

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



BALIKESİR İLİNDEKİ PV SİSTEMLERİN ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FATİH ATLIM

BALIKESİR, HAZİRAN - 2019

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



BALIKESİR İLİNDEKİ PV SİSTEMLERİN ANALİZİ

YÜKSEK LISANS TEZİ

FATİH ATLIM

Jüri Üyeleri : Dr. Öğr. Üyesi Bayram ESEN (Tez Danışmanı)

Dr. Öğr. Üyesi Serhat KÜÇÜKDERMENCİ

Doç. Dr. Yusuf ALTUN

BALIKESİR, HAZİRAN - 2019

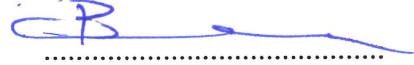
KABUL VE ONAY SAYFASI

Fatih ATILIM tarafından hazırlanan “BALIKESİR İLİNDEKİ PV SİSTEMLERİN ANALİZİ” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 10.06.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Bayram ESEN



Üye
Dr. Öğr. Üyesi Serhat KÜÇÜKDERMENCİ



Üye
Doç. Dr. Yusuf ALTUN



Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Necati ÖZDEMİR



ÖZET

BALIKESİR İLİNDEKİ PV SİSTEMLERİN ANALİZİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
FATİH ATLİM
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ BAYRAM ESEN)
(EŞ DANIŞMAN: PROF. DR. METİN DEMİRTAŞ)
BALIKESİR, HAZİRAN - 2019

Dünya genelinde enerji tüketimi her geçen gün artmaktadır. Artan bu enerji ihtiyacını karşılamak için mevcut kaynakları faydalı ve etkin bir şekilde kullanmak gerekmektedir. Fosil yakıtların sınırlı ve hızla tükenbilir olması yenilenebilir enerji kaynaklarına olan önemi daha da arttırmaktadır. Bu yüzden ülkemizde de yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik üretim santrallerin sayısı her geçen gün artmaktadır. Bu çalışmada Balıkesir'in Bandırma ilçesinde 29 derece panel eğimine sahip arazi uygulamalı Albatur Enerji GES ile 9 derece panel eğimine sahip çatı uygulamalı Aydın Dülger GES tesislerinin eğim açısından verimlilikleri karşılaştırılmıştır. Eğim açısından karşılaştırmanın doğru olması için iki GES tesisi birbirine çok yakın lokasyonda seçilmiş olup hava şartları, sıcaklık, güneş ışınımı, yükselti vb. gibi etmenlerden kaynaklanan farklılıkların olmamasına dikkat edilmiştir. Benzetim sonuçlarıyla enerji üretim değerleri karşılaştırılmış Balıkesir için panel eğim açısının optimum değeri bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre Balıkesir'de panellerin güney yönünde 28° – 30° arasında kurulmasının uygun olduğu söylenebilir.

Aynı zamanda Bandırma'da arazi uygulamalı olarak kurulmuş olan Eflatun GES ve Hipokrat GES tesislerinin ışınım miktarı ile akım ve gerilim harmoniklerinin ilişkisi incelenmiştir. Akım harmonikleri ile ışınım arasında ters orantı olduğu görülmüştür. Eflatun GES tesisi için üretilen enerji miktarı ile ışınım arasındaki ilişki de ayrıca incelenmiştir. Işınım ile üretilen enerji miktarı arasında doğru orantı olduğu görülmüştür.

Bu çalışma kapsamında Balıkesir'deki GES tesislerinin kurulu gücü, sayısı, tarihsel gelişimi, diğer yenilenebilir enerji üretim santrallerine göre durumu vb. gibi genel analizi de yapılmıştır. 2018 yıl sonu itibariyle Marmara Bölgesi'nde GES sayısı ve kurulu gücü bakımından Balıkesir ilk sırada yer almaktadır.

ANAHTAR KELİMELER: Güneş enerjisi, PV sistem, verimlilik, güç harmonikleri

ABSTRACT

ANALYSIS OF PV SYSTEMS IN BALIKESİR
MSC THESIS
FATİH ATILIM
BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING
(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. BAYRAM ESEN)
(CO-SUPERVISOR: PROF. DR. METİN DEMİRTAŞ)
BALIKESİR, JUNE 2019

Energy consumption increases day by day around the world. In order to meet this growing energy need, it is necessary to use the resources efficiently and effectively. The importance of fossil fuels further increases due to the fact that they are limited and rapidly consumed. Therefore, the number of power plants using renewable energy sources is growing every day in Turkey. The efficiency of Alatur Energy ground-based solar power plant (SPP) with a tilt angle of 29° located in Bandırma District of Balıkesir is compared with the one of roof-based Aydın Dülger SPP with a tilt angle of 9° in this study. In order to make an accurate slope comparison, two SPPs which are in close proximity were selected and due attention was paid to make sure the factors such as weather conditions, temperature, solar radiation, elevation, etc. do not differ. Simulation outcomes were compared with energy production values, and optimum tilt of panels was found for Balıkesir. According to the results achieved, it can be stated that the panels should be installed to the south between $28^\circ - 30^\circ$ in Balıkesir.

At the same time, the relation between the radiation amount and voltage harmonics of Eflatun and Hipokrat ground-based SPPs located in Bandırma was examined in this study. It has been found that there is an inverse relationship between current harmonics and radiation. The relation between the amount of energy produced and radiation was examined for Eflatun SPP, and it was found out that the radiation is proportional to the energy produced.

Within the scope of this study, installed capacity of solar energy systems in Balıkesir, their number, historical development and their status compared to the other renewable energy generation power plants etc. were analysed in general terms. As of 2018, Balıkesir ranks the first in Marmara Region in terms of SPP number and installed capacity.

KEYWORDS: Solar energy, PV system, efficiency, power harmonics

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMA LİSTESİ	ix
SİMGE LİSTESİ	x
ÖNSÖZ.....	xi
1.GİRİŞ	1
2. ENERJİ	3
2.1 Tükenebilir (Yenilenemeyen) Enerji Kaynakları	3
2.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları	5
2.2.1 Hidrolik Enerji	6
2.2.2 Jeotermal Enerji	7
2.2.3 Biyokütle Enerjisi	8
2.2.4 Rüzgar Enerjisi	8
2.2.5 Dalga ve Okyanus Enerjisi	9
2.2.6 Güneş Enerjisi.....	10
3. GÜNEŞ ENERJİSİ	11
3.1 Güneş Enerjisi İle İlgili Yapılmış Çalışmalar	11
3.2 Fotovoltaik Teknolojiler	13
3.2.1 Fotovoltaik Teknolojinin Tarihi.....	13
3.2.2 Fotovoltaik Hücrenin Çalışma Prensibi	14
3.2.3 Hücre, Modül ve Dizi.....	16
3.2.4 Fotovoltaik Hücre Çeşitleri	16
3.2.4.1 Kristal Yapılı Silisyum Hücreleri	17
3.2.4.1.1 Monokristal Hücreler.....	17
3.2.4.1.2 Polikristal Hücreler.....	18
3.2.4.2 İnce Film Hücreleri.....	18
3.2.4.2.1 Amorf Silisyum Hücreler (ASi)	19
3.2.4.2.2 Bakır İndiyum Hücreler (CIS)	19
3.2.4.2.3 Kadmiyum Tellür Hücreler (CdTe).....	20
3.3 GES' lerde Verimlilik Çalışmaları	20
3.3.1 Güneş Işınımı	23
3.3.1.1 Işınım Çeşitleri	24
3.3.2 Açık Kavramı ve Eğim Açısı.....	25
3.3.2.1 Optimum Eğim Açısı	28
3.3.3 Gölgeleme.....	29
3.3.4 Havalanma ve Sıcaklık	29
3.3.5 Tozlanma ve Kirlilik	30
3.4 Şebeke Bağlantı Tipine Göre GES'lerin Sınıflandırılması	30
3.4.1 Şebekeden Bağımsız Sistemler	31
3.4.2 Şebeke ile Bağlantılı Sistemler	32
3.5 Fotovoltaik GES Tesislerinin Avantajları ve Dezavantajları.....	34
3.6 Fotovoltaik Teknolojinin Uygulama Alanları.....	34

3.6.1 Cephe Uygulamalı Fotovoltaik Modüller.....	34
3.6.2 Çatı Uygulamalı Fotovoltaik Modüller	35
3.6.3 Arazi Uygulamalı Fotovoltaik Modüller	36
3.6.4 Fotovoltaik Teknolojinin Diğer Uygulama Alanları.....	37
4. BALIKESİR İLİNDE GES ÇALIŞMALARI	40
4.1 Balıkesir İlinde Güneş Enerjisi	42
4.2 Balıkesir İlindeki GES Tesisleri.....	45
4.2.1 GES Bakımından Balıkesir İlinin Marmara Bölgesi'ndeki Yeri	49
4.2.2 Balıkesir İlinde İncelenen GES Tesisleri	51
4.2.2.1 Albatır Enerji GES ve Aydın Dülger GES'e Ait Evirici Bilgileri.....	53
4.2.3 PVSYST 6.7.6 Simülasyon Programı	56
4.2.4 İncelenen GES Tesislerine Ait Verilerin Değerlendirilmesi	57
5. SONUÇLAR.....	73
6. KAYNAKLAR	75
7. EKLER.....	84

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1:2017 yılı elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı	4
Şekil 2.2:2018 yılı ilk yarısı itibariyle elektrik enerjisi üretim santral sayısı	5
Şekil 2.3:2007 ile 2017 yılları arası itibariyle yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üreten tesislerin kurulu gücü.....	6
Şekil 2.4:Hidrolik enerji üretimi akış şeması.....	7
Şekil 2.5:Jeotermal enerji üretimi akış şeması.....	7
Şekil 2.6:Biyokütle enerji üretimi akış şeması.....	8
Şekil 2.7:Rüzgar enerjisi üretimi akış şeması ve örnek rüzgar türbini.....	9
Şekil 2.8:Dalga ve okyanus enerjisine ait örnekler	10
Şekil 3.1:Silisyum atomunun bağ yapısı	14
Şekil 3.2:p-n eklemi ve elektron geçişi	15
Şekil 3.3:Fotovoltaik hücre, modül ve dizi.....	16
Şekil 3.4:Fotovoltaik hücre türlerini gösterir diyagram	17
Şekil 3.5:Monokristal hücre yapıları	18
Şekil 3.6:Polikristal hücre yapıları	18
Şekil 3.7:İnce film panel.....	19
Şekil 3.8:Dünya yüzeyinde yıllık güneş ışınımının dağılımı.....	23
Şekil 3.9:Ülkemizdeki yıllık güneş ışınımının dağılımı	24
Şekil 3.10:Yer yüzeyine düşen güneş ışınımı çeşitleri.....	25
Şekil 3.11:Güneşin kuzey yarım kürede mevsime göre çizdiği yörüngeler	25
Şekil 3.12:Güneşin konumunu tanımlayan açıların gösterimi	26
Şekil 3.13:Eğik düzlem açıları	27
Şekil 3.14:Düzleme gelen güneş ışınımı	28
Şekil 3.15:Şebeke bağlantı tipine göre GES	30
Şekil 3.16:Şebekeden bağımsız sistemin çalışma prensibi.....	31
Şekil 3.17:Şebeke bağlantılı sistemin çalışma prensibi.....	33
Şekil 3.18:PV modüllerin bina dış yüzeyine uygulanması.....	35
Şekil 3.19:PV modüllerin eğimli çatıya uygulanması.....	36
Şekil 3.20:PV modüllerin düz çatıya uygulanması	36
Şekil 3.21:PV modüllerin araziye uygulanması.....	37
Şekil 3.22:PV modüllerin uygulanması a) GSM istasyonu, b) Deniz feneri.....	38
Şekil 3.23:PV modüllerin uygulanması a) Süs aydınlatması, b) Trafik ikaz lambası, c) Reklam tabelası.....	38
Şekil 3.24:PV modüllerin uygulanması a) Hesap makinesi, b) Kol saati, c) Yedek şarj ünitesi.....	39
Şekil 3.25:PV modül ile çalışan araba.....	39
Şekil 4.1:Güneş enerji potansiyelinin Avrupa ülkelerine göre dağılımı (GWh/yıl) ..	41
Şekil 4.2:Türkiye'nin aylık ortalama güneşlenme süresi (saat/gün)	42
Şekil 4.3:Balıkesir ili yıllık ışınım miktarı haritası (kWh/m ²)	43
Şekil 4.4:Balıkesir ili aylık bazda ışınım miktarı (kWh/m ² - ay)	43
Şekil 4.5:Balıkesir ili aylık bazda ortalama güneşlenme süresi.....	44
Şekil 4.6:Balıkesir ilindeki GES tesisleri tarihsel gelişimi.....	45
Şekil 4.7:Balıkesir ili GES kurulu gücün santral sayısına oranı	46

Şekil 4.8: Balıkesir ili GES tesisleri yıllık toplam kurulu gücü ve yıllık yüzde artış miktarını gösterir grafik	46
Şekil 4.9: 2018 yıl sonu itibariyle Balıkesir ili yenilenebilir enerji kaynaklarından üretim tesisi kurulu güç miktarı	47
Şekil 4.10: Balıkesir ilindeki GES tesislerinin bulunduğu yerler	48
Şekil 4.11: Balıkesir ilindeki GES toplam kurulu gücünün ülkemizdeki GES toplam kurulu gücü oranını gösterir grafik	49
Şekil 4.12: 2018 yıl sonu itibariyle Marmara Bölgesi GES kurulu gücü bakımından illere göre dağılımı	50
Şekil 4.13: 2018 yıl sonu itibariyle Marmara Bölgesi GES tesisi sayılarının illere göre dağılımını yüzde olarak gösterir grafik	50
Şekil 4.14: 2018 yıl sonu itibariyle Marmara Bölgesi GES sayısı başına düşen ortalama kurulu güç miktarı	51
Şekil 4.15: Albatur Enerji GES Tesisi.....	52
Şekil 4.16: Aydın Dülger GES Tesisi.....	52
Şekil 4.17: Eflatun GES ve Hipokrat GES	53
Şekil 4.18: 40 kW'lık eviriciye ait katalog bilgileri ve eviriciye ait resim	54
Şekil 4.19 a: 40 kW'lık REFUsoI eviricinin ekran görüntüsü (Günlük enerji üretimi)	55
Şekil 4.19 b: 40 kW'lık REFUsoI eviricinin ekran görüntüsü (AC akım ve gerilim)	55
Şekil 4.20: PVSYST 6.7.6 programına ait ön panel görüntüsü	56
Şekil 4.21: Her iki tesise ait 40 kWe'lik eviricinin 21 Aralık için enerji üretim değerleri.....	59
Şekil 4.22: Her iki tesise ait 40 kWe'lik eviricinin 21 Haziran için enerji üretim değerleri.....	59
Şekil 4.23: Her iki tesise ait enerji üretiminin gerçek ve benzetim sonuçları	61
Şekil 4.24: Albatur GES tesisine ait eğim açısına göre üretilen enerji miktarı	62
Şekil 4.25: Aydın Dülger GES tesisine ait eğim açısına göre üretilen enerji miktarı.....	62
Şekil 4.26: Hipokrat GES ve Eflatun GES tesisinde ölçülen ışınım değerleri	66
Şekil 4.27: Eflatun GES tesisinde bir faza ait (I_C) akım harmonikleri ve ışınım grafiği	66
Şekil 4.28: Hipokrat GES tesisinde bir faza ait (I_C) akım harmonikleri ve ışınım grafiği	67
Şekil 4.29: Eflatun GES tesisinde bir faza ait (V_C) gerilim harmonikleri ve ışınım grafiği	68
Şekil 4.30: Hipokrat GES tesisinde bir faza ait (V_C) gerilim harmonikleri ve ışınım grafiği	68
Şekil 4.31: Eflatun GES tesisinde bir faza ait (I_C, V_C) akım ve gerilim harmoniklerinin zamana göre değişim grafiği	69
Şekil 4.32: Hipokrat GES tesisinde bir faza ait (I_C, V_C) akım ve gerilim harmoniklerinin zamana göre değişim grafiği.....	69
Şekil 4.33: Eflatun GES tesisinde bir faza ait (I_C) akım harmoniklerinin en yüksek ışınımındaki zamana göre değişim grafiği	70
Şekil 4.34: Eflatun GES tesisinde bir faza ait (I_C) akım harmoniklerinin en düşük ışınımındaki zamana göre değişim grafiği	71
Şekil 4.35: Eflatun GES tesisinde ışınım ile üretilen enerji miktarının değişim grafiği	71
Şekil 4.36: Eflatun GES tesisinde üretilen günlük toplam enerji (kWh)	72
Şekil A.1: Axitec panel katalog bilgileri	84
Şekil B.1: Solarworld panel katalog bilgileri.....	85

Şekil C.1: Albatur Enerji GES tesisi PVSYST 6.7.6 benzetim raporu	86
Şekil D.1: Aydın Dülger GES tesisi PVSYST 6.7.6 benzetim raporu	88
Şekil E.1: Aydın Dülger GES tesisi 29° eğim ve 0° azimut açısındaki benzetim raporu	90
Şekil E.2: Aydın Dülger GES tesisi 29° eğim ve 16° azimut açısındaki benzetim raporu	91
Şekil E.3: Aydın Dülger GES tesisi 9° eğim ve 16° azimut açısındaki benzetim raporu	92
Şekil F.1: Eflatun GES tesisinin örnek tek hat şeması.....	93
Şekil G.1: Eflatun GES tesisinde 3 faza ait (I_A, I_B, I_C) akım harmoniklerinin zamana göre değişim grafiği	94
Şekil G.2: Eflatun GES tesisinde 3 faza ait (V_A, V_B, V_C) gerilim harmoniklerinin zamana göre değişim grafiği	95

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Elektrik enerjisinin kaynaklara göre sınıflandırılması	3
Çizelge 3.1: Hücre türlerine ait verimlilik tablosu	20
Çizelge 4.1: Ülkelere göre Dünya’da GES tesislerinin kurulu güç (MW) listesi	40
Çizelge 4.2: Her iki tesise ait 40 kWe’lik evirici için aylık enerji üretim değerleri ...	57
Çizelge 4.3: Her iki tesise ait 40 kWe’lik evirici için Aralık ayı üretim değerleri	58
Çizelge 4.4: Her iki tesise ait 40 kWe’lik evirici için Haziran ayı üretim değerleri ...	58
Çizelge 4.5: Her iki tesise ait özet tablo	64
Çizelge H.1: Eflatun GES tesisine ait saatlik ölçülen ışınım miktarı ve saatlik üretilen enerji miktarını gösterir tablo	96

KISALTMA LİSTESİ

GES: Güneş Enerji Santrali
RES: Rüzgar Enerji Santrali
HES: Hidroelektrik Enerji Santrali
JES: Jeotermal Enerji Santrali
BES: Biyokütle Enerji Santrali
PV: Fotovoltaik
ASi: Amorf silisyum
CIS: Bakır- indiyum-diselenür
CdTe: Kadmiyum- telür
GSM: Global System for Mobil
DC: Doğru Akım
AC: Alternatif Akım
TEDAŞ: Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
AG: Alçak Gerilim
YG: Yüksek Gerilim
ENH: Enerji Nakil Hattı
ETKB: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
ABD: Amerika Birleşik Devletleri
MGM: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
THİD: Toprak-Hava Isı Değiştirici
YEGM: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
GEPA: Güneş Enerji Potansiyeli Atlası
TEİAŞ: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
MPPT: Maksimum Güç Noktası Takipçi
THD: Toplam Harmonik Bozulumu

SİMGE LİSTESİ

CO₂: Karbondioksit
MW: Megawatt
kW: Kilowatt
m/s: Metre / saniye
kWh: Kilowattsaat
NO_x: Azotoksit
PM: Partikül madde
°C: Santigrat derece
gr: Gram
mm: Milimetre
W/m²: Watt / metrekare
E₀: Güneş ışınım gücü
E₀: Güneş sabiti
kWh/m²: Kilowattsaat / metrekare
V: Volt
Hz: Hertz
kWe: Kilowatt (AC)
kWp: Kilowattpik (DC)
GWh/yıl: Gigawattsaat / yıl
cm: Santimetre
Wp: Wattpik
%: Yüzde

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması süresince emeği geçen ve her türlü desteğini sunan danışman hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Bayram ESEN ve Prof. Dr. Metin DEMİRTAŞ'a en içten şükranlarımı sunarım.

