisi.

Grup -2			
DC/AC Oranı	İnvertör Gücü (W)	İnvertör Verimi (%)	Üretilen Enerji (kWh)
0,5	54.000	87,35%	29.139
1,0	27.000	90,32%	29.558
1,5	18.000	90,49%	28.152
2,0	13.500	89,28%	26.332
2,5	10.800	86,84%	24.310
3,0	9.000	83,90%	22.278
3,5	7.714	80,82%	20.444
4,0	6.750	77,72%	18.813
4,5	6.000	74,72%	17.369
5,0	5.400	71,95%	16.102
Verime göre optimum DC/AC oranı			
1,35	20.000	90,62%	28.645

Şekil 6.4'te her iki grubun DC/AC oranına göre verim eğrileri karşılaştırılmış ve birbirine yakın noktalarda verimin maksimum olduğu görülmüştür.



Şekil 6.4: Grupların invertör DC/AC oranı ile veriminin değişim eğrisi.

6.1.1.2 Enerji Üretim Eğrisi Yöntemi

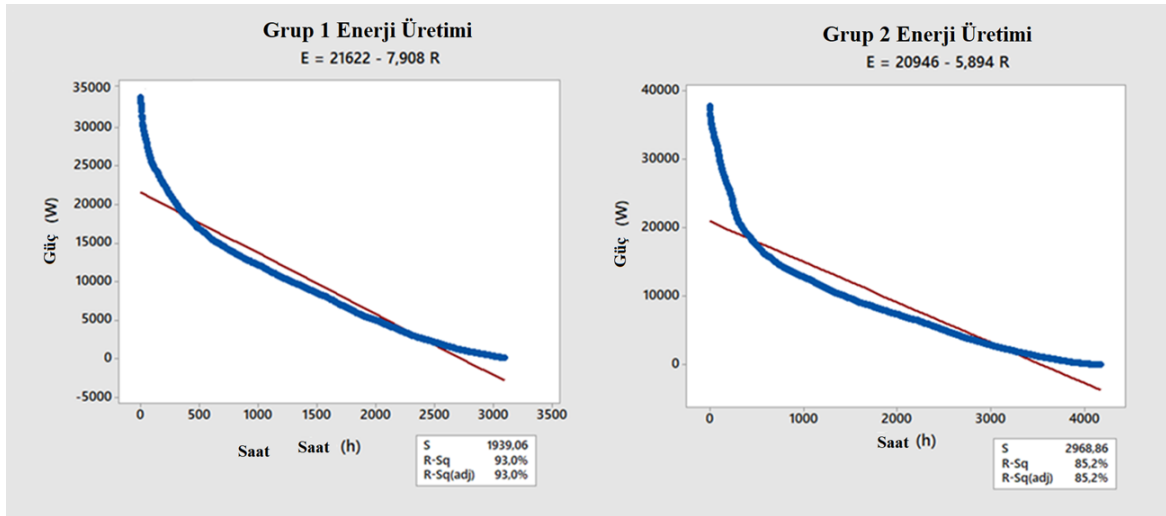
Bu hesaplama yöntemi, PV panellerin saatlik enerji üretimini analiz ederek optimum invertör gücünü belirler.

Optimal boyutta bir invertör ile bir GES sisteminin ön tasarımı için ilk adım, yerel iklim verilerinden alınan girdilerle uygun bir güç modeli kullanarak DC güç profilini oluşturmaktır. Öncelikle panel yüzeyine gelen ışınım verilerinden üretilen DC enerji yön ve açı bilgilerine bağlı olarak saatlik olarak hesaplanır. Üretilen enerji verilerinin zaman ekseninde yüksek değerlerden düşüğe doğru yerleştirilmesiyle yıllık enerji üretim grafiği oluşturulur. Ardından, DC güç zaman eğrisine ve lineer simülasyon eğrisinin hat orijin kesişimine dayalı olarak uygun bir invertör boyutlandırması yapılır.

İnvertörün DC giriş anlık güç formülü Denklem (6.1)'de verilmiştir.

$$P_{mpp}(t) = A \cdot t + P_{max} \quad (6.1)$$

Grup 1 ve 2 için GES' nin 2020 yılı güç üretimleri Şekil 6.5'te verilmiştir. İki grup için güç değerleri aynı olmasına rağmen azimut açısı farkından dolayı iki grup için grafiklerde eğriler arasında fark vardır. Sisteme ait grafiklere uyan lineer eğriler hesaplanmış ve şekilde gösterilmiştir.



Şekil 6.5: Güç eğrisi ve grupların doğrusal formülleri.

Grafikten elde edilen eğrilerin parametreleri Tablo 6.5'te verilmiştir.

Tablo 6.5: DC/AC oranı güç eğrisi parametreleri.

Grup	A Katsayısı	Pmax (kW)	R ²	DC/AC Oranı
Grup -1	-7,908	21.622	93,0%	1,25
Grup -2	-5,894	20.946	85,2%	1,29

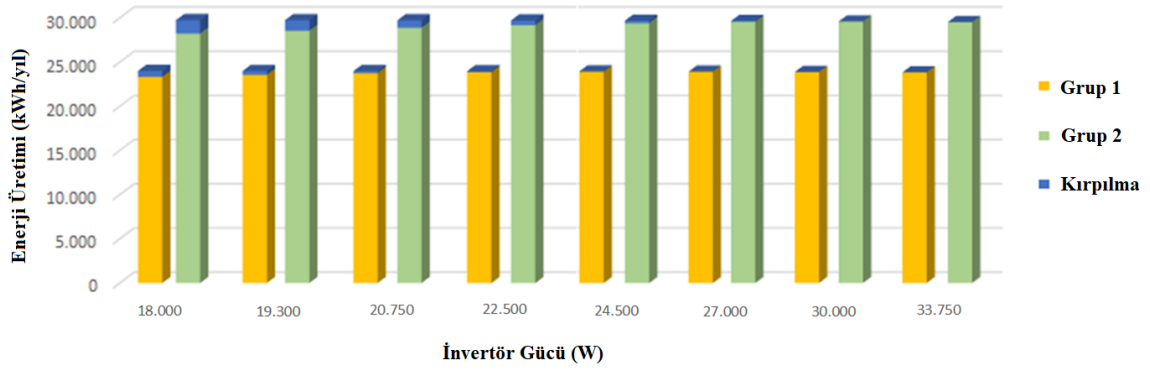
Tablodan da görülebileceği gibi, optimum invertör boyutları Grup 1 için 21.622 kW ve Grup 2 için 20.946 kW'tır.

Grup 1 için optimum invertör gücü olarak 21.622 kW belirlendiğinde, DC/AC oranı 1,25'tir. Benzer şekilde, 20.946 kW, Grup 2 için optimum invertör gücü olarak belirlendiğinde DC/AC oranı 1,29'dur. GES konumundaki radyasyona ve açılara bağlı olarak, invertöre gelen DC güç değeri DC anma gücünden daha düşüktür. Optimum verimlilik için daha düşük güçlü bir invertör seçilmesi önerilir.

Tablo 6.6: Optimum DC/AC oranının tespiti için yöntemlerin karşılaştırılması.

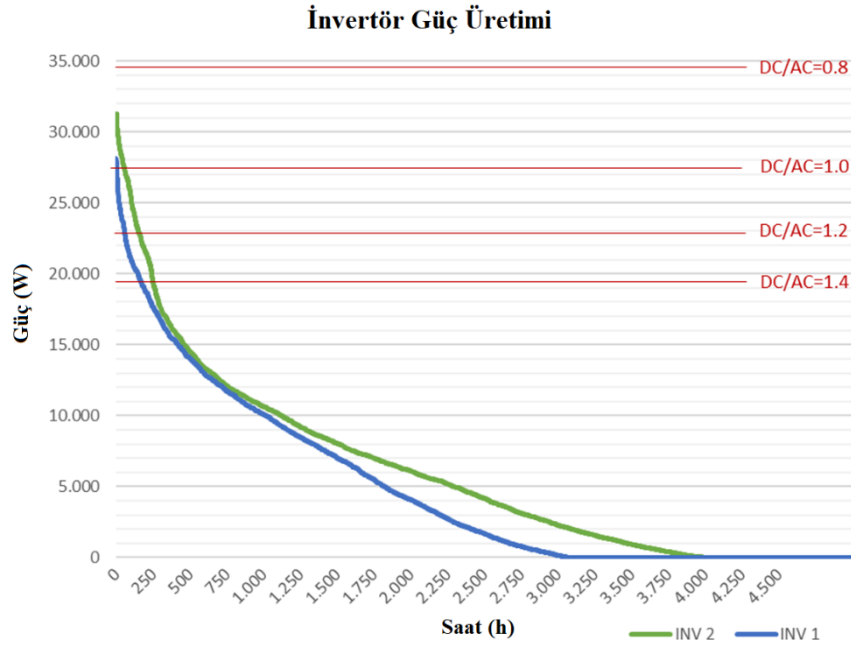
	İnvertör			Enerji		
	Güç (W)	DC/AC (-)	Verim (%)	Üretilen Enerji (kWh)	Kırılan Enerji (kWh)	Kayıp (%)
Verim Metodu						
Grup -1	21.094	1,28	91,55%	23.747	239	1,0%
Grup -2	20.000	1,35	90,62%	28.645	1.097	3,7%
Enerji Grafiği Metodu						
Grup -1	21.622	1,25	93,00%	23.789	193	0,8%
Grup -2	20.946	1,29	85,20%	28.850	884	3,0%

Grup 1 ve 2 için her iki yöntem de Tablo 6.6'da görüldüğü üzere yakın sonuçlar vermektedir. DC/AC oranı 1,25 ile 1,28 arasında seçilirse, optimum değer olarak kabul edilebilir, sistem yaklaşık %1'lik bir kırpma kaybı ile çalışacaktır. Bu sonuç, 27.000 W PV gücü için invertör gücü 21.000 W seçildiğinde, invertör gücü %28 azaltılsa bile %1 kırpma kaybı yaşanacağını göstermektedir. Grup 2 için DC/AC oranı 1,29 ile 1,35 arasında seçilmesi optimum değer olarak kabul edilebilir, sistem yaklaşık %3-3,7'lik bir kırpma ile çalışacaktır. Bu sonuç, PV gücü 27.000 W için invertör gücü 21.000 W seçildiğinde invertör gücü %28 azaltılsa bile %3-3,7 kayıp yaşanacağını göstermektedir.



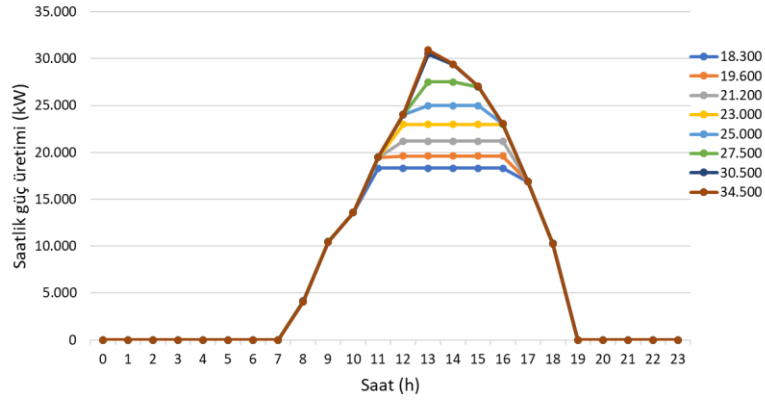
Şekil 6.6: GES için invertör gücü ile 2020 yılı enerji üretimi değişimi.

2020 yılı için Grup 1 ve 2'nin enerji üretimleri Watt/saat olarak Şekil 6.7'de gösterilmektedir. Farklı DC/AC oranları için üretimin kesileceği noktalar şekil üzerinde işaretlenmiştir. Kırılma enerjisi miktarı şekilde daha net görülebilir.



Şekil 6.7: DC/AC oranının 2020 yılı enerji üretimine etkisi.

Güneş enerjisi santralinin farklı invertör güçleri için 2020 yılının en yüksek elektrik üretim gününe göre modellenen enerji üretim eğrisi Şekil 6.8'de verilmiştir. Aynı gün için üretilen enerji ise Tablo 6.7'de verilmiştir.



Şekil 6.8: DC/AC oranının günlük enerji üretimine etkisi.

Tablo 6.7: DC/AC oranının günlük enerji üretimine etkisi.

DC/AC Oranı	İnvertör Gücü (W)	Üretilen Enerji (Wh)
1,5	18.000	163.453
1,4	19.300	171.257
1,3	20.750	178.679
1,2	22.500	187.432
1,1	24.500	195.448
1	27.000	202.953
0,9	30.000	208.344
0,8	33.750	209.246

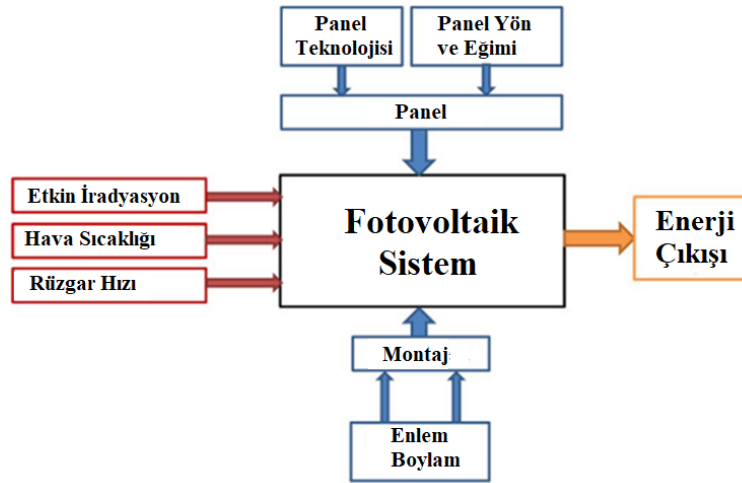
Şekilden de anlaşılacağı gibi, invertör, nominal gücün üzerinde kırpmaktadır. Üretilen en yüksek güç ile en düşük güç arasında %21 enerji farkı vardır. Ancak GES tüm yıl boyunca maksimum gücü üretmez, sonuç olarak sistemin ürettiği yıllık enerji farkı %5 mertebesindedir.

İncelenen GES de aynı güçtedir fakat simetrik yerleştirilmiş iki grup PV sistem barındırmaktadır. Enerji üretimleri incelendiğinde her iki grup arasında %19 enerji üretim farkı görülmektedir.

6.2 Panel Yönünün Enerji Üretimine Etkisi

Fotovoltaik güneş enerji sistemlerinin enerji üretimlerini etkileyen en önemli faktörlerden birisi de panel yönüdür. Bu bölümde; 39.7N kuzey, 27.9E doğu koordinatlarında 27 kWp

gücündeki güneş enerji santrali için panel yönünün enerji üretimine etkisi üzerinde çalışılmıştır.



Şekil 6.9: Güneş enerji santrali sistem şematığı.