Ayrıca Alatur Enerji GES, Aydın Dülger GES, Eflatun GES, Hipokrat GES ve Sunvital Energy firmalarına sahadaki çalışmalardan elde edilen verilerin alınmasında ve değerlendirilmesinde teze katkıda buldukları için teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Dünya genelinde nüfusa, teknolojiye ve tüketime bağlı olarak enerji talebi de her geçen gün artmaktadır. Artan bu enerji ihtiyacını karşılamak için mevcut kaynakların faydalı ve etkin bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Fosil kaynaklar sınırlı olduğu ve hızla tükendiği için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması da büyük önem kazanmaktadır. Bu yüzden ülkemizde de son zamanlarda yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminin geçmiş yıllara oranla arttığı görülmektedir. Bunlardan hidrolik enerji ve rüzgar enerjisi kurulu güç bakımından diğer yenilenebilir enerji türlerinden yüksektir. Güneş enerjisi kurulu güç bakımından hidrolik enerji ve rüzgar enerjisinden sonra ülkemizdeki en büyük paya sahip üçüncü yenilenebilir enerji türüdür. Bunlarla birlikte ülkemizde son beş yıllık zaman içerisinde Güneş enerjisinden elektrik üretim tesislerinin kurulu gücündeki yüzdelik artış miktarı diğer yenilenebilir enerji türlerinden çok daha fazla gelişim göstermiştir. Güneş enerjisinin diğer yenilenebilir enerji türlerinden daha az maliyetli olması, birçok yere kurulumun yapılabilir olması, Güneş enerjisi ile ilgili teşviklerin artması gibi nedenlerden dolayı ülkemizde Güneş enerjisinin gelişmesinde sebep olarak gösterilebilir.

Türkiye'nin bulunduğu konum itibarıyla Avrupa'daki diğer ülkelere göre Güneş enerji potansiyelinin yüksek olması büyük bir avantaj olup bu fırsatı değerlendirmek gerekmektedir. Bu sayede hem Güneş enerjisinden hem de diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminin artmasıyla ülkemiz adına enerji temininde dışa bağımlılığı azaltacaktır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlilerinden olan Güneş enerjisinden daha etkin bir şekilde yararlanabilmek amacıyla Balıkesir ilindeki fotovoltaik sistemler hakkında yapılan çalışmada Güneş Enerjisi detaylı bir biçimde ele alınmıştır. Marmara Bölgesi'nde en çok Güneş Enerji Santrali (GES) tesisi kurulan ve kurulu gücü en yüksek olan il Balıkesir olduğundan bu tez çalışmasında Balıkesir'in ele alınmasının nedenlerindedir. Böylece Balıkesir ve civarında kurulacak GES tesisleri için bir ön bilgi ve fikir edinebilme imkânı sunulmuştur.

Çalışmanın 2. Bölümünde yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynakları hakkında bilgiler verilmiş olup, yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen üretim santrallerinin çalışma biçimleri, sayısı ve kurulu güçleri ile ilgili tarihsel gelişimlerine ait bilgiler sunulmuştur.

Çalışmanın 3. Bölümünde ise Güneş Enerjisi ile ilgili yapılan çalışmalar, fotovoltaik teknolojilerin tarihi ve çeşitleri hakkında detaylı bilgiler verilmiştir.

Çalışmanın 4. Bölümünde Balıkesir ilinin Güneş enerjisi bakımından yeri, GES tesislerinin sayısı, kurulu gücü, ışınım vb. bakımından özellikleri ele alınmıştır. İncelenen GES tesislerine ait bilgiler ile PVSYST 6.7.6 simülasyon programında elde edilen benzetim sonuçları karşılaştırılmıştır. Aynı bölümde, incelenen GES tesislerinin ışınım ile akım ve gerilim harmonikleri arasındaki ilişki ve ışınım ile üretilen enerji miktarı arasındaki ilişki incelenmiştir.

Bölümün sonunda incelenen tesislerin gerçek ve benzetim sonuçları karşılaştırılarak eğim açısının verimliliğe etkileri açıklanmıştır. Aynı şekilde akım ve gerilim harmoniklerinin ışınımla değişimleri de değerlendirilmiştir.

2. ENERJİ

İş yapabilme yeteneğine enerji denir. Kinetik, potansiyel, ısı, elektrik vs. başlıca enerji çeşitlerindedir. Bunlardan elektrik enerjisinin hayatımızdaki rolü diğerlerinden daha farklıdır ve daha önemli bir yere sahiptir. Çünkü bir kaynağa ihtiyacı vardır. Elektrik enerjisinin elde edildiği kaynaklar ise yenilenebilir ve yenilenemeyen (tükenebilir) olmak üzere ikiye ayrılır.

Çizelge 2.1: Elektrik enerjisinin kaynaklara göre sınıflandırılması

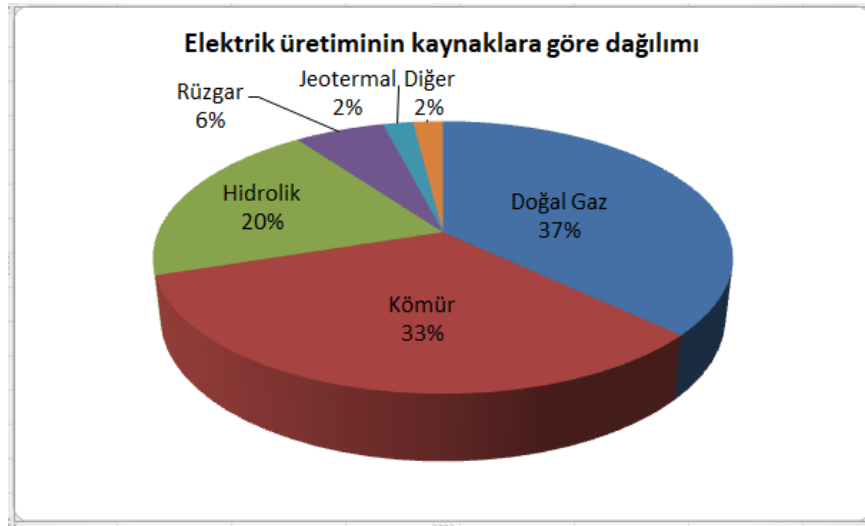
Tükenebilir (Yenilenemeyen) Enerji Kaynakları	Yenilenebilir Enerji Kaynakları
Petrol	Güneş
Doğal Gaz	Rüzgar
Kömür	Hidrolik
Nükleer	Jeotermal
	Biyokütle
	Diğer...(Dalga, Hidrojen vs...)

2.1 Tükenebilir (Yenilenemeyen) Enerji Kaynakları

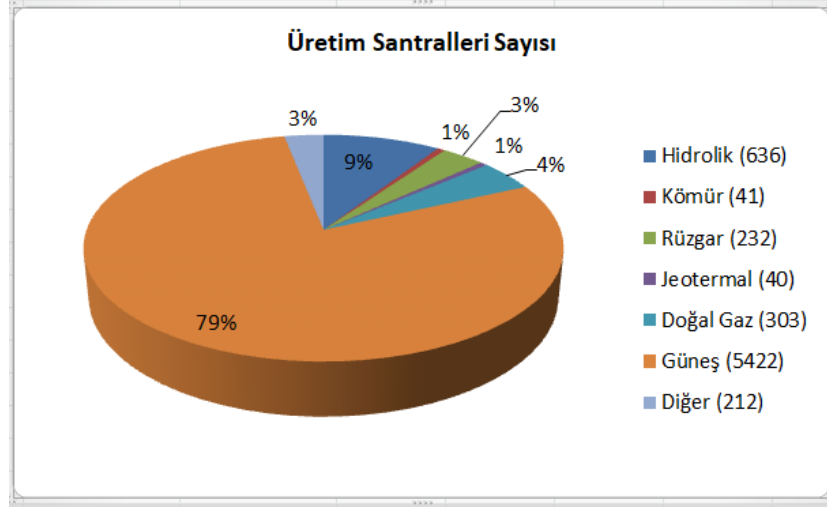
Dünya enerji ihtiyacının önemli bir kısmı (büyük bölümü) yenilenemeyen enerji kaynakları tarafından karşılanır. Bu da günden güne rezervlerinin hızla azalmasına sebep olmaktadır. Artan enerji talebi nedeniyle kaynakların azalması dünya genelinde bir sorun olmaya başlamıştır. Petrol ve doğal gaz sebebiyle bir çok krizlerin yaşandığı görülmektedir. Bu nedenle bu tür kaynakların verimli kullanılması, enerji için başka çözümler üretilmesi, enerji kaynakları hakkında çalışmalar yapılması ve ekonomik bir şekilde tüketilmesi vb. gibi dünya adına büyük görevler düşmektedir.

Fosil yakıtlar hidrojen ve karbon içerdiğinden hidrokarbon olarak bilinirler ve mineral yakıtlar olarak da adlandırılırlar. Enerji teminine katkı sağlaması, ısınma probleminin çözümü olması, günlük hayatta elektrik anlamında kolaylık sağlaması fosil yakıtların avantajlı yönleridir. Fosil yakıtların çevre kirliliğine sebep olması, yakıldıktan sonra çıkan gazların asit yağmurlarına ve küresel ısınmaya sebep olması, rezervleri yüzünden savaşların çıkması bu tür enerji kaynaklarının olumsuz yönleridir. Ayrıca ülkemizin enerji ithalatı anlamında da büyük pay sahibi olduğundan cari açığı önemli ölçüde olumsuz yönde etkilemektedir.

Nükleer enerji ise radyoaktif madde olan uranyum atomunun parçalanması sayesinde oluşur. Nükleer enerji santrallerinde radyoaktif madde kullanıldığından güvenlik önlemleri üst düzeyde tutulmalıdır. Ülkemizde şu an için nükleer enerji santrali bulunmamakla birlikte Sinop'ta ve Akkuyu'da kurulması planlanmaktadır. Şekil 2.1'de Türkiye'nin 2017 yılı elektrik üretiminin hangi enerji kaynaklarından elde edildiğini gösterir grafik verilmiştir. Şekil 2.2'de ise ülkemizde 2018 yılı ilk yarısı itibariyle elektrik enerjisi üretim santralleri sayısı (lisanssız üretim tesisleri dahil) grafik halinde sunulmuştur [1].



Şekil 2.1: 2017 yılı elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı

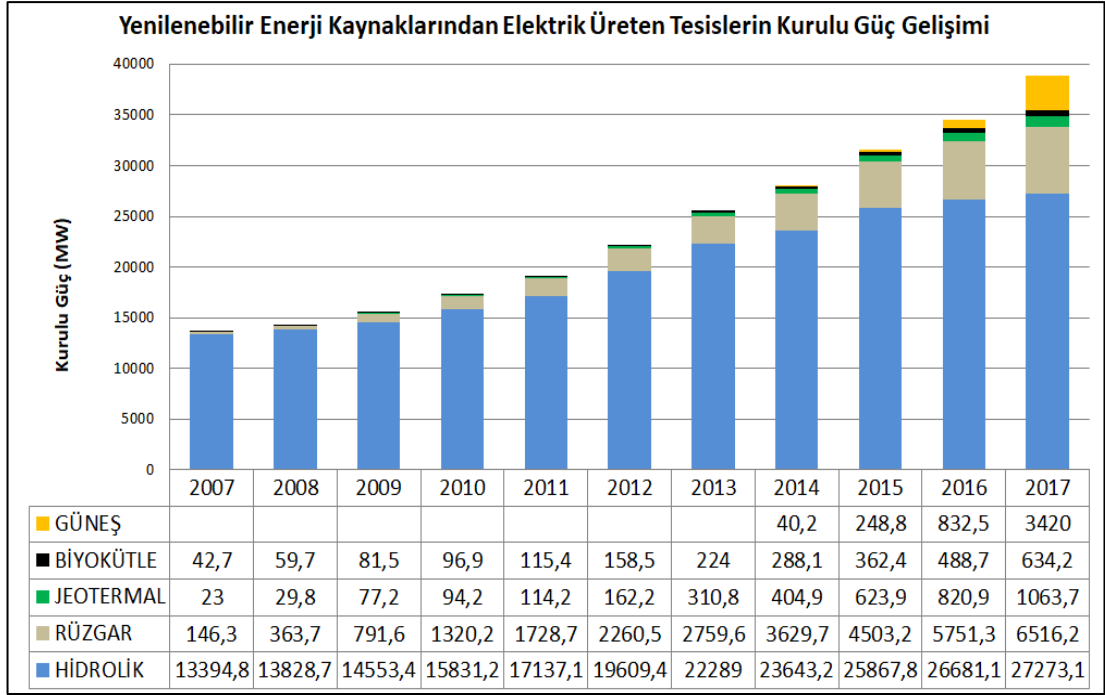


Şekil 2.2: 2018 yılı ilk yarısı itibariyle elektrik enerjisi üretim santral sayısı

2.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji adından da anlaşılacağı üzere kullandıkça tüketilebilen ve sürekli kullanılabilen enerjiye denir. Yenilenebilir enerji, tükenbilir enerji kaynaklarının aksine kaynak sıkıntısı olmayan bir enerji çeşididir. Bir başka deyişle yenilenebilir enerji kaynakları yeryüzünde ve doğada herhangi bir üretim sürecine ihtiyaç duymadan temin edilebilen, fosil kaynaklı olmayan, elektrik enerjisi üretilirken CO₂ emisyonu çok az bir oranda gerçekleşen çevreye zararı ve etkisi tükenbilir enerji kaynaklarına nazaran daha düşük olan, sürekli bir devinimle yenilenen, kullanılmaya hazır doğada var olan enerji kaynaklarını ifade eder [2].

Ülkemizde 2007 ile 2017 yılları arası itibariyle yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üreten tesislerin kurulu güç gelişimini gösterir grafik Şekil 2.3'de verilmiştir [3].

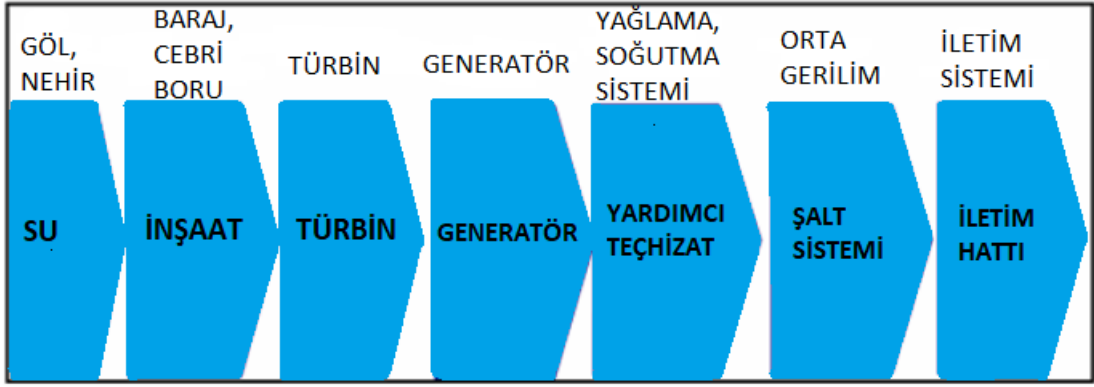


Şekil 2.3: 2007 ile 2017 yılları arası itibariyle yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üreten tesislerin kurulu gücü

2017 yılı baz alındığında yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üreten tesislerin kurulu gücü bakımından hidrolik 27273,1 MW ile ilk sırada yer alırken 634,2 MW ile biyokütle son sırada yer almıştır.

2.2.1 Hidrolik Enerji

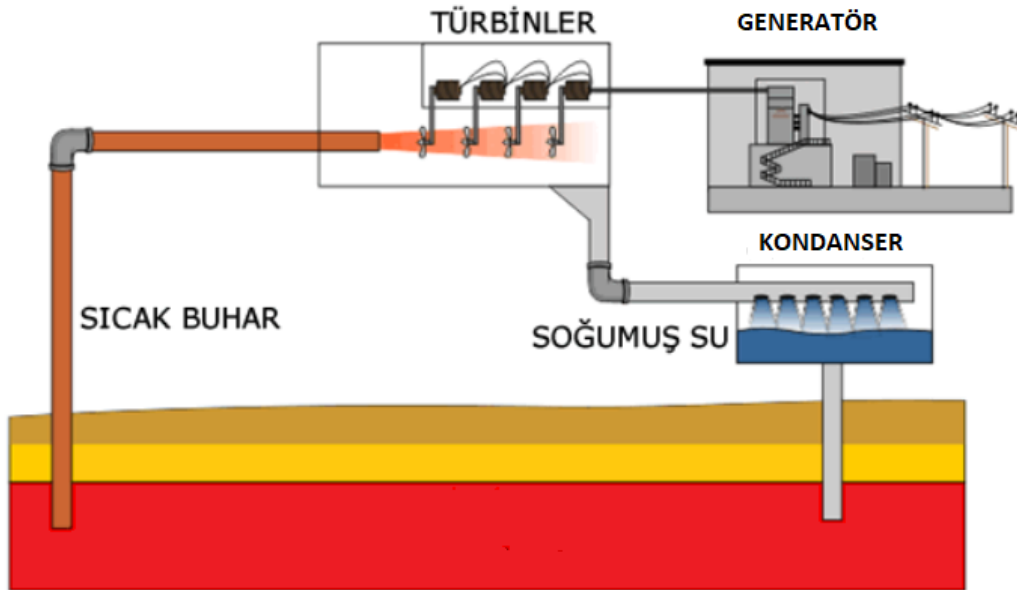
Hidrolik enerji suyun akışına bağlı olarak türbinlerin dönmesi sonucu mekanik enerjinin elektrik enerjine dönüşmesine sebep olan bir enerji çeşididir. Başka bir deyişle bu enerji barajlardan veya yüksek bir yerden aşağı doğru boru şeklinde düzeneklerin yardımıyla suyun potansiyel enerjisi kullanılarak kinetik enerjiye dönüşmesi, kinetik enerjinin de türbinleri çevirerek elektrik enerjisine dönüşmesine neden olan enerjidir.



Şekil 2.4: Hidrolik enerji üretimi akış şeması

2.2.2 Jeotermal Enerji

Yer altı sıcak su kaynaklarının yeryüzüne çıkıp sıcak su buharının türbinleri harekete geçirmesiyle mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüşmesini sağlayan enerji çeşididir.

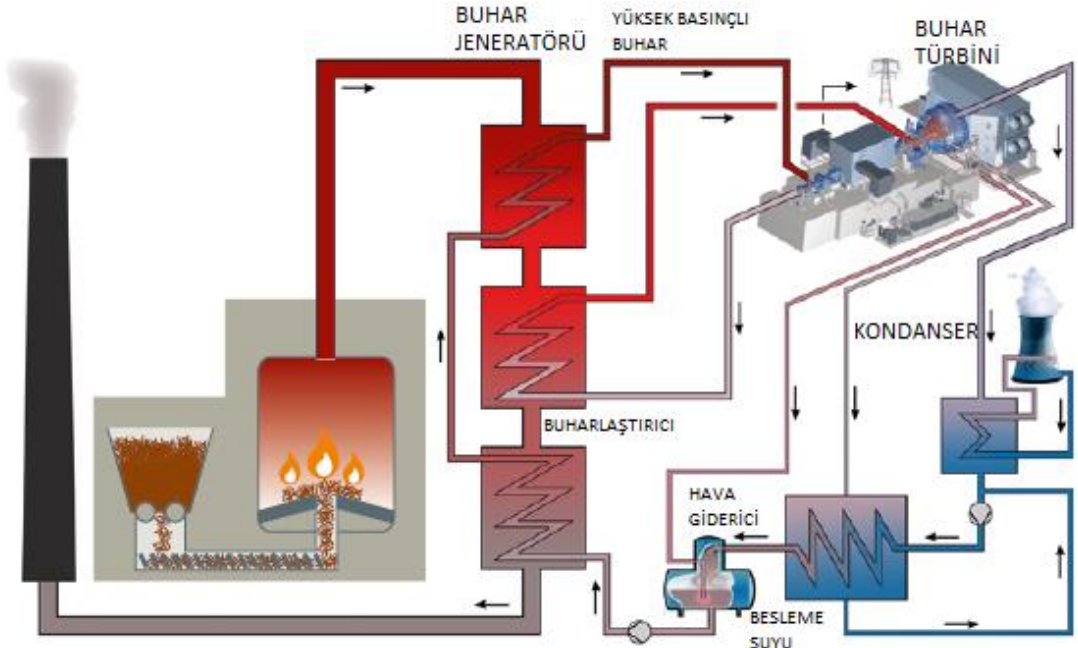


Şekil 2.5: Jeotermal enerji üretimi akış şeması

Ülkemiz jeotermal kaynaklar bakımından zengin olmasına karşın enerji üretimi için gerekli yüksek sıcaklıktaki su buharının bulunduğu yer altı kaynağı fazla olmamakla birlikte %10'luk bir paya sahip olup, %90'lık kısmı ise turizm veya ısıtma amaçlı düşük ısıya sahip jeotermal kaynaklardır.

2.2.3 Biyokütle Enerjisi

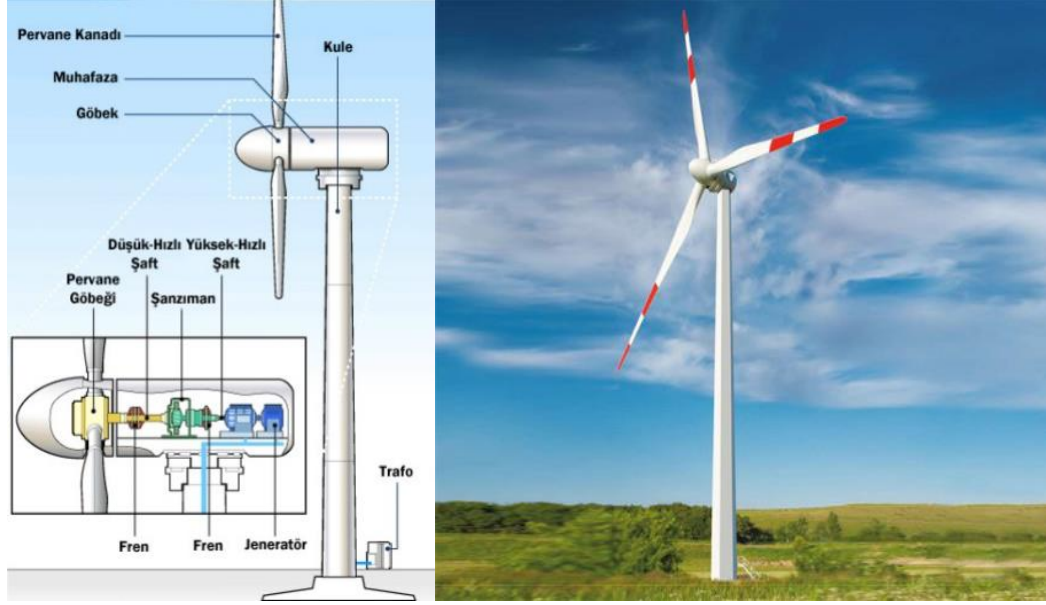
Doğada bulunan her türlü biyolojik organizmaların (bitkiler, ağaçlar, tohumlar vb.) güneş ışığı sayesinde gerçekleştirmiş olduğu fotosentez sonucu bünyelerinde depoladıkları organik maddelerin, doğrudan veya dolaylı oluşturdukları biyokütlelerin fiziksel veya kimyasal dönüştürme yöntemleriyle üretilen biyoyakıtların yakılmasıyla elde edilen enerji türüdür [4].



Şekil 2.6: Biyokütle enerji üretimi akış şeması

2.2.4 Rüzgar Enerjisi

Güneşin yeryüzünü ve atmosferi ısıtması sonucunda sıcaklık ve basınç farklılıkları oluşmasından dolayı hava akımı oluşur. Isınan hava kütlesi yükselirken boşalan bu hava kütlelerinin yerine soğuk hava kütlesi yerleşir, böylece hava kütlelerinin yer değiştirmesiyle rüzgar oluşur. Rüzgar türbinleri hareket halindeki havanın etkisiyle dönmeye başlar. Bu da türbin içerisindeki elemanlar vasıtasıyla (rotor, mil, dişli mekanizması, vb.) rüzgarın kinetik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürmesini sağlar. Generatör de mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürerek elektrik üretimi gerçekleştirmiş olur.



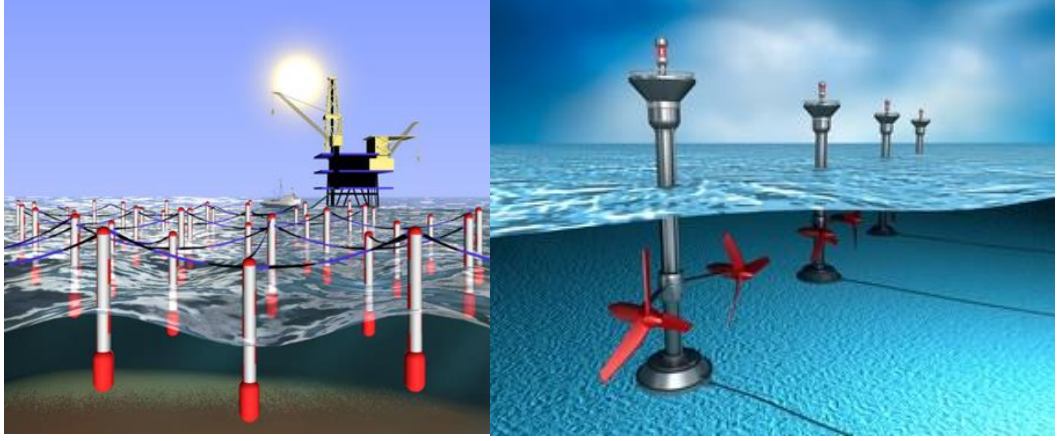
Şekil 2.7: Rüzgar enerjisi üretimi akış şeması ve örnek rüzgar türbini

Rüzgar türbinlerinin çalışmaya başlayabilmesi için rüzgar hızının belirli bir seviyeye ulaşması gerekmektedir. Devreye girme hızına cut-in adı verilir ve sistem türbinin dönmesine olanak sağlar. Aynı şekilde rüzgar hızı arttıkça türbinin dönme hızı da artar. Böylece rüzgar hızı cut-out dediğimiz devreden çıkma hızına ulaştığında sistem türbinin dönmesini engelleyerek zarar görmesini önlemiş olur. Kısacası rüzgar türbinleri cut-in ve cut-out hızları arasındayken enerji üretmiş olur. Türbinin üretici firma tarafından teknik kılavuzunda belirlenen nominal rüzgar hızı da cut-in ve cut-out değerleri arasında olduğundan bu hızda nominal güç elde edilir. Modern rüzgar türbinlerinin devreye giriş hızları 3-4 m/s, nominal hızları 11-15 m/s, devreden çıkış hızları ise 25-30 m/s arasındadır [5].

2.2.5 Dalga ve Okyanus Enerjisi

Dalga rüzgarların denizin üzerinden esmesiyle veya bir deniz taşıtının geçişi sayesinde denizde oluşan doğal bir haldir. Dalga enerjisi, denizde veya okyanusta dalganın geliş yönüne dik olacak şekilde yerleştirilen “sonlandırıcı sistemler” veya deniz üzerinde sabit bir noktada konumlandırılan “nokta absorblayıcı sistemler” dalgaların sebep olduğu pistonların hareketiyle türbinleri döndürerek enerji üretilmesini sağlayan enerji türüdür. Dalgaların yükseklikleri arttıkça elde edilecek enerji miktarı da artmaktadır. Bununla birlikte denizlerin veya okyanusların dibine

yerleştirilen türbinler düzenli akıntıların hareketiyle oluşan kinetik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürerek enerji üretimini sağlamış olur. Bu tür enerji çeşitlerine dalga ve okyanus enerjisi adı verilir [6].



şekil 2.8: Dalga ve okyanus enerjisine ait rnekler

2.2.6 Güneş Enerjisi

Güneş ışınıının, yarı iletken maddelerden üretilmiş olan fotovoltaik hücrelere tesir etmesi sayesinde oluşan enerji türüdür. Sonraki bölümlerde güneş enerjisi hakkında daha ayrıntılı bilgiler verildiği için bu bölümde kısaca tanımlanmıştır.

3. GÜNEŞ ENERJİSİ

3.1 Güneş Enerjisi İle İlgili Yapılmış Çalışmalar

S. Alkan'ın tez çalışmasında, 2.5 kW'lık sistem ile Düzce şartlarındaki bir evin ihtiyacını karşılayacak şebekeden bağımsız fotovoltaik panellerle bir sistem kurmuştur. Bu panellerden 8 tanesi sabit ve 4 tanesi hareket sistemli olacak şekilde tasarlanmıştır. Çalışma esnasında hareket sistemli panellerin veriminin diğerlerinden fazla olduğu da görülmüştür. Aynı zamanda 1, 3, 4, 5 kW'lık sistemler içinde analiz ve fizibilite çalışması yapılmıştır [7].

Ramazan Ayaz ise yaptığı çalışmada gerçek ortam verilerini dikkate alarak (ışınım, sıcaklık, rüzgar vb.) monokristal, polikristal ve ince film paneller için Matlab/Simulink ortamında fotovoltaik (PV) modeli oluşturmuş ve her bir panel için optimum eğim açısını İstanbul ili için belirlemiştir. Monokristal panel için hücre sıcaklığını dikkate almadan sadece ışınım verisi göz önüne alınarak İstanbul için optimum eğim açısı 38° hesaplanmış, ışınım verisine ek hücre sıcaklığı da dikkate alındığında ise bu açı 26° olarak hesaplanmıştır. Bu da optimum eğim açısını belirlemede sadece ışınım verilerinin yeterli olmadığını göstermektedir [8].

M. Demirtaş bilgisayar kontrollü güneş takip sistemi tasarımıyla temmuz ayına ait sabit ve hareketli sistemin karşılaştırılmasını yapmıştır. Bunun sonucunda performans ve enerji üretimi bakımından hareketli sistemin sabit sisteme göre % 35 daha verimli olduğu sonucuna varılırken, kurulum maliyeti bakımından da hareketli sistemin sabit sisteme nazaran % 15 daha fazla olduğu görülmüştür [9].

S. Çelik yüksek lisans tez çalışmasında parabolik güneş kolektörü kullanarak Isparta şartlarında bir evin elektrik, ısıtma ve soğutma ihtiyacının karşılanabilirliğinin analizi yapılmıştır. Bu şekilde dizayn edilen trijenerasyon sistem ile konutun, soğutma bakımından ağustos ayı için % 88'ini, diğer tüm aylar için tamamını karşıladığı, ısıtma bakımından ocak ve aralık ayında sırasıyla % 45 ve % 48'ini diğer tüm aylarda tamamını karşıladığı, elektrik ihtiyacının nisan ile eylül

ayları arasında tamamını, diğer aylarda ise % 24 ile % 81 arasında belli oranlarını karşıladığı hesaplanmıştır [10].

H.İ. Kepekçi parabolik yoğunlaştırıcı güneş enerji sistemini teorik olarak incelemiş ve Bursa şartlarında 2009 – 2013 yılları arasındaki verileri dikkate alarak elektrik elde etmek için güneş kolektörlü sistem tasarlamıştır [11].

G. Koçar ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada mezofilik bölgede (25-40 derece) biyogaz üretiminin gerçekleşmesinde rol oynayan reaktörün ısı izolasyonunun sağlanmasında güneş enerjisinin kullanılmasını incelemektedir. Bu şekilde kurulacak olan sistemlerde sistem veriminin artışına dikkat çekilmiş bu tür uygulamaların biyogaz sistemlerde kullanılabilirliğini göstermiştir [12].

Balikesir iline ait güneş ışınımı ve rüzgar hızı verileri kullanılarak elektrik şebekesinden bağımsız bir tavuk çiftliğinin enerji ihtiyacını karşılamak için hibrit sistemin tekno – ekonomik uygulanabilirliği ve çevresel performansını değerlendirmek amaçlı bir çalışma yapılmıştır. 26467 kWh’lık enerji üretimi dizel sistemi ile sağlandığında emisyon miktarı 35.8 ton CO₂, 668 kg PM, 790 kg NO_x olarak bulunmuş olup, aynı enerji üretimine fotovoltaik ve rüzgar sistemi de eklenince (fotovoltaik-rüzgar-dizel akü sistemi olduğunda) emisyon miktarları 7.4 ton CO₂, 138 kg PM, 163 kg NO_x’e kadar düşürülmüş olduğu görülmüştür [13].

A. Buğutekin güneş bacasının alan sıcaklığını araştırmıştır. Özetleyecek olursak güneş bacası, türbin, baca ve güneş kolektörlerinden oluşur. Hava cam toplayıcı altında sera etkisi oluşturulmak suretiyle ısıtılır. Isınan bu hava cam toplayıcı kolektörlerin merkezindeki bacaya doğru yükselir. Sıcak hava yükselirken bacanın dibindeki türbini harekete geçirir ve enerji üretilmiş olur. Çalışma sonucunda türbinin olacağı yerde sıcaklığının ve ısınan havanın hızının maksimum değerinin görüldüğü, kolektörlerin çıkışındaki hava sıcaklığının 21–26 °C olduğu hesaplanmış, güneş bacasının kuzey kesimindeki sıcaklık dağılımının güneyden daha az olduğu da saptanmıştır [14].

H. Ulutaş’ın tez çalışmasında şebekeden bağımsız güneş ve rüzgardan elektrik üretebilen bir hibrit sistem Matlab/Simulink ortamında tasarlanmış ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan sistemde, güneş enerjisi için ayrı evirici rüzgar enerjisi için ayrı evirici olup, enerji depoladıkları akü grubu ise ortaktır [15].

3.2 Fotovoltaik Teknolojiler

3.2.1 Fotovoltaik Teknolojinin Tarihi

Çeşitli zamanlarda çeşitli mekanlarda insanlar güneş ışığından çeşitli şekillerde faydalanmışlardır. Güneş ışığını mercek kullanarak ateş yakmada, ısıtmada ve ısınmada kullanımı çok eskiye dayanmaktadır. Ancak fotovoltaik etkisi günümüzden yaklaşık 200 sene öncesinde, ilk kez 1839 yılında ünlü fizikçi Becquerel tarafından keşfedilmiştir. Becquerel elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilimin, elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğunu gözlemleyerek bulmuştur [16].