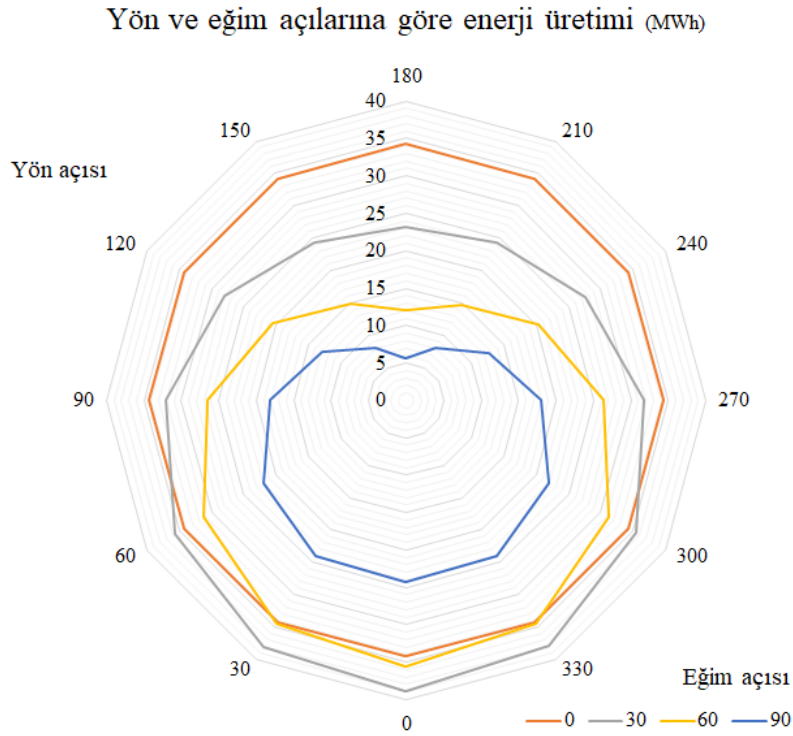
Enerji santrali fotovoltaik panellerinin yatayda ve düşeyde 30 derecelik açıları için hesaplamalar yapılmıştır. Panel eğim açısı (slope) 0-30-60-90° açıları için hesaplamalar yapılmıştır. Panel yön açısı (azimut) 0-30-60-90-120-150-180-210-240-270-300-330° açıları için hesaplamalar yapılmıştır. Farklı açı kombinasyonları için hesaplanan enerji üretim tahmin sonuçları karşılaştırılmıştır. PVGIS programı ile söz konusu güneş enerji santrali için hesaplamalar yapıldığında açılara göre yıllık enerji üretim miktarı öngörüsü Tablo 6.8’de belirtilmiştir.

Tablo 6.8: Yön ve eğim açısının GES enerji üretimine etkisi.

27kWp GES için 2020 yılı enerji üretimi (MWh/yıl)				
Azimuth (Yön) Açısı	Eğim Açısı			
	0°	30°	60°	90°
180°	34,3	23,1	12,1	5,6
210°	34,3	24,2	14,7	8,0
240°	34,3	27,7	20,4	12,8
270°	34,3	31,8	26,4	18,0
300°	34,3	35,4	31,2	22,0
330°	34,3	37,9	34,5	24,1
0°	34,3	38,9	35,6	24,3
30°	34,3	38,0	34,5	24,0
60°	34,3	35,6	31,3	22,0
90°	34,3	32,0	26,5	18,1
120°	34,3	27,9	20,5	12,9
150°	34,3	24,4	14,8	8,2
180°	34,3	23,1	12,1	5,6

Yapılan analiz sonucunda sistemin enerji üretiminin belirtilen koordinatlar için açıya bağlı olarak 5,6 MWh ile 38,9 MWh arasında değiştiği görülmüştür. Hesaplamalar sonucunda, panellerin en düşük enerjiiyi 180° azimut açısı ve 90° eğim açısı ile monte edilmesi durumunda 2020 yılı verileri ile yıllık 5,6 MWh enerji üreteceği öngörülmektedir. En yüksek enerji üretimi panellerin 0° azimut açısı ve 30° eğim açısı ile döşenmesi durumunda 38,9 MWh olarak hesaplanmıştır. Sistemin optimum noktası olarak belirlenen 31° eğim ve 3° azimut açısı ile panel montajı yapılması halinde, sistemin 2020 yılında 38,9 MWh enerji üreteceği öngörülmektedir.

Elde edilen sonuçların açısal olarak ifadesi Şekil 6.10'da verilmiştir.



Şekil 6.10: Fotovoltaik sistem açısı ile enerji üretim değişim eğrisi.

Elde edilen sonuçlar ışığında üretilen enerji miktarının panel açısına göre önemli ölçüde değiştiği görülmüştür. Kuzey yarımkürede kurulu sistemlerde, panel azimut yönünün güneşe ve eğim açısının mevcut enlem değerine eşit olacak şekilde monte edilmesi, maksimum enerji üretimi için optimum montaj yönünü bulmak için pratik bir yöntemdir.

7. SONUÇLAR

Güneş enerjisi santralının proje sürecinde öngörülen enerji üretim değerleri proje maliyetinin geri dönüş süresini doğrudan etkilediğinden hesaplamaların doğru yapılması büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda; güneş enerji santralının enerji üretim modeli ve üretim tahmin programı üzerinde bir çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmada 54 kWp kapasiteli enerji üretim santralının üretim tahmini ve gerçek üretim değerleri incelenmiş, santralin bulunduğu konum ve montaj açıları ile sistemde kullanılan PV panel ve invertörlerin kataloglarında yer alan karakteristik değerler kullanılarak daha gerçekçi hesap yapmaya yönelik bir analitik model ve az bilgi ile hızlı ve pratik hesaplamalar için bir derin öğrenme modeli oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar farklı üretim hesaplama programlarının sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Elektrik üretim tesisi kurulumu için bir yerin uygunluk değerlendirmesi, uzun vadeli ölçümler ve hesaplamalar gerektirir. Bu çalışmada, en yakın tahmin değerlerini bulmak için iki model tasarlanmıştır. Balıkesir'de kurulan 54 kWp GES üretim değerleri kullanılarak, tasarlanan modeller ile enerji üretim tahmin değerleri hesaplanmış ve sonuçlar farklı enerji üretim tahmin programları ile karşılaştırılmıştır. GES'in farklı açılara, yönlere ve kapasitelere sahip iki gruptan oluşması, hesaplamanın doğruluğunun karşılaştırılması açısından önemlidir. Geliştirilen analitik modelde sistemin saatlik meteorolojik verileri ve katalog değerlerini içeren enerji üretim hesaplamaları ile gerçek sistemin enerji üretimine en yakın tahmin değerlerini üretmek amaçlanmıştır. Analitik model, güneşin tüm açıları ve sistemin karakteristik verileri için hesaplamalar yapılmasına olanak sağlar. Geliştirilen model, PVWatts ve PVGIS programları ile enerji üretim sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma için bu programların meteoroloji verileri tasarlanan programa uygulanmış ve sonuçlar incelenmiştir. Analiz sonucunda tasarlanan analitik model ile aylık ve yıllık bazda daha gerçekçi ve daha yakın sonuçlar üretildiği gözlemlenmiştir. Bu modelin avantajı, diğer programlara kıyasla PV sisteminin daha fazla parametresinin izlenebilmesidir.

Analitik modelleme çalışması sonucunda MGM, PVGIS-SARAH2, ve NREL verileri kullanarak gerçek üretim değerlerine, veri kalitesine de bağlı olmakla birlikte, çok yakın değerler alınarak diğer programlardan daha hassas sonuçlar elde edilmiştir.

Sistemin üreteceği enerji miktarının sistemin farklı yön ve eğim açıları için SARAH2 meteoroloji veritabanı radyasyon, sıcaklık ve rüzgar verilerine bağlı olarak hesaplanmasına yönelik bir derin öğrenme modeli oluşturulmuştur. Model için 2019 yılı PVGIS programı

Üretim sonuçları referans alınmış ve sonuçlar modele öğretilmiştir. Modelin 2016-2020 yılları aralığında enerji üretim tahmini hesaplamaları yapılmış, PVGIS programı ile %1 den daha küçük bir hata ile doğru ve kararlı enerji üretim tahmini yapılabilmiştir. Sistemin öğretilen aırlardan farklı aırlar içinde testleri yapılmış, sağlıklı sonuçlar elde edilmiştir.

Tez süresince yüzlerce makale ve kaynak incelenmiş, her bir hesaplama için kullanılan formül ve bağıntuların inceleme ve karşılaştırması yapılarak modele en uygun şekilde uygulanmıştır.

Güneş enerji santralinin enerji üretimi incelendiğinde, Grup 2'nin Grup 1 panel grubuna göre %22 oranında daha fazla enerji ürettiği görülmektedir. Analog model ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde benzer şekilde %20 üretim fazlalığı n görülmektedir.

Elde edilen sonuçlar ışığında kullanılan programların, üretilen enerji miktarı ile hesaplanan tahmin değerleri arasında yıllık bazda %3-4 kadar, 5 yıllık ortalamada ise %1 kadar bir fark oluştuğu grlmştir.

Güneş enerji santralinin verimliliğine etki eden iki önemli faktör, invertör boyutunun ve panel yönünün etkisi incelenmiştir. Optimum invertör boyutunun tespiti için iki farklı metod ile örnek hesaplamalar ve analizler yapılmıştır. Mevcut güneş enerji santrali için sistemin farklı invertör güçleri ile üreteceği enerji miktarı hesaplanarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Panel yönünün enerji üretimine etkisini incelemek yine mevcut sistem için yatayda 360°, düşeyde 90° için 30° aralıklar ile ayrıntılı analizler yapılmış, ynn sistem verimi üzerindeki etkisi örnek hesaplamalar ile göz önüne serilmiştir.

Tez çalışmasında yapılan modelleme ve hesaplamalar ile kurulacak güneş enerji santralleri için optimizasyon ve boyutlandırma konusunda referans teşkil edecek bilgiler paylaşılmaya çalışılmıştır. Analitik model ile çok daha hassas hesaplamalar ve ayrıntılı parametre analizleri yapmak mümkün iken, derin öğrenme modeli ile çok hızlı ve pratik hesaplamalar yapılabilmektedir.

Elde edilen bilgiler ışığında, GES kurulumu için proje hazırlanırken panel yönü ve açısının imkanlar dahilinde maksimum güç elde edilecek şekilde seçilmesinin, buna bağlı olarak da üretilebilecek maksimum güç değerine uygun invertör seçilerek sistemin maksimum verim ile işletilmesinin sağlanmasının, sistem kurulum maliyetlerinin düşürülmesi ve işletme karlılığı açısından büyük öneme sahip olduğu grlmştir.

8. KAYNAKLAR

- [1] *Türkiye’de enerji ve geleceği İTÜ Görüşü*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2007.
- [2] M. Demirtaş, “Güneş ve rüzgâr enerjisi kullanılarak şebeke ile paralel çalışabilen hibrit enerji santrali tasarımı ve uygulaması”, Doktora tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2008.
- [3] Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, <https://enerji.gov.tr/eigm>, Erişim tarihi: 01 Aralık 2022.
- [4] Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <https://www.mgm.gov.tr>, Erişim tarihi: 01 Aralık 2022.
- [5] Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA), <https://gepa.enerji.gov.tr>, Erişim tarihi: 01 Aralık 2022.
- [6] N. Gökmen, W. Hu, P. Hou, Z. Chen, D. Sera, S. Spataru, “Investigation of wind speed cooling effect on PV panels in windy locations”, *Renewable Energy*, vol. 90, pp. 283-290, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.01.017>.
- [7] A.M. Humada, S.Y. Darweesh, K.G. Mohammed, M. Kamil, S.F. Mohammed, N.K. Kasim, S. Mekhilef, “Modeling of PV system and parameter extraction based on experimental data: Review and investigation”, *Solar Energy*, vol. 199, pp. 742–760, Feb. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.02.068>.
- [8] W. Gu, T. Ma, M. Li, L. Shen, Y. Zhang, “A coupled optical-electrical-thermal model of the bifacial photovoltaic module”, *Applied Energy*, vol. 258, 114075, pp. 1-14, Oct. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114075>.
- [9] J.K. Copper, A.B. Sproul, “Comparative study of mathematical models in estimating solar irradiance for Australia”, *Renewable Energy*, vol. 43, pp. 130-139, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.11.050>.
- [10] C. Shen, Y.L. He, Y.W. Liu, W.Q. Tao, “Modelling and simulation of solar radiation data processing with Simulink”, *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 16(7), pp. 721–735, 2008.
- [11] G.M. Tina, C. Ventura, D. Sera, S. Spataru, “Comparative assessment of PV plant performance models considering climate effects”, *Electric Power Components and Systems*, vol. 45(13), pp. 1381–1392, 2017. <https://doi.org/10.1080/15325008.2017.1362072>.
- [12] A. Karafil, H. Ozbay, M. Kesler, H. Parmaksiz, "Calculation of optimum fixed tilt angle of PV panels depending on solar angles and comparison of the results with experimental study conducted in summer in Bilecik, Turkey" *ELECO 2015*, 2016, pp. 971-976.

- [13] S. Rustemli, F. Dincadam, M. Demirtas, "Performance comparison of the sun tracking system and fixed system in the application of heating and lighting", *Arabian Journal for Science and Engineering*. vol. 35, pp. 171-183, 2010.
- [14] M.F. Beyoğlu, "Balıkesir ilinde çift eksenli güneş takip sistemi ile sabit eksenli PV sistemin verimlerinin karşılaştırılması", Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2011. <https://hdl.handle.net/20.500.12462/2405>.
- [15] A.A. Abood, "A comprehensive solar angles simulation and calculation using matlab", *International Journal of Energy and Environment*, vol. 6(4), pp. 367–376, 2015.
- [16] K. Jazayeri, S. Uysal, M. Jazayeri, "MATLAB/simulink based simulation of solar incidence angle and the sun's position in the sky with respect to observation points on the Earth", *Proceedings of 2013 International Conference on Renewable Energy Research and Applications, ICRERA 2013*, 2013, pp. 173-177.
- [17] A.U. Obiwulu, M.A.C. Chendo, N. Erusiafe, S.C. Nwokolo, "Implicit meteorological parameter-based empirical models for estimating back temperature solar modules under varying tilt-angles in Lagos, Nigeria" *Renewable Energy*, vol. 145, pp. 442–457, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.136>.
- [18] A. Chouder, S. Silvestre, B. Taghezouit, E. Karatepe, "Monitoring, modelling and simulation of PV systems using LabVIEW", *Solar Energy*, vol. 91, pp. 337-349, 2013.
- [19] N. Yildiran, E. Tacer, "Identification of photovoltaic cell single diode discrete model parameters based on datasheet values", *Solar Energy*, vol. 127, pp. 175–183, 2016.
- [20] A. Anand, A.K. Akella, "Modelling and Analysis of Single Diode Photovoltaic Module using MATLAB / Simulink", *Int. Journal of Engineering Research and Applications*, vol. 6(3), pp. 29–34, 2016.
- [21] R. Ayaz, I. Nakir, M. Tanrioven, "An improved Matlab-Simulink model of PV module considering ambient conditions", *International Journal of Photoenergy*, vol. 2014, pp. 1-6, 2014.
- [22] H. Bellia, R. Youcef, M. Fatima, "A detailed modeling of photovoltaic module using MATLAB", *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, vol. 3(1), pp. 53–61, 2014.
- [23] N. Pandiarajan, R. Muthu, "Mathematical modeling of photovoltaic module with Simulink", *2011 1st International Conference on Electrical Energy Systems, ICEES 2011*, Feb. 2011, pp. 258–263.
- [24] Vinod, R. Kumar, S.K. Singh, "Solar photovoltaic modeling and simulation: As a renewable energy solution", *Energy Reports*, vol. 4, pp. 701–712, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2018.09.008>.