Fotovoltaik etkiyi katılarda keşfedenler ise William Grylls Adams ve Richard Evans Day olmuştur. 1876 yılında bu iki bilim adamı selenyum kristallerinin güneş ışığına maruz kaldığında elektrik ürettiğini gözlemlemiştir. İleriki zamanlarda bakır oksit ve selenyuma dayalı foto diyotların, yaygın olarak fotoğrafçılıkta ışık metrelerinde kullanılmasına olanak sağlamıştır [17].

Günümüzde kullanılan ham maddesi silisyum olan fotovoltaik hücre 1954 yılında Darly Chaplin, Calvin Fuller ve Gerald Pearson tarafından keşfedildi. Bu üç bilim adamının Amerika'da Bell Laboratuvarında yaptıkları çalışmalar sonucu güneş enerjisini yeterli miktarda elektrik enerjisine çevirebilen fotovoltaik hücreler geliştirilmiştir. Bell Telephone Laboratuvarı önceleri %4, daha sonraları da %11 verim ile çalışabilen silikon güneş hücreleri üretmiştir [18].

Bu tarihi izleyen araştırmalar ve ilk tasarımlar uzay araçlarında kullanılmak üzere yapılmıştır. Silisyumlu fotovoltaik hücrelerden elektrik üretiminin ilk teknik uygulaması 1958 yılında Amerikan Vanguard uydusunda yapılmıştır. Uydunun kanatlarına bağlanan panellerden elde edilen elektrik enerjisi uydunun haberleşme, kontrol ve kumanda sistemlerine enerji sağlanmasında kullanılmıştır [19].

Dünya genelinde artan enerji ihtiyacı fotovoltaik teknolojiye olan gereksinimi de arttırmıştır. Böylece birçok bilim adamı fotovoltaik teknoloji hakkındaki araştırmalarını arttırmışlar bunun yanı sıra güneş paneli üreten fabrikalar kurulmuş

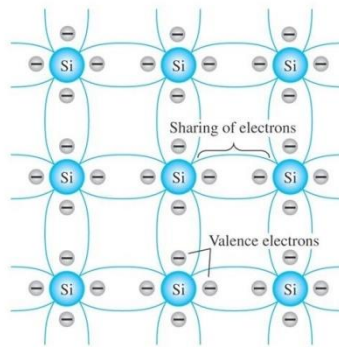
ve seri üretime geçiş yapılmıştır. Günümüzde de bu teknolojiyi daha ileri boyutlara taşıyabilmek için fotovoltaik teknoloji hakkında çalışmalar yapılmaktadır.

3.2.2 Fotovoltaik Hücrenin Çalışma Prensibi

Fotoelektrik etkiyi teorem olarak ortaya koyan ilk kişi ünlü bilim adamı Einstein'dır. Bu teorem ona 1921 yılında Nobel ödülünü almasını sağlamıştır. Einstein ışığın sadece dalga yapısında olmadığını tanecik ya da parçacık olarak da hareket ettiğini göstermiştir. Işık bu hareketini içindeki foton adı verilen enerji paketçikleri sayesinde yapar. Diğer bir deyişle güneş ışınımı elektromanyetik parçacıkların yani enerji taşıyan fotonların birleşiminden oluşur [20].

Fotovoltaik hücrenin çalışma prensibi de fotoelektrik olaya dayanır. Fotonların hücredeki silikon tarafından emilmesi sayesinde elektrik akımının oluşması sağlanır.

Detaylı olarak incelendiğinde fotovoltaik hücreler silisyum ve germanyum gibi yarı iletken maddelerden oluşur. Yarı iletken maddelerden Silisyum daha çok kullanılmaktadır. Silisyumun son yörüngesinde (valans bandında) 4 elektron vardır. Saf silisyum kristalindeki 4 valans elektron komşu silisyum atomlarındaki valans elektronlara bağlanır. Bu bağa kovalent bağ denir [21].



Şekil 3.1: Silisyum atomunun bağ yapısı

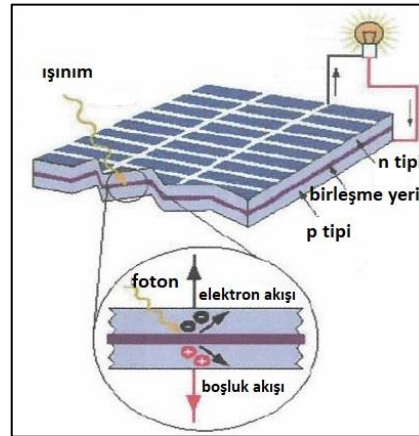
Bu şekilde silisyum atomunun tüm valans elektronları birbirine bağlandığında silisyum saf kristal yapısına bürünmüş olur. Bağlanacak elektronu kalmayan kristal silisyumun iletkenliği zayıflar. Çünkü boşta bağlanacak elektron kalmamıştır. Saf kristal silikona ısı verildiğinde bazı elektronların kopması sağlanabilir fakat bu az

elektrik akımı oluşmasına neden olur. Enerji verildiğinde daha fazla elektronun kopup yer değiştirmesi için saf silikonun içine bir madde ilave edilmelidir. Bu elektronlar yer değiştirirken de elektrik akımı oluşacaktır. Saf silikonun fosforla veya borla zenginleştirilmesine katkılandırma adı verilir [22].

Yarı iletkenin n ya da p tipi olması katkı maddesine bağlıdır. Silisyum valans bandında 3 elektron bulunan bir atomla (örneğin bor) katkılandırılırsa p tipi yarı iletken, valans bandında 5 elektron bulunan bir atomla (örneğin fosfor) katkılandırılırsa n tipi yarı iletken elde edilir. P tipi yarı iletken boşluklar, n tipi yarı iletken ise elektronlar taşıyıcı konumdadır [23].

N tipi iletken ve p tipi iletken sırt sırta verilerek bir p-n eklemi şu şekilde elde edilir. P tipi yarı iletken bölgesindeki boşluklar n tipi yarı iletken bölgesine doğru, n tipi yarı iletken bölgesindeki elektronlar da p tipi bölgeye doğru yayılırlar. Hareketli bu parçacıkların yüksek yoğunluktaki yerden düşük yoğunluktaki yerlere yayılması difüzyon olarak adlandırılır. Difüzyon sırasında n tipi yarı iletken bölgesinin p tipi yarı iletken bölgesine yakın kısmında pozitif yük fazlalığı, p tipi yarı iletken bölgenin n tipi yarı iletken bölgesine yakın kısmında negatif yük fazlalığı oluşur. Bunun sonucunda elektrik alan oluşur. Difüzyon tamamlandığında p-n eklemi de tamamlanmış olur [24].

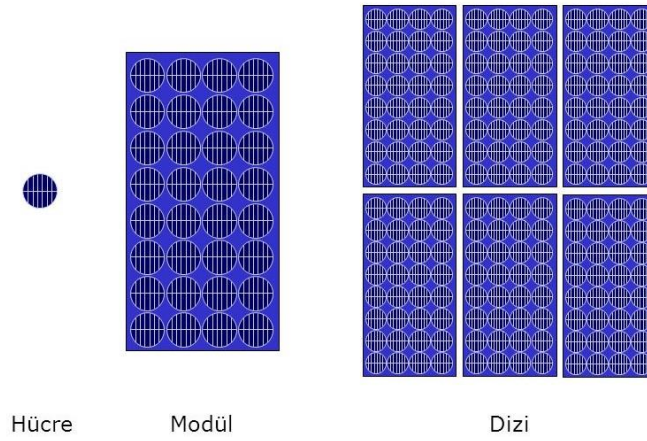
Güneş ışınlarındaki fotonların hücredeki p-n eklemine çarpmasıyla n bölgesinden fazla elektronu koparıp p bölgesine doğru geçmesini sağlar. Bu olaya fotovoltajik etki adı verilir. Bunun sonucunda elektronların hareketiyle elektrik akımı ve gerilim oluşur [25]. Şekil 3.2’de p-n eklemi ve elektron geçişi gösterilmiştir.



Şekil 3.2: p-n eklemi ve elektron geçişi [25]

3.2.3 Hücre, Modül ve Dizi

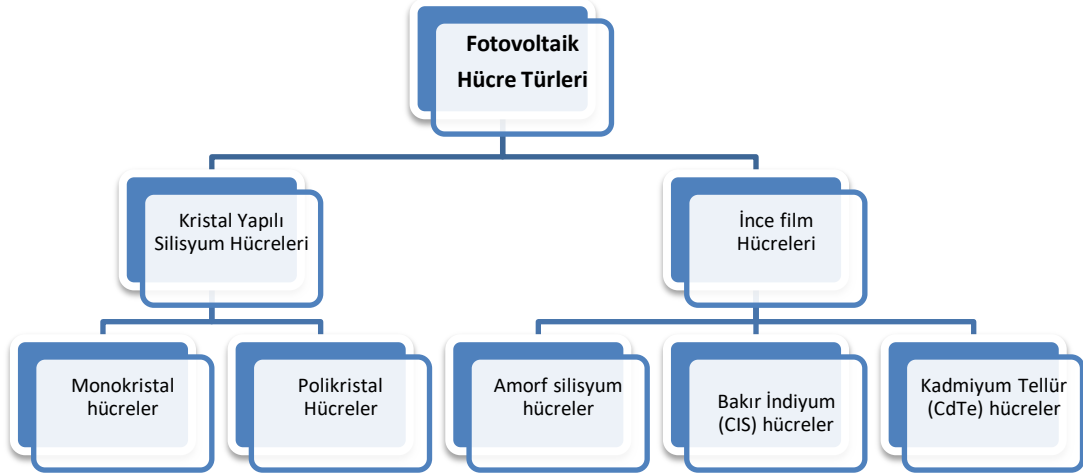
Güneş ışınımına maruz kaldığında elektrik üretebilen temel fotovoltaik elemana hücre denir. Birbirleri ile baēlantıları yapılmış fotovoltaik hücrelerden oluşan ve çevresel etkilerden tamamen korunmuş olan fotovoltaik elemana modül (panel) adı verilir. İstenilen gerilim çıkışını üretmek maksadıyla modüllerin birbirine seri olarak baēlanmasıyla da diziler oluşur.



şekil 3.3: Fotovoltaik hücre, modül ve dizi

3.2.4 Fotovoltaik Hücre eşitleri

Fotovoltaik hücre türleri kristal yapılı silisyum ve ince film olmak üzere iki kısıma ayrılır. Kristal yapılı hücreler monokristal ve polikristal olmak üzere ikiye ayrılırken, ince film hücreler amorf silisyum, bakır indiyum ve kadmiyum tellür olmak üzere e ayrılır. şekil 3.4'de fotovoltaik hücre türlerini gösterir diyagram verilmiştir.



Şekil 3.4: Fotovoltaik hücre türlerini gösterir diyagram

3.2.4.1 Kristal Yapılı Silisyum Hücreleri

Silisyum doğada saf halde bulunmaz. Kum veya kuvars halinde bulunur. Bu şekildeki kum / kuvars çeşitli fiziksel ve kimyasal ayrışma yöntemleri kullanılarak saf (arı) halde silisyum elde edilir. Bu silisyum monokristal ve polikristal hücrelerin temelini oluşturur. Saf haldeki silisyum da bazı kimyasal ve fiziksel işlemlerden geçerek bazı geometrik şekiller halinde (silindir çubuk, küp, dikdörtgen prizması vb.) isteğe göre biçimlendirilerek ve uygun hallerde kesilerek monokristal ve polikristal hücreler elde edilmiş olur.

3.2.4.1.1 Monokristal Hücreler

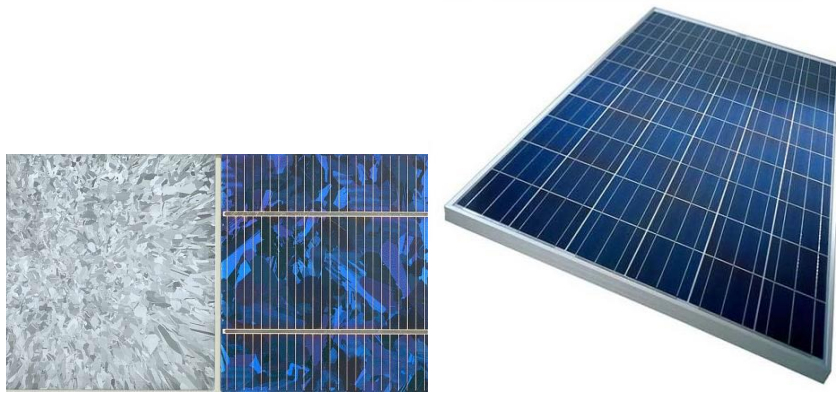
Verimleri %13-%19 civarında olan bu paneller yaygın olarak 4, 5 veya 6 inç boyutlarında yuvarlak, kare veya oval şekilde yaklaşık olarak 0.5 mm kalınlığında üretilirler. Renkleri koyu mavi veya siyah olup ağırlığı 10 gr'dan azdır. Yapımı sırasında malzeme kaybının çok fazla olması bu tür hücrelerin dezavantajıdır [26].



Şekil 3.5: Monokristal hücre yapıları

3.2.4.1.2 Polikristal Hücreler

Verimleri %11-%15 civarında olan bu paneller kare biçiminde yaklaşık olarak 0.2 mm kalınlığında üretilirler. Genellikle mavi veya gri renktedirler. Monokristal hücrelere nazaran daha az maliyetlidirler.

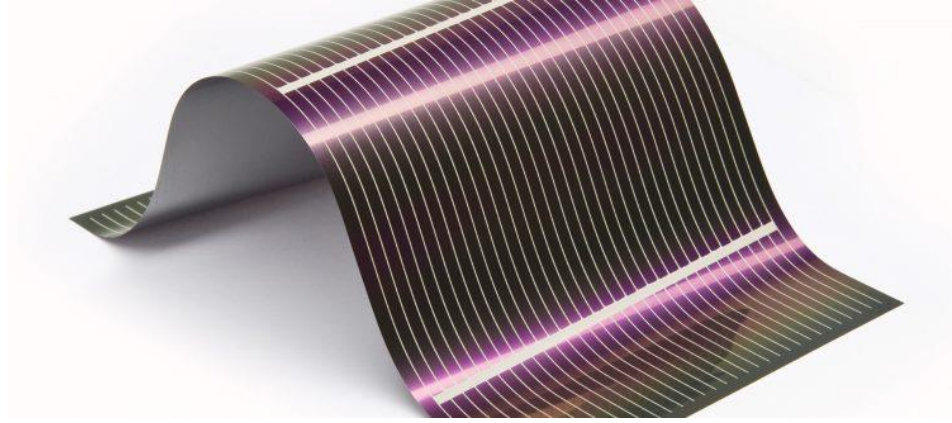


Şekil 3.6: Polikristal hücre yapıları

3.2.4.2 İnce Film Hücreleri

İnce film hücreler kristal yapılı hücrelerde olduğu gibi kare, dikdörtgenler prizması, silindirik çubuklar şeklinde üretilmeyip ince katmanlar halinde imal edilirler. Yarı iletken malzemesi olarak amorf silisyum (ASi), bakır-indiyum diselenür (CIS) veya kadmiyum-telrür (CdTe) kullanılır. Bu tür hücreler üzerine

düşen güneş ışınımını daha iyi kullanan yarı iletken maddelerden imal edildiğinden daha az kalınlıkla üretilirler. Örnek olarak amorf silisyum güneş pillerinin absorbiyon katsayısı kristal güneş pillerinden daha fazladır. Dalga boyu katsayısı 0.7 mikrondan daha az olan bir bölgedeki güneş ışınımını emmek için 1000 mikron kalınlığında amorf silisyum gerekli iken, kristal silisyum ile aynı ışınımı emmek için 5000 mikron kalınlıkta malzeme kullanılması gerekmektedir [27].



Şekil 3.7: İnce film panel

3.2.4.2.1 Amorf Silisyum Hücreler (ASi)

Amorf silisyum hücreler ince film teknolojisinin en önde gelen örneğidir. Renkleri bordo-siyah arası veya mavi-mor arasındadır. Verimleri %5-%8 civarındadır. Ancak bu hücreler kısa zamanda bozunuma uğrayarak verimlikleri düşmektedir [28].

3.2.4.2.2 Bakır İndiyum Hücreler (CIS)

%10-%12 verime sahip olup en verimli ince film hücrelerdir. Bakır indiyum hücreler kristal yapıli hücrelere nazaran daha maliyetlidirler. Yapıları homojendir ve renkleri siyahtır. Bakır indiyum hücreler zamanla ışığa bağıli verim kaybına uğramaması avantaj iken, sıcak ve nemli koşullarda kararlılık sorunlarının meydana gelmesi dezavantajdır [29].

3.2.4.2.3 Kadmiyum Tellür Hücreler (CdTe)

Yaklaşık %9-%11 arası verime sahiptirler. Renkleri koyu yeşil siyah arasındadır. İnce film hücreler arasında en düşük maliyetli hücre çeşididir. Yüksek soğurma katsayısına sahip olmasının yanında, ince film teknolojisinin birçoğu ile kolayca üretilebilmesi Kadmiyum Tellür hücrelerinin avantajlarından [30].

Çizelge 3.1: Hücre türlerine ait verimlilik tablosu

Hücre Türleri		Hücre Verimi
Kristal Yapılı	Monokristal Hücre	13-19%
	Polikristal Hücre	11-15%
İnce Film	Amorf Silisyum (ASi) Hücre	5-8%
	Bakır İndiyum (CIS) Hücre	10-12%
	Kadmiyum Tellür (CdTe) Hücre	9-11%

3.3 GES'lerde Verimlilik Çalışmaları

Elazığ İli için yapılan bir çalışmada, 38.4° enleminde bir binanın teras çatısına kurulduğu varsayılan şebeke bağlantılı bir PV sistemin yıllık ve aylık ürettiği elektrik enerjisi PVSYST 6.2.6 programı ile hesaplanarak yıllık, aylık ve mevsimlik olarak optimum eğim açısı belirlenmiştir. Buna göre Elazığ ili için yıllık optimum eğim açısının 32° olduğu, mevsimsel olarak da kış sezonu için 54° yaz sezonu için ise 16° olduğu saptanmıştır. Aynı şekilde panel eğim açısının aylık bazda optimum değere ayarlandığında üretilen enerji miktarının, mevsimlik optimum değere ayarlanmasıyla üretilen enerji miktarına göre % 1.2, yıllık optimum eğim açısında üretilen enerji miktarına göre ise % 5 daha fazla gerçekleştirilebileceği tespit edilmiştir [31].