- [25] N.A. Zainal, Ajisman, A.R. Yusoff, “Modelling of Photovoltaic Module Using Matlab Simulink”, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 114(1), pp. 1-9, 2016.
- [26] A. Bouraiou, M. Hamouda, A. Chaker, M. Sadok, M. Mostefaoui, S. Lachtar, “Modeling and Simulation of Photovoltaic Module and Array Based on One and Two Diode Model Using Matlab/Simulink”, *Energy Procedia*, vol. 74, pp. 864–877, 2015.
- [27] T. Huld, R. Müller, A. Gambardella, “A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and Africa”, *Solar Energy*, vol. 86(6), pp. 1803–1815, 2012.
- [28] N.J. Blair, P. Gilman, A.P. Dobos, “Comparison of photovoltaic models in the system advisor model”, *42nd ASES National Solar Conference 2013, SOLAR 2013*, Including 42nd ASES Annual Conference and 38th National Passive Solar Conference, 2013, pp. 449-454.
- [29] M.F. Beyoğlu, M. Demirtaş, “Balıkesir ilinde kurulu GES enerji üretimi ile üretim tahmin programlarının karşılaştırılması”, *International Marmara Sciences Congress (Autumn) 2019 Proceedings Book (Natural and Applied Sciences)*, Nov. 2019, pp. 401-406.
- [30] M.P. Almeida, M. Muñoz, I. de la Parra, O. Perpiñán, “Comparative study of PV power forecast using parametric and nonparametric PV models”, *Solar Energy*, vol. 155, pp. 854–866, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.07.032>.
- [31] H. Tian, F. Mancilla-david, K. Ellis, P. Jenkins, E. Muljadi, “A Detailed Performance Model for Photovoltaic Systems Preprint”, *Solar Energy Journal*, pp. 1-54, Jul. 2012.
- [32] L. Neamt, O. Chiver, "A simple method for photovoltaic energy estimation", *Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2013 12th International Conference On*, (4), 2013, pp. 513–516.
- [33] S. Verma, H.K. Verma, “Modeling&Analysis of Standalone Photovoltaic System”, *International Journal of Research in Engineering and Technology*, vol. 2(11), pp. 259-265, 2013.
- [34] R. AbdelHady, “Modeling and simulation of a micro grid-connected solar PV system”, *Water Science*, vol. 31(1), pp. 1–10, 2017.
- [35] P. Mohanty, G. Bhuvaneshwari, R. Balasubramanian, N.K. Dhaliwal, “MATLAB based modeling to study the performance of different MPPT techniques used for solar PV system under various operating conditions”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 38, pp. 581–593, 2014.
- [36] C. Demoulias, “A new simple analytical method for calculating the optimum inverter

- size in grid-connected PV plants”, *Electric Power Systems Research*, vol. 80(10), pp.1197-1204, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2010.04.005>.
- [37] R.S. Faranda, H. Hafezi, S. Leva, M. Mussetta, E. Ogliari, “The optimum PV plant for a given solar DC/AC converter”, *Energies*, vol. 8(6), pp. 4853–4870, 2015. <https://doi.org/10.3390/en8064853>.
- [38] S. Pandey, R. Kumar, K. Panwar, “Calculation of inverter power clipping loss due to PV array oversizing”, *International Journal of Electrical Engineering and Technology*, vol. 10(4), pp. 43-46, 2019. <https://doi.org/10.34218/ijeet.10.4.2019.005>.
- [39] X. Camps, G. Velasco, J. de la Hoz., H. Martín, “Contribution to the PV-to-inverter sizing ratio determination using a custom flexible experimental setup”, *Applied Energy*, vol. 149, pp. 35–45, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.03.050>.
- [40] J.A. Azzolini, M.J. Reno, K.A.W. Horowitz, “Evaluation of curtailment associated with PV system design considerations”, *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, Aug. 2020. <https://doi.org/10.1109/PESGM41954.2020.9281427>.
- [41] G. Notton, V. Lazarov, L. Stoyanov, “Optimal sizing of a grid-connected PV system for various PV module technologies and inclinations, inverter efficiency characteristics and locations”, *Renewable Energy*, vol. 35(2), pp. 541–554, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.07.013>.
- [42] F.S. Fernández, M.A. Muñoz-García, S. Saminger-Platz, “Detecting clipping in photovoltaic solar plants using fuzzy systems on the feature space”, *Solar Energy*, vol. 132, pp. 345–356, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.03.013>.
- [43] E.M. Deschamps, R. Rüther, “Optimization of inverter loading ratio for grid connected photovoltaic systems”, *Solar Energy*, vol. 179, pp. 106–118, Nov. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.12.051>.
- [44] J. Balfour, R. Hill, A. Walker, G. Robinson, T. Gunda, J. Desai, “Masking of photovoltaic system performance problems by inverter clipping and other design and operational practices”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 145, 111067, pp. 1-8, Mar. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111067>.
- [45] T.E.K. Zidane, S.M. Zali, M.R. Adzman, M.F.N. Tajuddin, A. Durusu, “PV array and inverter optimum sizing for grid-connected photovoltaic power plants using optimization design”, *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1878(1), 2021, pp.1-12. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1878/1/012015>.
- [46] U.M. Choi, “Study on effect of installation location on lifetime of PV inverter and DC-to-AC ratio”, *IEEE Access*, vol. 8, pp. 86003–86011, 2020.

- <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2993283>.
- [47] X. Luo, D. Zhang, X. Zhu, “Deep learning based forecasting of photovoltaic power generation by incorporating domain knowledge”, *Energy*, vol. 225, 120240, pp. 1-14, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120240>.
- [48] Y. Han, N. Wang, M. Ma, H. Zhou, S. Dai, H. Zhu, “A PV power interval forecasting based on seasonal model and nonparametric estimation algorithm”, *Solar Energy*, vol. 184, pp. 515–526, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.04.025>
- [49] A.H. Elsheikh, S.W. Sharshir, M. Abd Elaziz, A.E. Kabeel, W. Guilan, Z. Haiou, “Modeling of solar energy systems using artificial neural network: A comprehensive review”, *Solar Energy*, vol. 180, pp. 622–639, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.01.037>
- [50] G. Almonacid-Olleros, G. Almonacid, J.I. Fernandez-Carrasco, J.M. Quero, “Opera.DL: Deep Learning Modelling for Photovoltaic System Monitoring. Proceedings”, *13th International Conference on Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence UCAmI*, vol.31(1), pp. 50-60, 2019. <https://doi.org/10.3390/proceedings2019031050>.
- [51] P. Li, K. Zhou, X. Lu, S. Yang, “A hybrid deep learning model for short-term PV power forecasting”, *Applied Energy*, vol. 259, 114216, pp.1-11, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114216>
- [52] E. Kıyançıçek, “Fotovoltaik sistemlerin boyutlandırılması için PVS paket programının gerçekleştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2013.
- [53] A. Roger, M.J. Ventre, *Photovoltaic Systems Engineering*, 2nd Edition, CRC Press, 2003.
- [54] National Renewable Energy Laboratory (NREL), <https://www.nrel.gov/pv/> , Erişim tarihi: 01 Aralık 2022.
- [55] The International Energy Agency (IEA), <https://www.iea.org/> , Erişim tarihi: 01 Aralık 2022.
- [56] Ş. Özdemir, “Fotovoltaik sistemler için mikrodenetleyicili en yüksek güç noktasını izleyen bir konvertörün gerçekleştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007.
- [57] M. Boztepe, “Fotovoltaik Güç Sistemlerinde Verimliliği Etkileyen Parametreler”, *EMO İzmir Şubesi Aylık Bülteni*, pp. 1–8, 2017.
- [58] M. Ünlü, S. Çamur, B. Arifoğlu, “Devre Temelli Fotovoltaik Hücre Modeli”, Kocaeli

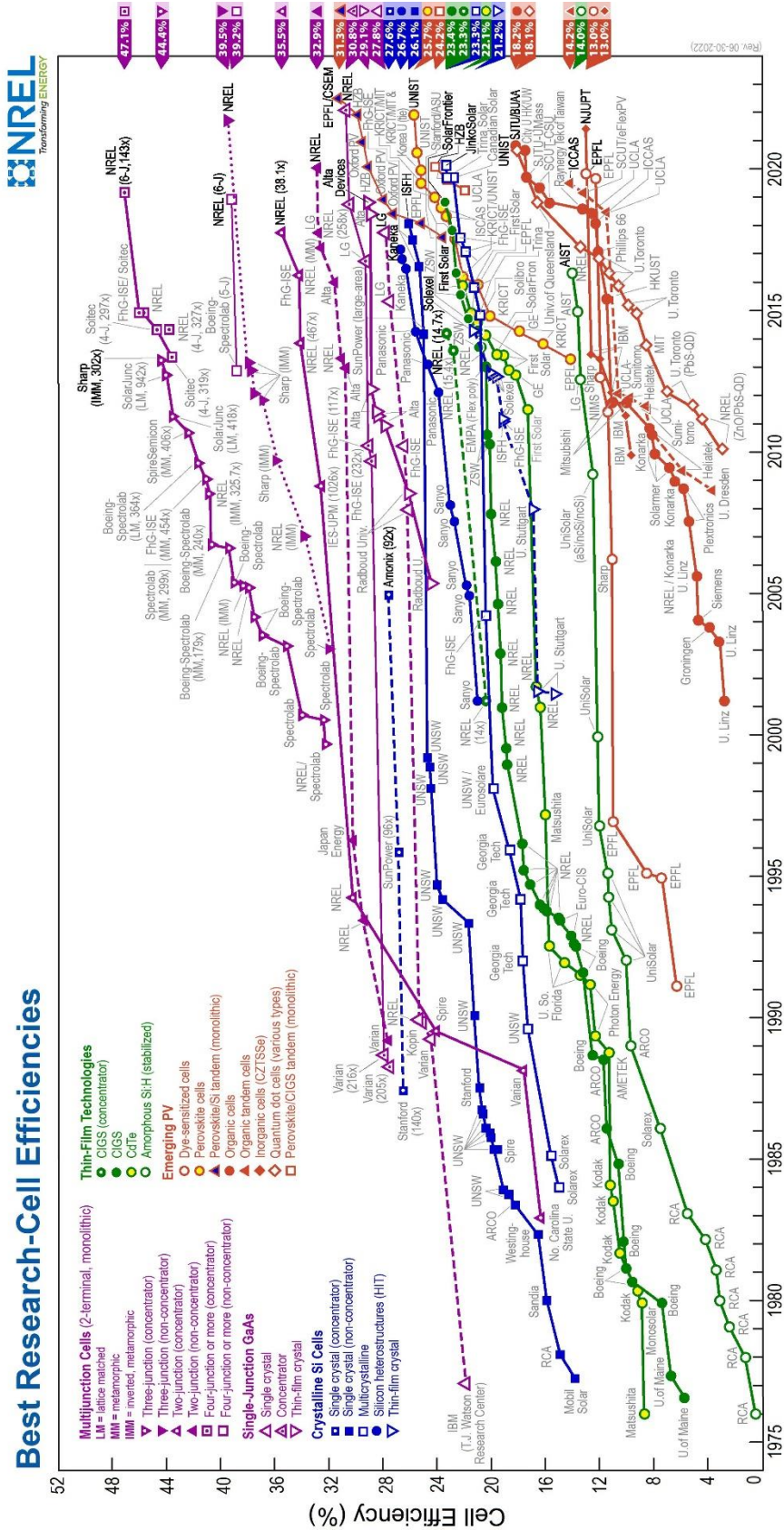
Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü, 2005.

- [59] E. İlten, H. Çalgan, M. Demirtaş, “Design of induction motor speed observer based on long short-term memory”, *Neural Computing and Applications*, vol. 34, pp.18703-18723, 2022. <https://doi.org/10.1007/s00521-022-07458-0>
- [60] Avrupa Komisyonu, PVGIS Photovoltaic Geographical Information System, https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-photovoltaic-geographical-information-system_en , Erişim tarihi: 01 Aralık 2022.
- [61] Photovoltaic Software, <https://www.pvsyst.com/> , Erişim tarihi: 01 Aralık 2022.
- [62] A. Ajder, “Fotovoltaik güneş enerjisi sistemleri için optimum eğim açısının hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, FBE, İstanbul, 2011.

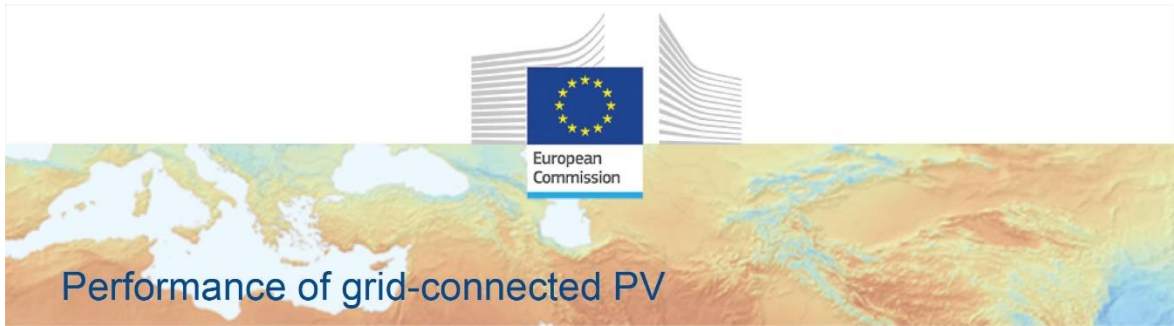
EKLER

EKLER

EK A: Fotovoltaik Hücre Verimliliğinin Yıllara Göre Değişim Grafiği



EK B.1: PVGIS 59° GES için Enerji Üretim Tahmini



PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:

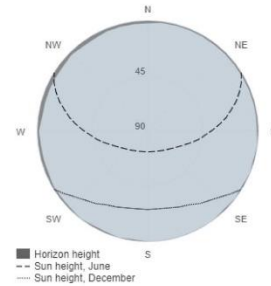
Provided inputs:

Latitude/Longitude: 39.666,27.919
 Horizon: Calculated
 Database used: PVGIS-SARAH2
 PV technology: Crystalline silicon
 PV installed: 27 kWp
 System loss: 14 %

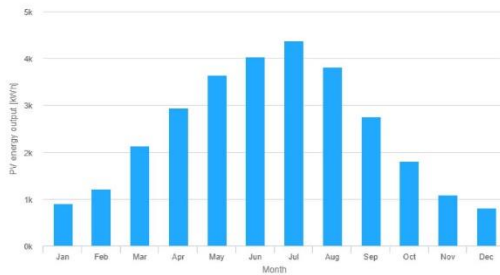
Simulation outputs

Slope angle: 17 °
 Azimuth angle: -121 °
 Yearly PV energy production: 29535.64 kWh
 Yearly in-plane irradiation: 1476.35 kWh/m²
 Year-to-year variability: 841.05 kWh
 Changes in output due to:
 Angle of incidence: -4.01 %
 Spectral effects: 0.46 %
 Temperature and low irradiance: -10.66 %
 Total loss: -25.9 %

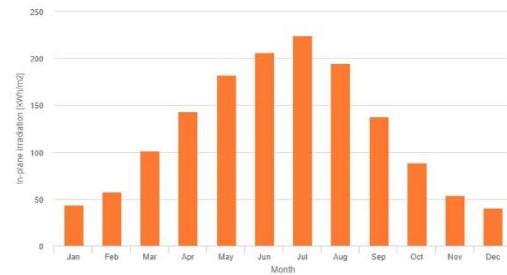
Outline of horizon at chosen location:



Monthly energy output from fix-angle PV system:



Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:



Monthly PV energy and solar irradiation

Month	E_m	H(i)_m	SD_m
January	906.1	44.0	91.0
February	1216.2	57.8	120.5
March	2136.5	101.4	218.2
April	2941.6	143.1	286.9
May	3640.7	182.6	254.8
June	4040.4	206.7	250.9
July	4377.5	224.5	123.0
August	3818.6	194.8	132.1
September	2755.4	138.1	145.8
October	1805.2	89.0	134.2
November	1093.1	54.1	116.0
December	804.2	40.2	63.4

E_m: Average monthly electricity production from the defined system [kWh].
 H(i)_m: Average monthly sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system [kWh/m²].
 SD_m: Standard deviation of the monthly electricity production due to year-to-year variation [kWh].