Hikmet Esen ve Abdullah Kapıcıoğlu'nun yapmış olduğu çalışmada panellerin arkasındaki havalandırmanın modüllerin verimliliğine nasıl etki ettiğini gözlemlemiştir. Bunun için eğimli bir alanda dört adet aynı özellikteki PV paneli (0, 10, 20 ve 30 cm) olmak üzere farklı yükseklikteki verimleri kıyaslanmış olup 20 cm yüksekliğindeki PV panelin verimi en iyi olarak % 19.66 hesaplanmıştır [32].

Batmanda bir okulun terasına 30° eğimli 24 adet amorf silisyum panel ile kurulmuş şebeke bağlantılı GES tesisinin performansını dış etkenlerin nasıl etkilediği konusunda Osman Pakma bir çalışma yapmıştır. Buna göre 2016 yılına ait elektrik üretim verilerini dikkate alarak ortam ve modül sıcaklıklarının sistem performansını %6 - %9 arasında etkilediğini hesaplamıştır [33].

Isparta İlinde özellikleri aynı 2 adet monokristal hücreli 175 Wp gücünde PV panel 33.3° eğimde yerleştirilip su ile soğutma uygulandığında verimimin nasıl arttığını incelemek amaçlı bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada PV panelin birisinin arka yüzeyine yerleştirilen boruların içerisinden su geçirilerek soğutma sağlanmış olup diğer PV panelde soğutma uygulanmamıştır. Bunun sonucunda soğutmalı ve soğutmasız PV paneller karşılaştırılmış, sistemin soğutulmasıyla elektrik üretiminde yaklaşık % 35'lik güç artışının sağlandığı ve % 7'lik de verim artışının görüldüğü hesaplanmıştır [34].

Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Yerleşkesinde yapılan bir çalışmada monokristal, polikristal ve kadmiyum-tellür PV panellerinin aralık ve mayıs ayları için performansları karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda 6 adet 195 Wp gücünde monokristal panel, 5 adet 250 Wp gücünde polikristal panel ve 8 adet 150 Wp gücünde kadmiyum-tellür güneş panellerinden oluşan ayrı ayrı 3 sistemin performansları incelenerek kadmiyum-tellür PV sistemin polikristal sisteme göre % 11.2 monokristal sisteme göre de % 14.8 daha fazla enerji ürettiğini belirlemişlerdir [35].

Şanlıurfa ilinde aynı özellikteki iki PV panelden birine Toprak-Hava Isı Değiştirici (THID) sistemi ile soğutma uygulanarak diğerine ise uygulanmadan PV modüllerin verimliliği üzerine bir çalışma yapılmıştır. THID sistemi toprağın sahip olduğu enerjiyi kullanarak, yazın havanın soğuması kışın ise ısıtılması için kullanılan sistemdir. Bu çalışmada Mühendislik Fakültesinin arazisi içerisinde 3 m derinlikte bulunan ve 12 m uzunluğundaki yalıtımlı çelik boru vasıtasıyla THID sisteminden elde edilen soğuk hava ile PV panelin yüzey sıcaklığının yaklaşık 20° C azaldığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda soğutma uygulanan panelden elde edilen gücün soğutma uygulanmayandan % 5 daha fazla arttığı da hesaplanmıştır [36].

İ. Arslan'ın yüksek lisans tez çalışmasında Tekirdağ ve Batı Marmara Bölgesi için en uygun panel tipini belirlemek amacıyla 150 Wp'lik monokristal ve 150

Wp'lik polikristal panellerle yapılan deneyde elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen ölçüm sonuçlarına göre iki panelinde ürettikleri gerilim ve güç değerinin birbirine yakın olduğu ve Tekirdağ iklim şartlarında monokristal panelin verimini % 15, polikristal panelin verimini % 14.9 olarak tespit etmişlerdir [37].

Selçuk Özel tez çalışmasında Mersin ili kış dönemi (Ekim 2014-Mart 2015) altı aylık bir süre boyunca 25°'lik eğim açısında ince film PV panelin performansını incelemiştir. PV panelin veriminin katalog değerinde % 8.25 göstermesine karşın yapmış olduğu ölçümler sonucunda % 6.24 - % 6.55 arasında değişiklik gösterdiğini tespit etmiş ve altı aylık süre için panel gerçek veriminin katalog değerinde gösterilenin % 20 oranında aşağısında kaldığını belirlemiştir [38].

Karabük ili için Ü. G. Eruz'un yaptığı çalışmada monokristal, polikristal ve ince film PV panellerin verimlilikleri incelenmiş Karabük ili ve Batı Karadeniz Bölgesi için maliyet bakımından hangi panel tipinin uygun olduğu belirlenmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda Karabük iklim şartlarında monokristal panelin verimi % 12 ile % 16 arasında olduğu, polikristal panelin verimi % 21'e kadar yaklaştığı ve ince film PV panelin veriminin ise % 5'i aşamadığı tespit edilmiştir. Polikristal panelin diğerlerine nazaran yüksek veriminden dolayı kullanılmasının uygun olacağı kanısına varılmıştır [39].

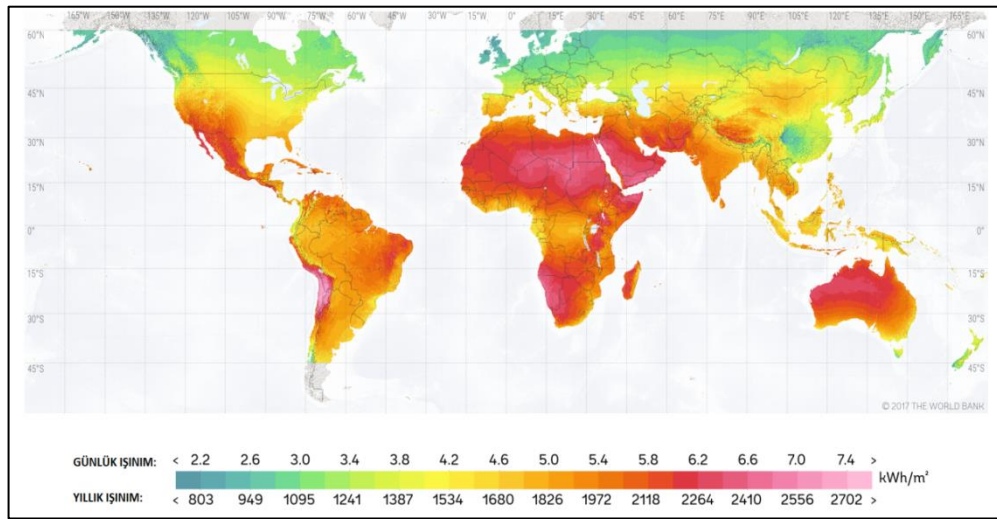
Diyarbakır ilinde Dicle Üniversitesi bünyesinde 250 kWp gücünde kurulmuş olan GES tesisinin simülasyonu PVSYST V6.39 programı ile yapılmış olup (Aralık 2015 - Nisan 2016) dönemindeki üretim değerleri simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması üzerine Cem Haydaroğlu ve Bilal Gümüş tarafından bir çalışma yapılmıştır. Buna göre ocak ayı hariç diğer dört ayda (aralık, şubat, mart, nisan) gerçek üretim değerlerinin simülasyon sonuçlarından daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda simülasyon sonuçları ile gerçek üretim değerleri arasındaki karşılaştırmada en büyük farkın % 29.91 ile aralık ayında olduğu ve bu aydaki gerçek üretim değerlerinin simülasyondakinden büyük çıktığı belirlenmiştir [40].

Furkan Sadıkoğlu 1 MW gücündeki GES tesisindeki tozlanmanın performans üzerindeki etkilerini ortaya koymak üzere bir çalışma yapmıştır. Panellerde temizlik yapılmadan önce iç verim % 7.01 iken, temizlik yapıldıktan sonra verimi % 7.88 olarak hesaplamıştır [41].

GES tesislerinin verimliliğini ışınım, eğim açısı, gölgelenme, havalanma, sıcaklık, tozlanma gibi faktörler etkilemekte olup detaylı bir şekilde aşağıda verilmiştir.

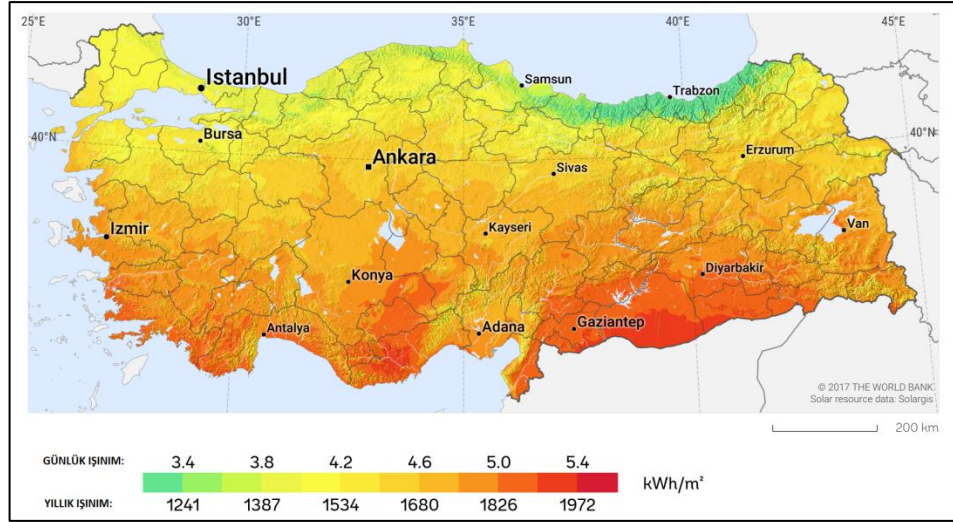
3.3.1 Güneş Işınımı

Dünya ile güneş arasındaki mesafe çok büyük olduğundan dolayı yeryüzüne güneş ışınımının az bir kısmı ulaşır. Güneş ışınımının dünya atmosferinin dışındaki yoğunluğu güneş ile dünya arasındaki uzaklığa bağlıdır. Bir sene içerisinde bu mesafe 147 ile 152 milyon kilometre arasında değişir. Bundan dolayı güneşe dik bir alana düşen ışınımın gücü yıl boyunca 1325 W/m^2 ile 1420 W/m^2 arasında değişir. Güneş ışınım gücü E_Q ile ifade edilir. Bu değer yıl ortalamasına güneş sabiti adı verilir. Güneş sabiti E_0 olarak gösterilir ve değeri 1367 W/m^2 dir. Düşen güneş ışınımının gücü bir yıl boyunca toplandığı zaman kWh/m^2 biriminde yıllık küresel ışınım (enerji) elde edilir [42].



Şekil 3.8: Dünya yüzeyinde yıllık güneş ışınımının dağılımı [43]

Şekil 3-8'den de görüleceği üzere yıllık güneş enerjisi miktarı dünya üzerindeki bölgelerde değişkenlik göstermektedir. Hem kuzey yarım küre hem de güney yarım küredeki 15-30 derece enlemleri arasındaki yıllık ışınım miktarı $2400 - 2700 \text{ kWh/m}^2$ arasında değer alarak diğer bölgelerden çok daha fazla güneş enerjisine sahiptir. Aynı şekilde kutup bölgelerine yakın kısımlarda güneş enerjisi miktarı diğer bölgelere nazaran azdır.

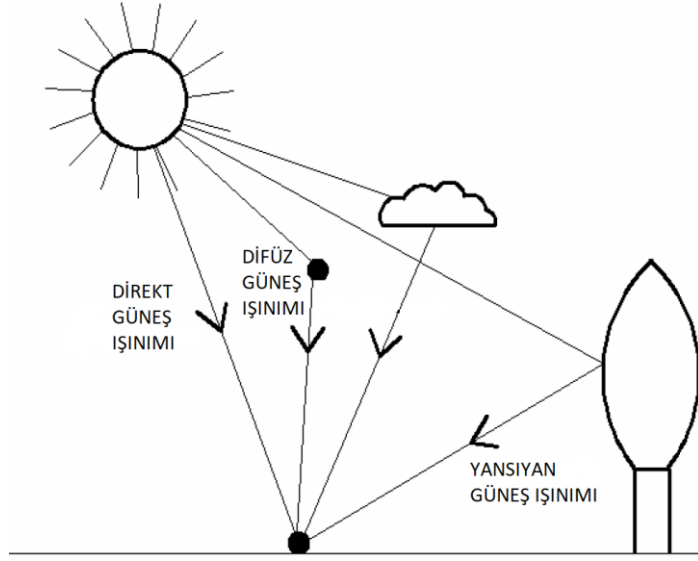


Şekil 3.9: Ülkemizdeki yıllık güneş ışınımının dağılımı [43]

Şekil 3-9'da ise ülkemizdeki yıllık güneş enerjisi miktarı verilmiştir. Ülkemizin farklı bölgelerinde bu miktar yaklaşık 1200 – 2000 kWh/m² dir. Bunun sonucunda Dünya geneline göre Türkiye'nin yıllık güneş ışınımı bakımından orta sıralarda yer aldığı söylenebilir.

3.3.1.1 Işınım Çeşitleri

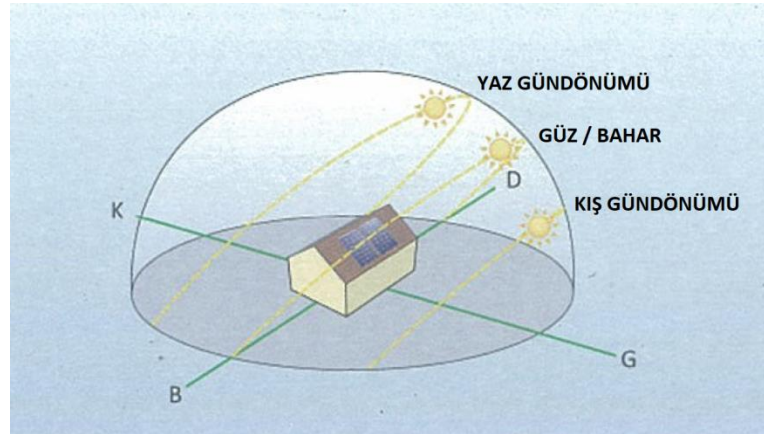
Güneş ışınimleri morötesi, X ışınları ve gama ışınlarını da içinde barındırır. Dünyaya gelen güneş ışınlarının zararlı olanları atmosfer tarafından filtrelendir. Kalan güneş ışınımının bir kısmı atmosferdeki toz, partikül ve havadaki moleküller vasıtası ile yansımaya uğrar buna difüz güneş ışınımı denir. Bunun dışında kalan güneş ışınımının bir bölümü direk yer yüzeyine ulaştığından direkt ışınım, geriye kalan da binalar, dağlar, su yüzeyleri gibi yerlerden yansımasıyla yansıyan güneş ışınımı olarak adlandırılır. Yansıyan güneş ışınımı ile difüz güneş ışınımı arasındaki fark, difüz güneş ışınımına atmosferdeki cisimlerin sebep olması, yansıyan güneş ışınımına ise yeryüzündeki bina, ağaç, kar vb. cisimlerin sebep olmasıdır. Direkt, difüz ve yansıyan güneş ışınımının toplamı yer yüzeyine gelen toplam güneş ışınımını verir [44].



Şekil 3.10: Yer yüzeyine düşen güneş ışınımı çeşitleri [44]

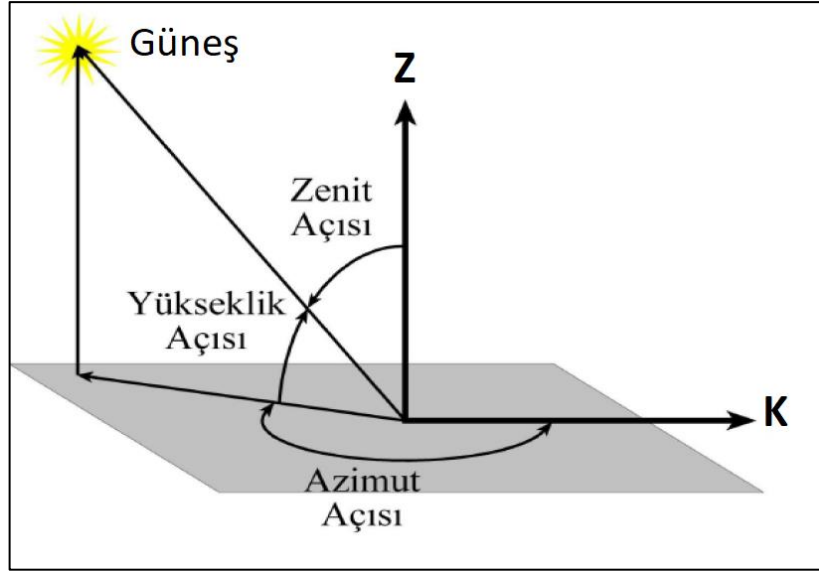
3.3.2 Açı Kavramı ve Eğim Açısı

Güneşin gökyüzündeki konumu dünya üzerindeki bir yere göre yıl boyunca değişkenlik gösterir. Ülkemiz kuzey yarım kürede yer aldığından Şekil 3.11’de güneşin mevsimsel olarak kuzey yarım kürede izlediği yol gösterilmiştir.



Şekil 3.11: Güneşin kuzey yarım kürede mevsime göre çizdiği yörüngeler [42]

Güneşin dünya üzerinde bir noktadaki konumu güneşin azimut açısı ve güneşin yüksekliğine ya da yükseklik açısına bağlı olarak bulunabilir. Şekil 3.12’de güneşin konumunu tanımlayan açılar gösterilmiştir.



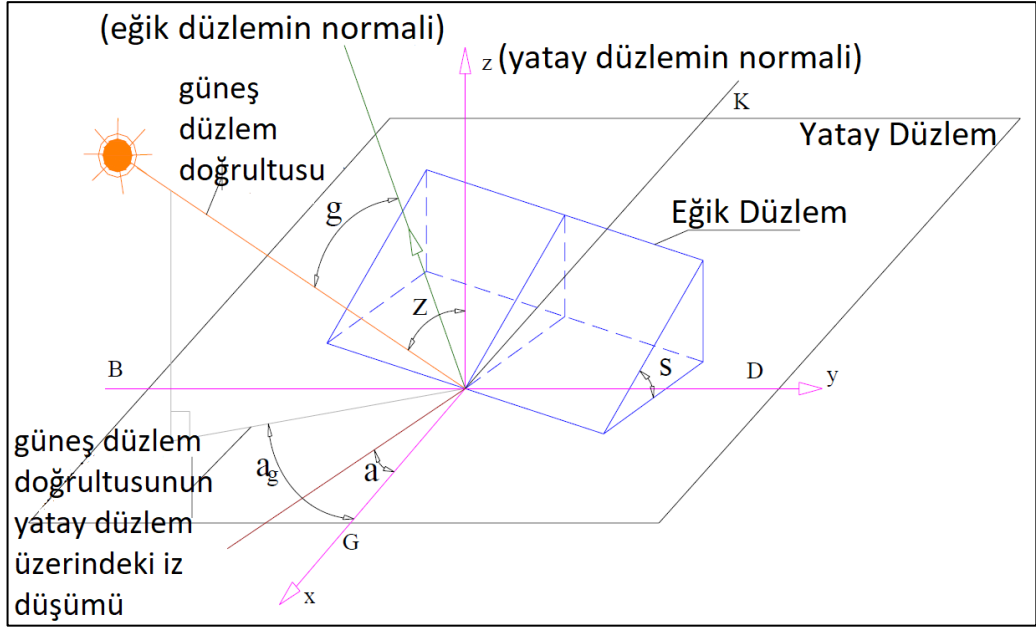
Şekil 3.12: Güneşin konumunu tanımlayan açılarının gösterimi [45]

Azimut açısı (a_g): Güneşin yatay düzlem üzerindeki iz düşümünün güney ile yaptığı açıya azimut açısı denir. Azimut açısı güneş tam güney konumdayken 0° 'dir. Azimut açısı güneyden batıya doğru pozitif değer alırken, güneyden doğuya doğru negatif değer alır.

Yükseklik açısı: Direkt güneş ışınlarının yatay düzlem ile yapmış olduğu açıya denir.

Zenit açısı (z): Direkt güneş ışınlarının yatay düzlemin normali ile yapmış olduğu açıya verilen addır. Buradan çıkarılacak sonuç güneşin yükseklik açısı ile zenit açısının birbirinin tümleyeni olduğudur. Yani iki açının toplamı 90° 'dir.

Ülkemiz kuzey yarım kürede yer aldığından tesis edilen veya edilecek olan GES'e ait panellerin konumu da güneye bakacak şekilde yerleştirilir. Böyle olunca yukarıda bahsi geçen açılara ilave olarak eğik düzlem açıları da önem arz etmektedir. Şekil 3.13'de eğik düzlem açıları verilmiştir.

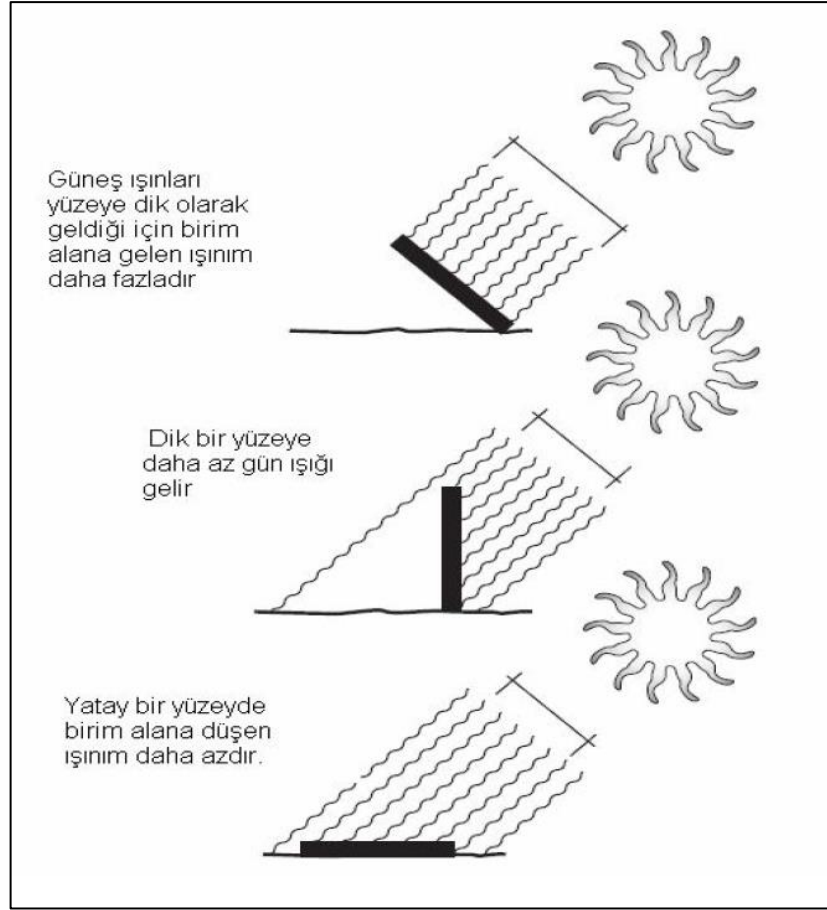


Şekil 3.13: Eğik düzlem açıları [46]

Eğim açısı (s): Eğik düzlemin yani güneş panelinin yatay düzlem ile yapmış olduğu açıya denir. Panel açısı olarak da bilinir. GES proje tasarımında panellerin eğim açısı en fazla önem arz eden durumdur.

Geliş açısı (g): Direkt güneş ışınlarının eğik düzlemin normali ile yapmış olduğu açıya verilen addır.

Panel Azimut açısı (a): Eğik düzlemin normalinin yatay düzleme ait iz düşümünün güney yönü ile yapmış olduğu açıdır. Güneş azimut açısında olduğu gibi güneyden batıya doğru artı, doğuya doğru eksi değer almaktadır. GES tesisine ait proje tasarımında panellerin yönü ve azimut açısı en dikkat edilmesi gereken konular arasındadır.



Şekil 3.14: Düzleme gelen güneş ışınımı [47]

3.3.2.1 Optimum Eğim Açısı

GES tesislerinde panel eğim açısının son derece önemli olduğu yukarıda bahsedilmiştir. Güneş panellerinin performansının yüksek olması için Şekil 3.14'ten de görüleceği üzere güneş ışınlarının panel yüzeyine dik bir açıyla gelmesi istenilir. Diğer bir ifadeyle geliş açısı (g) olarak adlandırılan açının 0° veya bu dereceye yakın bir açı olması durumunda panel performansı da maksimum değerde olacaktır. Buradan şu sonuca varılabilir ki; gün içinde güneşin doğuşundan batışına kadar geçen sürede panellerden maksimum performans elde edebilmek için panellerin güneşin konumuna göre yön değiştirerek geliş açısını minimize etmesi gerekmektedir. Bu tür sistemler hareketli sistem olarak adlandırılır. Hareket sistemli GES tesislerinin kurulum maliyetinin yüksek olması, sisteme ait parça veya malzemelerin bakım gerekliliğinden dolayı pek tercih edilmemektedir. Kurulması planlanan güneş panelleri sabit bir biçimde olacağından, öyle bir açıda

yerleştirilmelidir ki maksimum performans elde edilebilsin. İşte bu açıya optimum eğim açısı adı verilir.

Optimum eğim açısı aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

Yıllık olarak optimum eğim açısı = enlem,

Yaz ayları için eğim açısı = enlem – 10° ,

Kış ayları için eğim açısı = enlem + 10° ,

olmak üzere basit bir biçimi ortaya koyulduğu gibi,

Yıllık optimum eğim açısı = 0,9 x enlem,

şeklini önerenler de bulunmaktadır [48].

3.3.3 Gölgeleme

PV sistemlerde performansı en çok ilgilendiren kısım gölgeleme olayıdır. PV panel üzerine gölge düşmesi durumunda PV hücre ışınımına maruz kalmadığından enerji üretemeyecektir. Panel üzerinde gölgelemeye çevredeki ağaçlar, binalar, GSM kuleleri, yüksek gerilim elektrik hatları ve direkleri vb. etmenler sebep olabileceği gibi GES tesisinde panel yerleşimi de etki edebilir. Şöyle ki arazi veya çatı uygulamalı GES tesisinde arka arkaya yerleştirilmiş sehpalardaki PV dizelerin, öndeki dizenin gölgesinin arkadaki dizeye ulaşması şeklindedir. Bundan dolayı GES tesisi projelendirme aşamasında sistemin gölgeleme analizi yapılmalı ve çözüm yolları aranmalı özellikle iki PV dize arasında bırakılacak mesafeye dikkat edilmelidir.

3.3.4 Havalanma ve Sıcaklık

PV panellerin sıcaklık artışı ile performansı arasında ters orantı vardır. 1 °C’ de panelin performansı yaklaşık olarak % 0.5 azalır. Soğutma olması için panellerin arkasında ve arasında yeterli havalanma boşluğu bırakılmalıdır. İki PV panelin yan yana bağlantı mesafesi en az 20 mm olmalıdır. PV paneller çatı üzerine uygulanması

durumunda, kiremit kaplı çatıda en az 60 mm, metal, trapez veya sandviç kaplamalı çatıda en az 100 mm, diğer çatı kaplamalarında en az 80 mm PV panel ile çatı arasında boşluk olmalıdır [49].

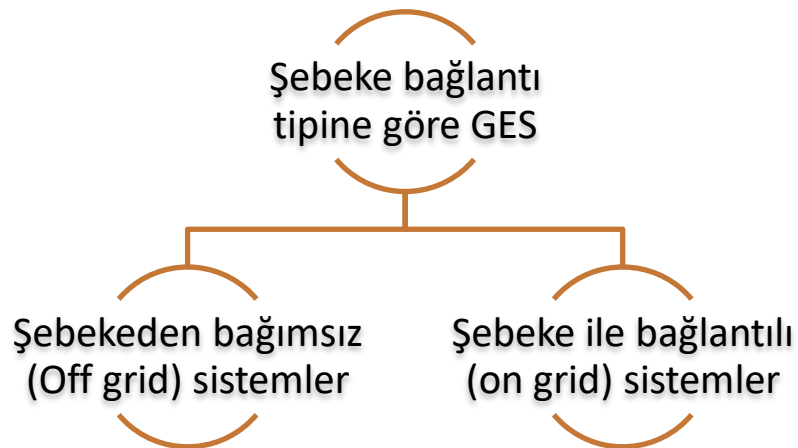
3.3.5 Tozlanma ve Kirlilik

PV panellerin üzerinde oluşabilecek tozlanma veya kirlilik, panelin yeterince güneş ışınımı almasına engel teşkil edeceğinden panel performansına olumsuz etki eder. Bu sebeple PV panellerin belirli periyotlarla bakım ve temizliği yapılmalıdır. Yağmur ve kar suyu da panellerin temizliğine katkı sağlamaktadır.

Bunun yanı sıra GES'lerin kurulacağı konumun da iyi belirlenmesi gerekir. Maden ocağına yakın yerlere, doğaya partikül saçan fabrika yakınlarına, asfalt olmayan işlek yol kenarlarına, toz bulutlarının sıklıkla seyrettiği coğrafyaya vb. PV panellerin kurulması halinde bakım ve temizliğin önemi daha da artmakta veya bu tür konumlara GES tesisi kurmaktan kaçınılmalıdır.

3.4 Şebeke Bağlantı Tipine Göre GES'lerin Sınıflandırılması

Şebeke bağlantı tipine göre GES'ler şebekeden bağımsız ve şebeke bağlantılı olmak üzere iki kısma ayrılır. Şekil 3.15'de şebeke bağlantı tipine göre GES'leri gösterir diyagram verilmiştir.

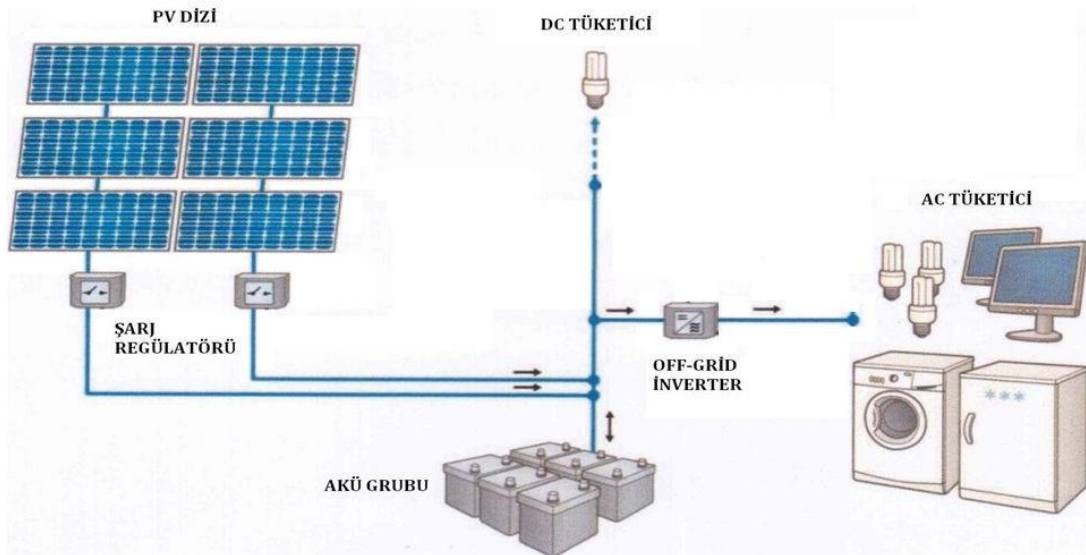


Şekil 3.15: Şebeke bağlantı tipine göre GES

3.4.1 Şebekeden Bağımsız Sistemler

Şebeke elektriğinin olmadığı veya üretilen enerjinin piyasaya satış amacının güdülmediği durumlarda elektrik enerjisinin sağlanması amacıyla kurulan sistemlerdir. Bu tür sistemlerde gece de kullanım amacı olduğundan fotovoltaik modüllerde üretilen DC enerji akülerde depo edilir. Doğru akım ile çalışan cihazlar direk akünün çıkışından beslenebileceği gibi alternatif akım ile çalışan cihazları çalıştırmada durum farklıdır [50].

Şebekeden bağımsız sistemlerde panel, şarj regülatörü, akü, şebekeden bağımsız çalışan evirici ve DC kablo kullanılan belli başlı malzemelerdir. PV modüllerde üretilen DC enerji şarj regülatörü vasıtasıyla akülerde depolanır. Şarj regülatörünün kullanım amacı aşırı yükleme ve aşırı deşarjdan korumak, optimum şarj seviyesini belirleyerek akünün ömrünü uzatmaktır. Akülerde depo edilen DC güç eviriciye iletilerek AC 220 V ve 50 Hz. şebeke gerilim ve frekansına dönüştürülür. Bu tür sistemler genellikle elektrik şebekesine uzak yerlerde veya elektrik şebekesinin kullanımının olmadığı dağ evi, bağ evi, su pompası vb. gibi durumlarda tercih edilirler. Ülkemizde bu tür sistemleri uygulamada proje onayı, geçici kabul vb. gibi resmi bir prosedür bulunmamaktadır. Bu nedenle sistemin tasarımı ve kurulumu fazla zaman almamaktadır.



Şekil 3.16: Şebekeden bağımsız sistemin çalışma prensibi

3.4.2 Şebeke ile Bağlantılı Sistemler

Şebeke bağlantılı sistemlerin ana özelliği üretilen enerjinin ihtiyacı kadar olanını tüketmek ve ihtiyaç fazlasını bağlantı noktasına bağlanan çift yönlü sayaç vasıtasıyla ana dağıtım şebekesine aktarabilmektir yani satış yapabilmektir [51].

Şebeke bağlantılı sistemler için devletler tarafından güncel koşullara bağlı olarak farklı kanun, yönetmelik, alım garantisi süreleri ve tarifeler geliştirilmektedir [52]. Örneğin; Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmeliği'nin 7. Maddesinde yapılan değişiklikle 10 kW ve altı çatı ve cephe uygulamalı GES tesislerinin yapımı için prosedür azaltılmış dolayısıyla bu tür tesislerin kurulmasına yatırımcıların özendirilmesi sağlanmıştır. Ayrıca Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. (TEDAŞ) 2018 yılında yayınlamış olduğu "Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği Kapsamında 10 kW ve altı Çatı ve Cephe Uygulamalı Güneş Elektrik Üretim Tesisleri İçin Tip Proje ve Ekleri" de bu tür sistemlerin kurulması ve projelendirilmesi için yol göstermektedir.