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union services in general. Our goal is to keep this information timely and accurate. If errors are brought to our attention, we will try to correct them. However, the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

It is our goal to minimise disruption caused by technical errors. However, some data or information on this site may have been cancelled or structured in files or formats that are not error free and we cannot guarantee that our services will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.

For more information, please visit https://ec.europa.eu/info/legal-notice_en



PVGIS ©European Union, 2001-2022.
 Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged, save where otherwise stated.

Report generated on 2022/11/16

EK B.2: PVGIS 239° GES için Enerji Üretim Tahmini



PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:

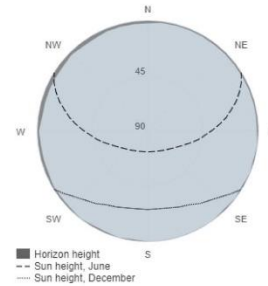
Provided inputs:

Latitude/Longitude: 39.666,27.919
 Horizon: Calculated
 Database used: PVGIS-SARAH2
 PV technology: Crystalline silicon
 PV installed: 27 kWp
 System loss: 14 %

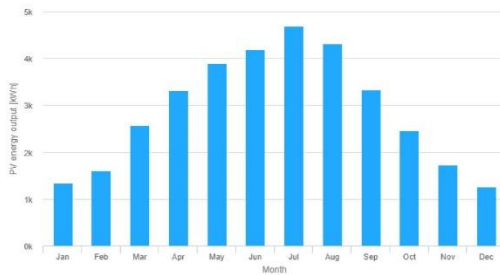
Simulation outputs

Slope angle: 17 °
 Azimuth angle: 59 °
 Yearly PV energy production: 34730.17 kWh
 Yearly in-plane irradiation: 1726.27 kWh/m²
 Year-to-year variability: 1001.97 kWh
 Changes in output due to:
 Angle of incidence: -2.99 %
 Spectral effects: 0.55 %
 Temperature and low irradiance: -11.17 %
 Total loss: -25.49 %

Outline of horizon at chosen location:



Monthly energy output from fix-angle PV system:



Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:



Monthly PV energy and solar irradiation

Month	E_m	H(i)_m	SD_m
January	1343.5	61.8	197.8
February	1610.8	75.1	218.8
March	2574.9	122.2	294.4
April	3324.1	162.8	348.0
May	3896.8	196.6	247.1
June	4192.8	215.6	303.1
July	4682.0	241.9	141.0
August	4322.0	222.3	116.2
September	3325.6	167.5	176.5
October	2466.9	120.0	208.0
November	1726.2	81.5	251.2
December	1264.5	59.0	161.7

E_m: Average monthly electricity production from the defined system [kWh].
 H(i)_m: Average monthly sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system [kWh/m²].
 SD_m: Standard deviation of the monthly electricity production due to year-to-year variation [kWh].

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union services in general. Our goal is to keep this information timely and accurate. If errors are brought to our attention, we will try to correct them. However, the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.
 It is our goal to minimise disruption caused by technical errors. However, some data or information on this site may have been cancelled or structured in files or formats that are not error free and we cannot guarantee that our services will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.
 For more information, please visit https://ec.europa.eu/info/legal-notice_en

PVGIS ©European Union, 2001-2022.
 Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged, save where otherwise stated.

Report generated on 2022/11/16



EK C.1: PVWATT 59° GES için Enerji Üretim Tahmini



Caution: Photovoltaic system performance predictions calculated by PVWatts® include many inherent assumptions and uncertainties and do not reflect variations between PV technologies nor site-specific characteristics except as represented by PVWatts® inputs. For example, PV modules with better performance are not differentiated within PVWatts® from lesser performing modules. Both NREL and private companies provide more sophisticated PV modeling tools (such as the System Advisor Model at <https://sam.nrel.gov>) that allow for more precise and complex modeling of PV systems.

The expected range is based on 30 years of actual weather data at the given location and is intended to provide an indication of the variation you might see. For more information, please refer to this NREL report: The Error Report.

Disclaimer: The PVWatts® Model ("Model") is provided by the National Renewable Energy Laboratory ("NREL"), which is operated by the Alliance for Sustainable Energy, LLC ("Alliance") for the U.S. Department Of Energy ("DOE") and may be used for any purpose whatsoever.

The names DOE/NREL/ALLIANCE shall not be used in any representation, advertising, publicity or other manner whatsoever to endorse or promote any entity that adopts or uses the Model. DOE/NREL/ALLIANCE shall not provide any support, consulting, training or assistance of any kind with regard to the use of the Model or any updates, revisions or new versions of the Model.

YOU AGREE TO INDEMNIFY DOE/NREL/ALLIANCE, AND ITS AFFILIATES, OFFICERS, AGENTS, AND EMPLOYEES AGAINST ANY CLAIM OR DEMAND, INCLUDING REASONABLE ATTORNEYS' FEES, RELATED TO YOUR USE, RELIANCE, OR ADOPTION OF THE MODEL FOR ANY PURPOSE WHATSOEVER. THE MODEL IS PROVIDED BY DOE/NREL/ALLIANCE "AS IS" AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE EXPRESSLY DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL DOE/NREL/ALLIANCE BE LIABLE FOR ANY SPECIAL, INDIRECT OR CONSEQUENTIAL DAMAGES OR ANY DAMAGES WHATSOEVER, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO CLAIMS ASSOCIATED WITH THE LOSS OF DATA OR PROFITS, WHICH MAY RESULT FROM ANY ACTION IN CONTRACT, NEGLIGENCE OR OTHER TORTIOUS CLAIM THAT ARISES OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE USE OR PERFORMANCE OF THE MODEL.

The energy output range is based on analysis of 30 years of historical weather data, and is intended to provide an indication of the possible interannual variability in generation for a Fixed (open rack) PV system at this location.

RESULTS

32,254 kWh/Year*

Month	Solar Radiation (kWh / m ² / day)	AC Energy (kWh)
January	1.68	1,131
February	2.36	1,462
March	3.61	2,469
April	4.39	2,853
May	6.05	3,957
June	7.18	4,482
July	7.03	4,571
August	6.18	4,008
September	4.83	3,049
October	3.10	2,070
November	2.02	1,305
December	1.36	898
Annual	4.15	32,255

Location and Station Identification

Requested Location	39.666,27.919
Weather Data Source	(INTL) IZMIR, TURKEY 94 mi
Latitude	38.5° N
Longitude	27.02° E

PV System Specifications

DC System Size	27 kW
Module Type	Standard
Array Type	Fixed (open rack)
System Losses	14.0%
Array Tilt	17°
Array Azimuth	59°
DC to AC Size Ratio	1
Inverter Efficiency	98%
Ground Coverage Ratio	0.4%
Albedo	From weather file
Bifacial	No (0)
Monthly Irradiance Loss	Jan 0% Feb 0% Mar 0% Apr 0% May 0% June 0% July 0% Aug 0% Sept 0% Oct 0% Nov 0% Dec 0%

Performance Metrics

DC Capacity Factor	13.6%
--------------------	-------

EK C.2: PVWATT 239° GES için Enerji Üretim Tahmini



Caution: Photovoltaic system performance predictions calculated by PVWatts® include many inherent assumptions and uncertainties and do not reflect variations between PV technologies nor site-specific characteristics except as represented by PVWatts® inputs. For example, PV modules with better performance are not differentiated within PVWatts® from lesser performing modules. Both NREL and private companies provide more sophisticated PV modeling tools (such as the System Advisor Model at <https://sam.nrel.gov>) that allow for more precise and complex modeling of PV systems.