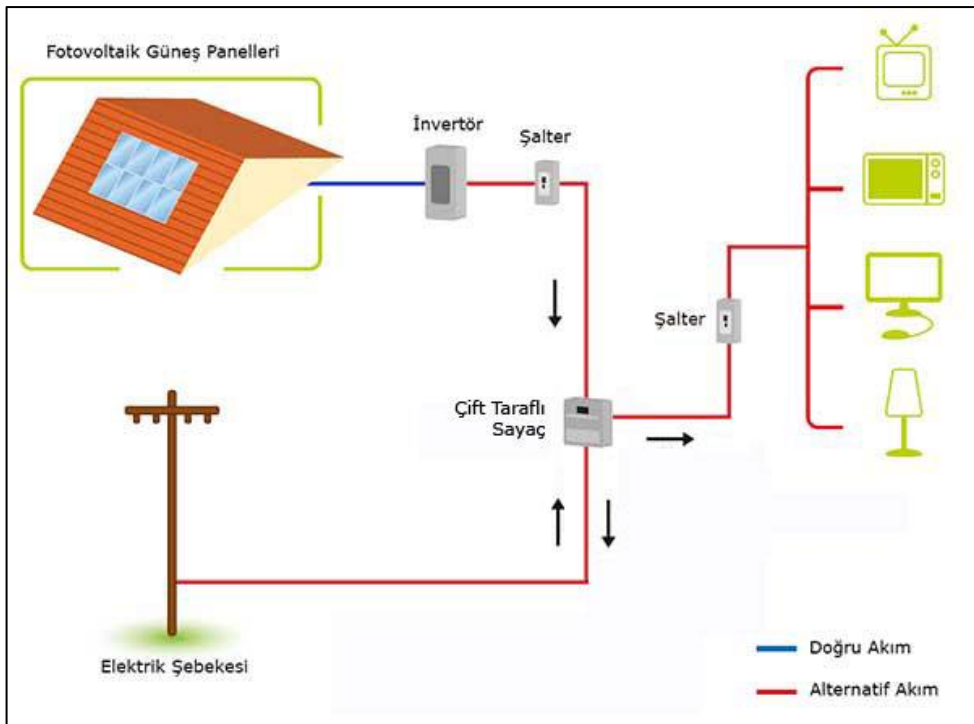
Şebeke bağlantılı sistemler, alçak gerilimden (AG) bağlantılı veya yüksek gerilimden (YG) bağlantılı olmak üzere iki başlık altında değerlendirilebilir. Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmeliği'ne göre GES kurulu gücün 11 kWe ve altında olması halinde AG'den, 11 kWe üstü olması halinde ise yapılan teknik değerlendirme sonucunda AG veya YG'den bağlantı noktası seçilir [53].

500 kW'lık GES tesisinin YG seviyesinden şebekeye bağlantısı şu şekilde incelenebilir. Bağlantı noktasından GES tesisinin kurulduğu yerde bulunan trafo binasına (hücre/trafo/AG Pano bölüm dahil beton köşk) uygun kesite havai hat veya yeraltı enerji nakil hattı (ENH) olarak gelir ve beton köşk içerisindeki otoprodüktör hücrelerine giriş yapar. Buradan çift yönlü sayacın da bulunduğu ölçü hücresinden geçerek trafo koruma hücrelerine gelir ve trafoya bağlanır. Trafodan uygun kesitteki kablolar vasıtasıyla çıkış yapılır ve AG panonun girişinde bulunan şaltere (ana güç kesicisi) gelir. Bu ana güç kesicisi yine AG panoda bulunan arayüz koruma rölesi ile irtibatlanır ve üretilen enerji miktarını ölçmek için tek yönlü sayaç bağlanır. Buraya kadar olan kısım hemen hemen tüm GES tesislerinde aynıdır. Bu anlatılanlardan sonrası projeye göre değişiklik gösterebilir. Daha sonra alt besleme (güç kesici /

sigorta) çıkışlarından eviriciye / eviricilere uygun kesitte AG kablosu ile bağlantı yapılır. Eviriciler de DC kablo ve koruma elemanlarından geçerek panellerden oluşan dizilere bağlandıktan sonra tüm irtibatlar sağlanmış olur.

10 kW'lık bir GES tesisinin AG seviyesinden şebekeye bağlantısı incelendiğinde, bağlantı noktasında (bina girişindeki ana pano veya trafo ana panosu) uygun kesitte kablo ile yeni tesis edilmiş şalterden (ana güç kesicisi) çıkış yapılır. Buradan sadece üretilen enerji miktarını ölçmek için tek yönlü sayaç bağlanır. Bu arada diğer koruma elemanları da bağlanarak eviricinin AC kısmına giriş yapılır. Panellerden oluşan dize / dizelerden gelen uygun kesitteki DC kablo da eviricinin DC kısmına bağlanarak tüm irtibatlar yapılmış olur. Ticari amaçla kurulan sistemlerde çift yönlü sayaç kullanılır. Eğer evirici 1 fazlı, 2 fazlı veya 3 fazlı şebeke kesildiğinde sistemden ayrılmıyor ise arayüz koruma rölesi kullanmak zorunludur ve ana güç kesicisi ile bağlantısının yapılması gerekir [54].

Ülkemizdeki şebeke bağlantılı sistemlerin şebekeden bağımsız sistemlerden bir farkı da proje onay ve kabul işlemlerine tabi tutulmasıdır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın her yıl yetkilendirdiği kurum ve kuruluşlar tarafından GES tesislerinin proje onayı ve kabulleri yapılmaktadır. Bu da şebeke bağlantılı sistemlerin prosedüre maruz kalması anlamına gelir.



Şekil 3.17: Şebeke bağlantılı sistemin çalışma prensibi

3.5 Fotovoltaik GES Tesislerinin Avantajları ve Dezavantajları

Fotovoltaik güneş enerji tesislerinin kurulumunun çabuk ve kolay olması, bakıma fazla ihtiyaç duymaması, panellerinin ömrünün uzun olması, sessiz ve temiz bir şekilde çalışır olması, buna nazaran çevre kirliliğine sebep olmayışı, fotovoltaik teknolojinin ham maddesi olan silisyum elementinin doğada en çok bulunan elementlerden olması, bu sebeple petrol, kömür vb. fosil yakıtlar gibi tükenebilir olmaması, seri üretim için uygun oluşu, herhangi bir şebekenin olmadığı yerlerde kullanılabilir oluşu GES tesislerinin avantajlarından [55].

7/24 çalışma gibi bir durumun olmaması, panellerin kurulacağı yer önemli ölçüde alan işgal ettiğinden yeterli büyüklükte alanın temin edilmesi, maliyetinin yüksek oluşu, buna istinaden amortisman süresinin uzun oluşu, proje onayı, kabul, vb. belli başlı prosedürlere tabi tutulması GES tesislerinin dezavantajları arasında gösterilebilir.

3.6 Fotovoltaik Teknolojinin Uygulama Alanları

Fotovoltaik uygulamalardan elektrik enerjisine ihtiyaç duyulan her yerde faydalanılabilir. Bu durum güneşten elde edilen enerjinin direkt olarak kullanılabilmesine olanak sağladığı gibi akülerde depo edilip sonra kullanılması şeklinde de olabilir. Özellikle güneş ışığından gece yararlanma durumlarında akülerde depo edilen enerjinin kullanılması gerektiği gibi [56].

Fotovoltaik teknoloji iki başlık altında incelendiğinde çatı, cephe ve arazi uygulamalı olmak üzere üretilen elektrik enerjisi arzu edilen şekilde değerlendirilebilir. İkinci olarak ise bunların dışında kalan basit çözümlü, kullanım amacı belli ve sınırlı olan tesisler veya materyallere yönelik uygulamalar şeklinde düşünülebilir.

3.6.1 Cephe Uygulamalı Fotovoltaik Modüller

PV modüllerin doğrudan bina kabuğunu oluşturduğu kullanımdır. Biçimsel olarak değişik duvar türleri (düzlemsel, eğimli, kırıklı vb.) oluşturulabilir. Bu

duvarları oluşturan PV modüller metal ızgaralara takılarak yükü de binanın yapı taşıma sistemine aktarılır [57].



Şekil 3.18: PV modüllerin bina dış yüzeyine uygulanması

3.6.2 Çatı Uygulamalı Fotovoltaik Modüller

Fotovoltaik paneller modüllerin çeşidine veya çatının şekline göre istenilen bir şekilde çatılara uygulanabilir. Çatı biraz eğime sahip ve yüzeyinin kaplama olması tercih edilecekse ince film panellerin yapıştırılması şeklinde düşünülebilir. Bu şekilde kullanım ülkemizde yaygın değildir. En çok karşımıza çıkan durum eğimli çatılarda panellerin ek bir yapı ile çatılara entegre edilmiş halidir. Çatı herhangi bir eğime sahip değilse paneller optimum eğim açısında çelik konstrüksiyonlara entegre edilerek uygulama gerçekleştirilir [58].

Fotovoltaik modüllerin çatıya uygulanabilirliğinde dikkat edilmesi gereken durum, panel ve konstrüksiyon sistemi çatıya ek bir yük getireceğinden çatı dayanımının yani statik olarak uygunluğunun bilinmesi gerekir. Ayrıca panellere gelecek ek kar yükü veya tesir edecek rüzgar kuvveti de dikkate alınarak panellerin çatıya montajı yapılmalıdır. Aksi halde insanlara veya çevreye zarar verecek bir durumla karşılaşılabilir.



Şekil 3.19: PV modüllerin eğimli çatıya uygulanması



Şekil 3.20: PV modüllerin düz çatıya uygulanması

3.6.3 Arazi Uygulamalı Fotovoltaik Modüller

Bu tür uygulamalarda güneş panelleri bulunduğu konumun olabildiğince optimum eğim açısında olacak şekilde çelik konstrüksiyonlar üzerine entegre edilerek uygulanırlar. Arazi uygulamalı fotovoltaik modüller için belli başlı dikkat edilecek hususlar şöyle sıralanabilir:

- Arazinin durumu (eğik, düz, engebeli vb. oluşu) panellerin yerleşimi için önem arz eder.
- Arazinin konumu / yönü (güney, kuzey, doğu, batı, vb.) uygulamanın nasıl yapılacağı için önemlidir.
- Arazinin tarıma elverişli alanlar içinde olmaması gerekir. Başka bir deyişle marjinal tarım arazilerine uygulanmalıdır.
- Arazinin büyüklüğü önemlidir. Çünkü gölgelenme yaşanmaması için panel dizilimi ona göre projelendirilmelidir.

- Arazinin yapısı (toprak, kayalık, sulak, vb.) önemlidir çünkü panellerin entegre edileceği çelik konstrüksiyonlar panellerin ağırlığına, ek yüklere dayanabilecek şekilde tesis edilmesi gerektiğinden zemin etüdünün iyi yapılması gerekir.



Şekil 3.21: PV modüllerin araziye uygulanması

3.6.4 Fotovoltaik Teknolojinin Diğer Uygulama Alanları

Yakınında elektrik dağıtım şebekesinin olmadığı, şebeke yapılmasının daha maliyetli olduğu veya şebeke yapılmasının ihtimali olmadığı vb. gibi durumlarda fotovoltaik modüllerden faydalanılabilir. GSM operatörlerinin santralleri, TV ve radyo istasyonları, orman gözetleme kuleleri, deniz fenerleri vb. bunlara en güzel örnektir [59]. Bu tür yerlerde enerjiye 7/24 ihtiyaç duyulduğu için fotovoltaik modüllerde üretilen enerji akülerde depolanır ve o şekilde kullanım sağlanır.



(a)



(b)

Şekil 3.22: PV modüllerin uygulanması a) GSM istasyonu, b) Deniz feneri

Bunların haricinde süs amaçlı dekoratif aydınlatmalarda, trafik ikaz lambaları veya levhalarında, reklam panolarının aydınlatmalarında vb. gibi yerlerde fotovoltaik modüller kullanılarak enerji temininin sağlandığı durumlar vardır. Burada da fotovoltaik modüllerde üretilen enerji akülerde depo edilerek istenilen zamanlarda kullanılmaktadır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.23: PV modüllerin uygulanması a) Süs aydınlatması, b) Trafik ikaz lambası, c) Reklam tabelası

Ayrıca günlük hayatta çokça kullanılan aletlerde, aksesuarlarda, eşyalarda vb. materyallerde fotovoltaik uygulamalara rastlanmaktadır. Örneğin kol saatleri, hesap makineleri, yedek şarj ünitesi vb.



Şekil 3.24: PV modüllerin uygulanması a) Hesap makinesi, b) Kol saati, c) Yedek şarj ünitesi

Uygulanabilirliği günlük hayatta olmasa da Ar-Ge aşamasında olup sınırlı sayıda geliştirilmiş fotovoltaik modül ile çalışan arabalar da bulunmaktadır.

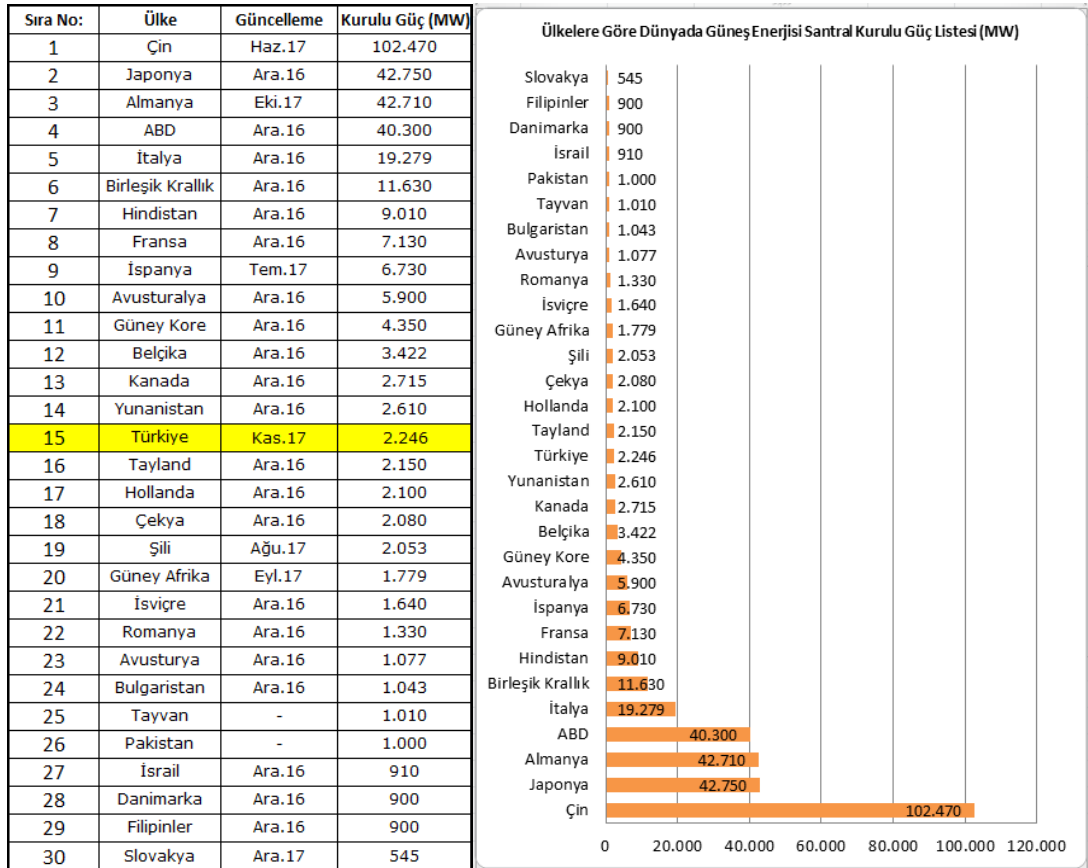


Şekil 3.25: PV modül ile çalışan araba

4. BALIKESİR İLİNDE GES ÇALIŞMALARI

Dünya genelinde enerji talepleri arttığından bu ihtiyaçları karşılamak amacıyla GES tesislerinin sayısı da hızla artmaktadır. Özellikle gelişmiş ülkeler GES tesisleri bakımından diğer ülkelere nazaran oldukça iyi yol almışlardır. Bunlardan Almanya, Japonya ve ABD gibi ülkeler yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili uyguladıkları teşvik politikaları nedeniyle GES tesislerinde hızlı bir artış göstermişlerdir. Buna, Almanya’da 150.000, Japonya’da 300.000 ve ABD’de 500.000’den fazla binaya güneş panellerinin yerleştirilmesi örnek olarak verilebilir. Bu şekilde hem binanın elektrik enerjisi karşılanmış olmakta, hem de binanın yapı malzemesi olan kiremit, çatı membranı gibi yüzey malzemeleri yerine kullanılarak bu malzemelerden tasarruf edilmiş olmaktadır [60]. Çizelge 4.1’de kurulu gücüne göre dünyada GES sayısı en çok olan ilk 30 ülke verilmiştir.

Çizelge 4.1: Ülkelere göre Dünya’da GES tesislerinin kurulu güç (MW) listesi [61]

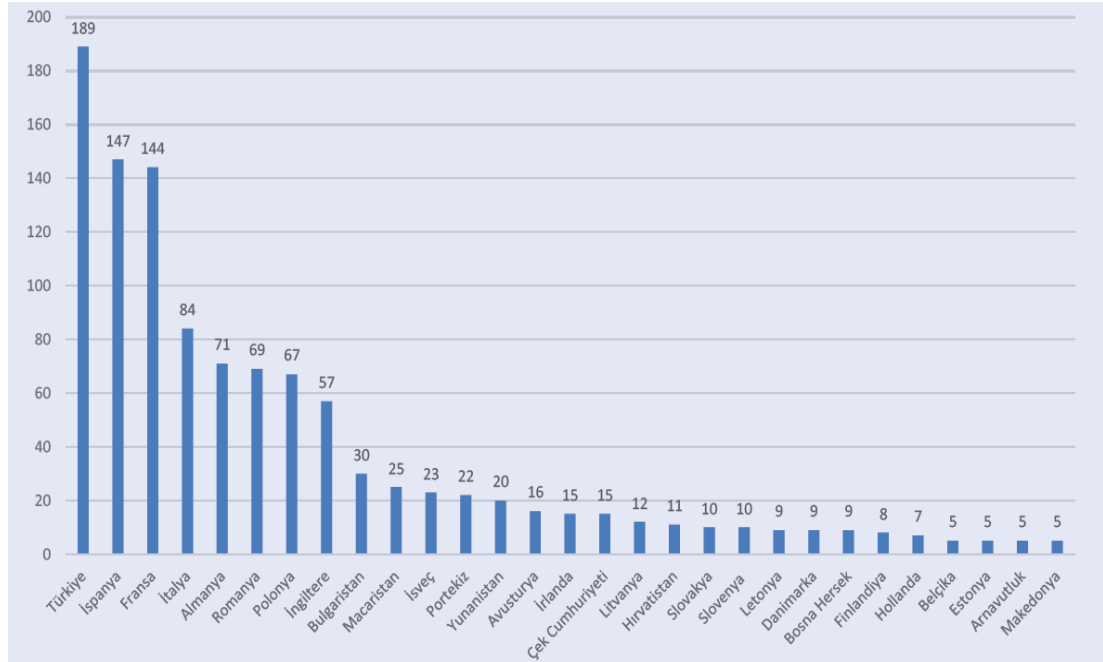


Çizelge 4.1 incelendiğinde 30 ülkedeki GES tesislerinin kurulu gücü toplam 323769 MW'tır. 102470 MW kurulu gücü ile Çin dünyadaki en fazla GES tesisine sahip ülkedir. Bu da dünyadaki GES tesislerin yaklaşık 1/3'ünün bu ülkede kurulduğunun kanıtıdır. Ülkemiz ise 2246 MW ile dünyadaki toplam GES kurulu gücünün yaklaşık %7'si kadarına sahiptir.