The expected range is based on 30 years of actual weather data at the given location and is intended to provide an indication of the variation you might see. For more information, please refer to this NREL report: The Error Report.

Disclaimer: The PVWatts® Model ("Model") is provided by the National Renewable Energy Laboratory ("NREL"), which is operated by the Alliance for Sustainable Energy, LLC ("Alliance") for the U.S. Department Of Energy ("DOE") and may be used for any purpose whatsoever.

The names DOE/NREL/ALLIANCE shall not be used in any representation, advertising, publicity or other manner whatsoever to endorse or promote any entity that adopts or uses the Model. DOE/NREL/ALLIANCE shall not provide any support, consulting, training or assistance of any kind with regard to the use of the Model or any updates, revisions or new versions of the Model.

YOU AGREE TO INDEMNIFY DOE/NREL/ALLIANCE, AND ITS AFFILIATES, OFFICERS, AGENTS, AND EMPLOYEES AGAINST ANY CLAIM OR DEMAND, INCLUDING REASONABLE ATTORNEYS' FEES, RELATED TO YOUR USE, RELIANCE, OR ADOPTION OF THE MODEL FOR ANY PURPOSE WHATSOEVER. THE MODEL IS PROVIDED BY DOE/NREL/ALLIANCE "AS IS" AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE EXPRESSLY DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL DOE/NREL/ALLIANCE BE LIABLE FOR ANY SPECIAL, INDIRECT OR CONSEQUENTIAL DAMAGES OR ANY DAMAGES WHATSOEVER, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO CLAIMS ASSOCIATED WITH THE LOSS OF DATA OR PROFITS, WHICH MAY RESULT FROM ANY ACTION IN CONTRACT, NEGLIGENCE OR OTHER TORTIOUS CLAIM THAT ARISES OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE USE OR PERFORMANCE OF THE MODEL.

The energy output range is based on analysis of 30 years of historical weather data, and is intended to provide an indication of the possible interannual variability in generation for a Fixed (open rack) PV system at this location.

RESULTS

37,393 kWh/Year*

Month	Solar Radiation (kWh / m ² / day)	AC Energy (kWh)
January	2.31	1,615
February	3.02	1,906
March	4.42	3,053
April	4.90	3,193
May	6.40	4,180
June	7.45	4,643
July	7.41	4,798
August	6.85	4,439
September	5.85	3,697
October	4.01	2,704
November	2.85	1,902
December	1.83	1,262
Annual	4.78	37,392

Location and Station Identification

Requested Location	39.666,27.919
Weather Data Source	(INTL) IZMIR, TURKEY 94 mi
Latitude	38.5° N
Longitude	27.02° E

PV System Specifications

DC System Size	27 kW
Module Type	Standard
Array Type	Fixed (open rack)
System Losses	14.0%
Array Tilt	17°
Array Azimuth	239°
DC to AC Size Ratio	1
Inverter Efficiency	98%
Ground Coverage Ratio	0.4%
Albedo	From weather file
Bifacial	No (0)
Monthly Irradiance Loss	Jan 0% Feb 0% Mar 0% Apr 0% May 0% June 0% July 0% Aug 0% Sept 0% Oct 0% Nov 0% Dec 0%

Performance Metrics

DC Capacity Factor	15.8%
--------------------	-------

EK D.1: PVSYST 59° GES için Enerji Üretim Tahmini

PVSYST V6.88	13/12/20		Page 1/1	
Grid system presizing				
Geographical Site	Üçp-nar	Country	Turkey	
Situation	Latitude 39.67° N	Longitude	27.92° E	
Time defined as	Legal Time	Time zone	UT+3	
	Altitude		109 m	
Collector Plane Orientation	Tilt 17°	Azimuth	-121°	
PV-field installation main features				
Module type	Standard			
Technology	Polycrystalline cells			
Mounting method	Facade or tilt roof			
Back ventilation properties	No ventilation			
System characteristics and pre-sizing evaluation				
PV-field nominal power (STC)	Pnom	27.0 kWp		
Collector area	Acoll	180 m ²		
Annual energy yield	Eyear	35.8 MWh	Specific yield 1326 kWh/kWp	
Economic gross evaluation	Investment	405363 TRY	Energy price 0.77 TRY/kWh	
Meteo and incident energy		System output		
	Gl. horiz.	Coll. Plane	System output	System output
	kWh/m ² .day	kWh/m ² .day	kWh/day	kWh
Jan.	2.29	1.82	40.44	1253
Feb.	2.81	2.39	53.00	1484
Mar.	4.28	3.78	83.93	2602
Apr.	5.58	5.18	115.1	3454
May	6.84	6.52	144.9	4493
June	7.71	7.47	166.0	4979
July	7.80	7.50	166.7	5168
Aug.	6.99	6.53	145.1	4497
Sep.	5.52	4.93	109.6	3288
Oct.	3.83	3.25	72.25	2240
Nov.	2.57	2.04	45.41	1362
Dec.	1.82	1.42	31.50	977
Year	4.85	4.42	98.07	35797

PVsyst Evaluation mode

EK D.2: PVSYST 239° GES için Enerji Üretim Tahmini

PVSYST V6.88	13/12/20		Page 1/1	
Grid system presizing				
Geographical Site	Üçp-nar	Country	Turkey	
Situation Time defined as	Latitude 39.67° N Legal Time Time zone UT+3	Longitude 27.92° E Altitude 109 m		
Collector Plane Orientation	Tilt 17°	Azimuth 59°		
PV-field installation main features				
Module type	Standard			
Technology	Polycrystalline cells			
Mounting method	Facade or tilt roof			
Back ventilation properties	No ventilation			
System characteristics and pre-sizing evaluation				
PV-field nominal power (STC)	Pnom	27.0 kWp		
Collector area	Acoll	180 m ²		
Annual energy yield	Eyear	41.7 MWh	Specific yield 1545 kWh/kWp	
Economic gross evaluation	Investment	405363 TRY	Energy price 0.66 TRY/kWh	
Meteo and incident energy		System output		
	Gl. horiz.	Coll. Plane	System output	System output
	kWh/m ² .day	kWh/m ² .day	kWh/day	kWh
Jan.	2.29	2.74	60.93	1889
Feb.	2.81	3.20	71.08	1990
Mar.	4.28	4.67	103.8	3217
Apr.	5.58	5.80	128.9	3868
May	6.84	6.92	153.8	4768
June	7.71	7.67	170.5	5114
July	7.80	7.80	173.2	5370
Aug.	6.99	7.19	159.6	4949
Sep.	5.52	5.96	132.5	3974
Oct.	3.83	4.34	96.43	2989
Nov.	2.57	3.07	68.30	2049
Dec.	1.82	2.22	49.28	1528
Year	4.85	5.14	114.3	41706

PVsyst Evaluation mode

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Mehmet Fatih Beyoğlu
Doğum tarihi ve yeri : 11.09.1977 - Emet
e-posta : fatih.beyoglu@baun.edu.tr

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Elektrik-Elektronik Mühendisliği	2011
Lisans	İstanbul Teknik Üniversitesi/Elektrik Mühendisliği	1998
Lise	Muharrem Hasbi Lisesi	1994

Yayın Listesi

Beyoğlu, M.F., Demirtaş, M. (2019). Balıkesir İlinde Kurulu GES Enerji Üretimi İle Üretim Tahmin Programlarının Karşılaştırılması. *International Marmara Sciences Congress (Autumn) 2019 Proceedings Book (Natural and Applied Sciences)*, November, 401–406. **[Tezden türetilmiştir]**

Beyoglu, Mehmet Fatih Demirtas, M. (2022). Effect of panel direction on energy generation in 100kWp solar power plant. *3rd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences*, 30–32. **[Tezden türetilmiştir]**