NOT: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın resmi internet sitesinde (<https://www.enerji.gov.tr>) 2018 yılı Haziran ayı sonu itibarıyla ülkemizde lisanssız 4703 MW, lisanslı 23 MW olmak üzere toplam PV Güneş Enerjisi Santrali Kurulu Gücünün 4726 MW olduğu belirtilmiştir.

Türkiye yıllık güneş ışınımı bakımından Avrupa ülkelerinin hepsinden daha iyi bir konumda olmasına karşın GES tesisi bakımından zengin değildir. Yine Çizelge 4.1'den de görüleceği üzere listede Türkiye'nin önünde bulunan 7 Avrupa ülkesinin toplam kurulu gücü 93511 MW olup, ülkemiz bu Avrupa ülkelerinin GES kurulu gücünün yaklaşık % 2.5'ine denk gelmektedir.

Ancak Viyana Teknik Üniversitesi Enerji Ekonomisi Grubu'nun yapmış olduğu çalışmada Avrupa ülkeleri arasında 189 GWh/yıl ile Türkiye elektrik üretiminde güneş enerji potansiyeli en çok olan ülkedir.

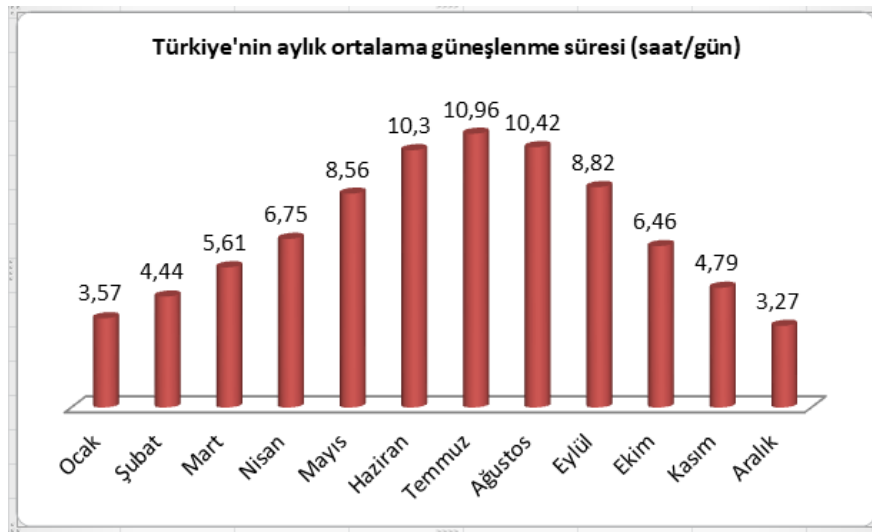


Şekil 4.1: Güneş enerji potansiyelinin Avrupa ülkelerine göre dağılımı (GWh/yıl)

[62]

Aynı şekilde ülkemizin güneşten elektrik enerjisi üretim potansiyelinin en az 500000 MW olduğu ön görülmektedir [63]. Bu bağlamda Konya ilinin Karapınar ilçesinde 1000 MW'lık Türkiye'nin en büyük GES tesisinin yapılması planlanmaktadır.

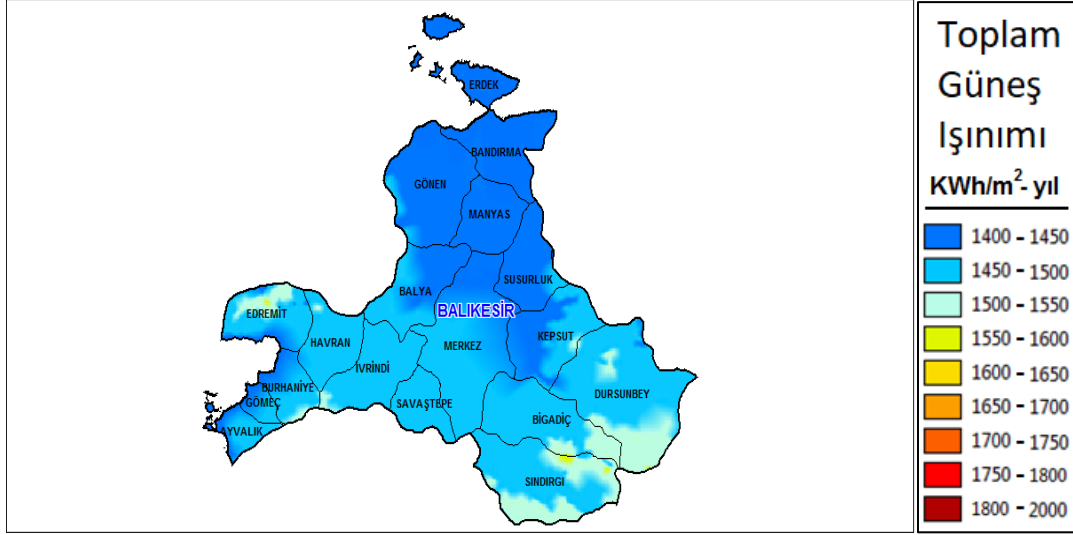
Yapılan çalışma ve araştırmalarda ülkemiz adına Güneş Enerji potansiyelinin bu kadar yüksek öngörülmesinde ülkemizin güneş ışınımının yanı sıra güneşlenme süresinin de yüksek olduğudur. Şekil 4.2'de 1988-2017 yılları arasında Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün (MGM) elde ettiği verilere istinaden ülkemizin aylık ortalama güneşlenme süresi verilmiştir.



Şekil 4.2: Türkiye'nin aylık ortalama güneşlenme süresi (saat/gün) [64]

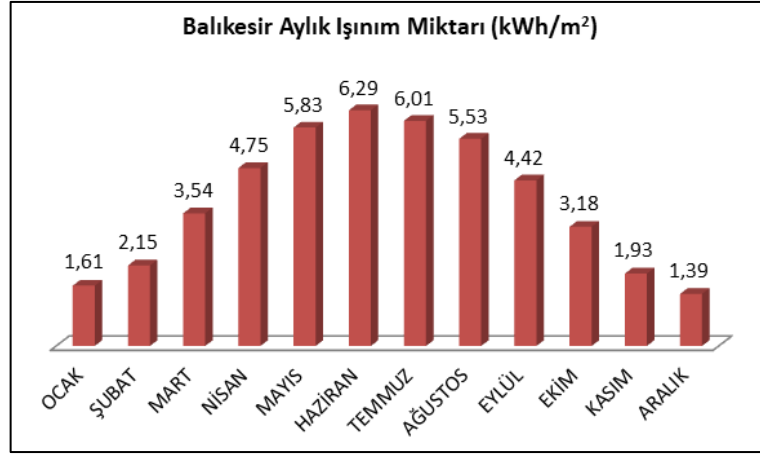
4.1 Balıkesir İlinde Güneş Enerjisi

Şekil 4.3'de Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün (YEGM) resmi internet sitesinden alınan Balıkesir ilinin Güneş Enerji Potansiyel Atlası (GEPA) verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere Balıkesir, yıllık ışınım miktarı en az 1400 kWh/m² ve en fazla 1550 kWh/m² olmak üzere farklı ilçe ve konumları barındırmaktadır.



Şekil 4.3: Balıkesir ili yıllık ışıınım miktarı haritası (kWh/m²) [65]

Aynı şekilde Balıkesir'in aylık bazda günlük ışıınım miktarı da Şekil 4.4'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4: Balıkesir ili aylık bazda ışıınım miktarı (kWh/m² - ay) [65]

Şekil 4.4'e göre bir hesap yapıldığında, yıllık ortalama ışıınım miktarı (kWh/m² - ay);

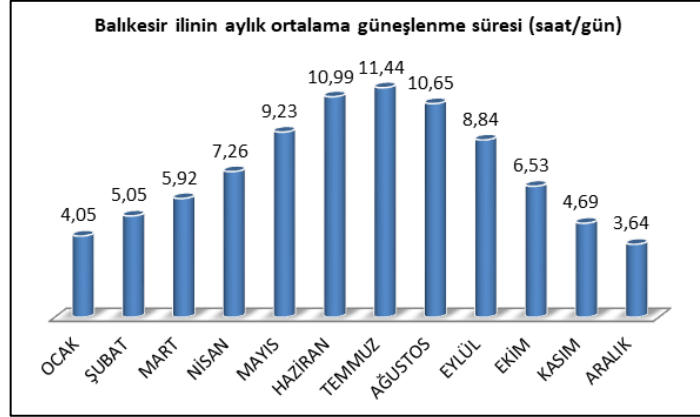
$$(1,61+2,15+3,54+4,75+5,83+6,29+6,01+5,53+4,42+3,18+1,93+1,39) / 12 = 3,88$$

olarak hesaplanmaktadır. Aylık ortalamanın gün sayısı ile çarpılması durumunda;

$$3,88 \times 365 = 1416 \text{ kWh/m}^2$$

elde edilmektedir. Bu sonuç Balıkesir ili için yaklaşık olarak yıllık toplam ışı nım miktarını göstermektedir. Hesaplanan sonuçların Şekil 4.3'deki ışı nım haritası ile uyumlu oldu ğ u ve haritadaki verilerin do ğ rudan kullanımının uygulamalar için uygun oldu ğ u teyit edilmiş olmaktadır.

Şekil 4.5'de Balıkesir İlinin aylık bazda ortalama güneşlenme süresi gösterilmiştir.



Şekil 4.5: Balıkesir ili aylık bazda ortalama güneşlenme süresi [65]

Şekil 4.4'deki grafik ile Şekil 4.5'deki grafik karşılaştırıldığında ortalama günlük ışı nım miktarı ile günlük güneşlenme süresi do ğ ru orantılı olacak şekilde de ğ işmemektedir. De ğ işim parabolik eğriye daha yakın olmaktadır. Bu durum aşağıdaki örnekle açıklanmıştır.

Örne ğ in;

Haziran ayındaki günlük ışı nım miktarının ocak ayındaki günlük ışı nım miktarına oranı

$$6,29 / 1,61 = 3,90 \text{ 'dır.}$$

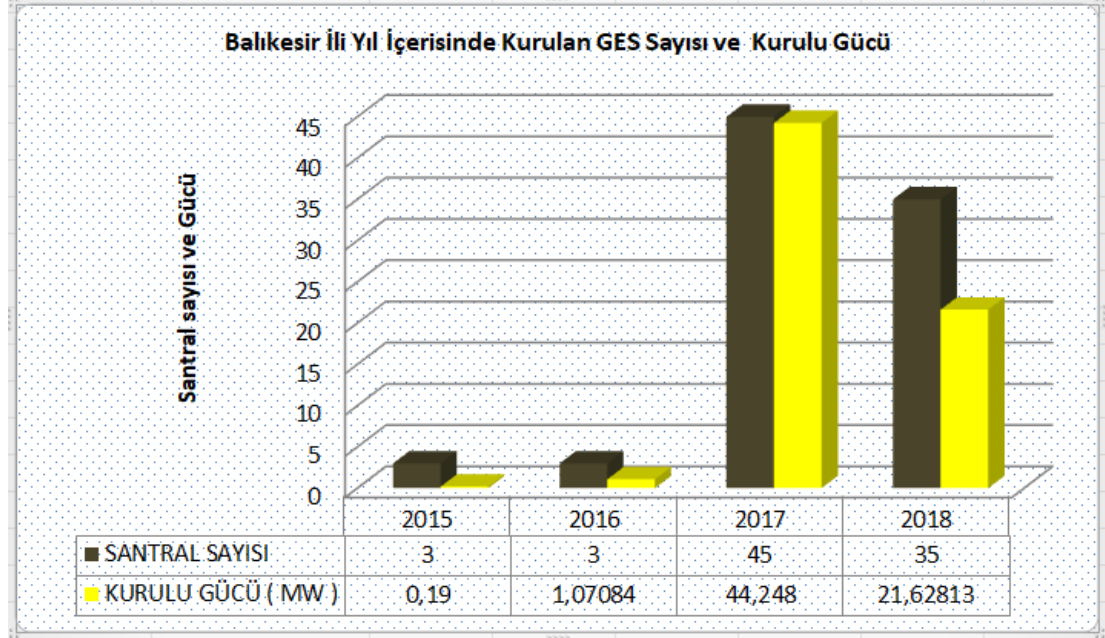
Aynı şekilde haziran ayında ortalama güneşlenme süresinin ocak ayındaki ortalama güneşlenme süresine oranı

$$10,99 / 4,05 = 2,71 \text{ 'dir.}$$

Bu iki oranın eşit veya yakın de ğ erde olmaması toplam ışı nım miktarının sadece güneşlenme süresine ba ğ lı olmadığını da göstermektedir.

4.2 Balıkesir İlindeki GES Tesisleri

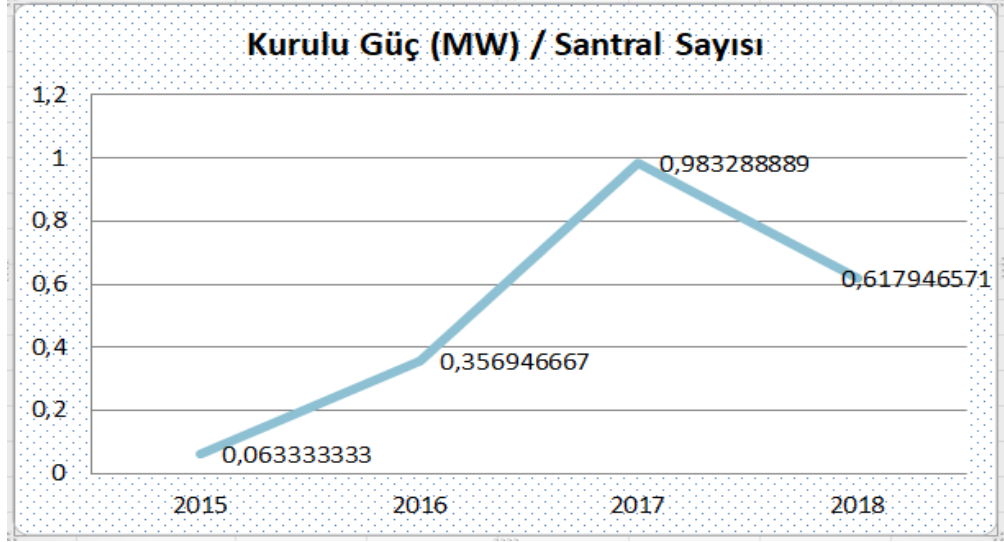
Balıkesir ilinde 2015 yılından 2018 yılı sonuna kadar kurulan ve işletmeye alınan GES sayısı ve kurulu gücü Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6: Balıkesir ilindeki GES tesisleri tarihsel gelişimi

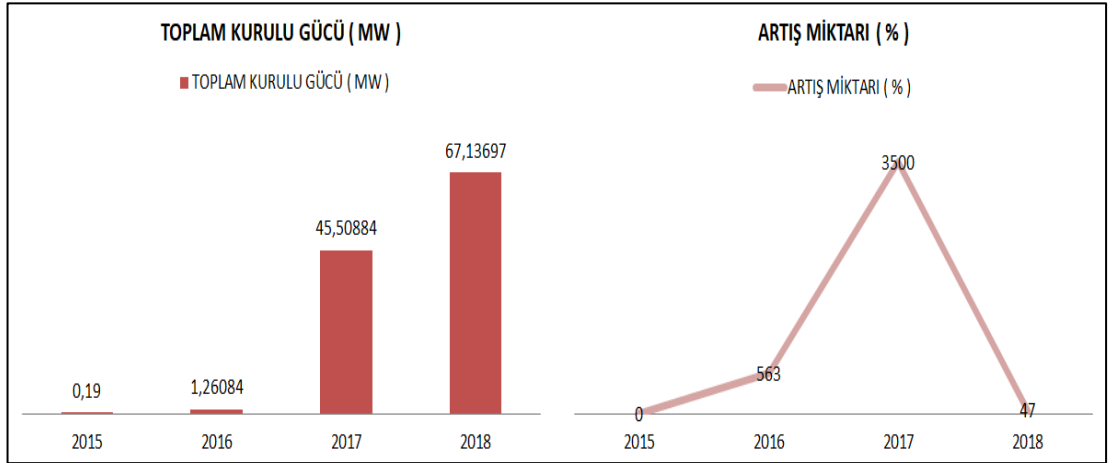
Şekil 4.6'ya göre 2016 yılına kadar 6 adet GES kurulmuş fakat bu sayı 2017 ve 2018 yıllarında ciddi bir artış göstermiştir. Bunun nedeni Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmeliğin Resmi Gazete de 02.10.2013 tarihinde yayınlanmasına müteakip yürürlüğe girmesi ve buna nazaran bu iş ve işlemlerle ilgili prosedürün ne şekilde ve nasıl uygulanacağını netlik kazanması kısacası sistemin yerine oturması olarak gösterilebilir.

Şekil 4.7'deki grafikte Balıkesir ilinde o yıl içerisinde kurulmuş olan GES tesislerinin toplam kurulu gücünün santral sayısına oranını göstermektedir. Bu grafik o yıl kurulan GES tesislerinin büyüklüğü hakkında da bilgiler vermektedir. Şöyle ki 2017 yılında kurulmuş her bir GES tesisi yaklaşık olarak 1 MW kurulu güce sahiptir. 2018 yılında bu oranın düşmesi ise o yıl kurulmuş olan GES tesislerinin bağlı olduğu Türkiye Elektrik İletim A.Ş.'ye (TEİAŞ) ait trafo merkezlerinde yeterli düzeyde kapasitenin olmaması/kalmaması olarak gösterilebilir. Buna nazaran mevcut şartlar altında 2019 yılı için bu oranın daha da düşmesi beklenebilir.



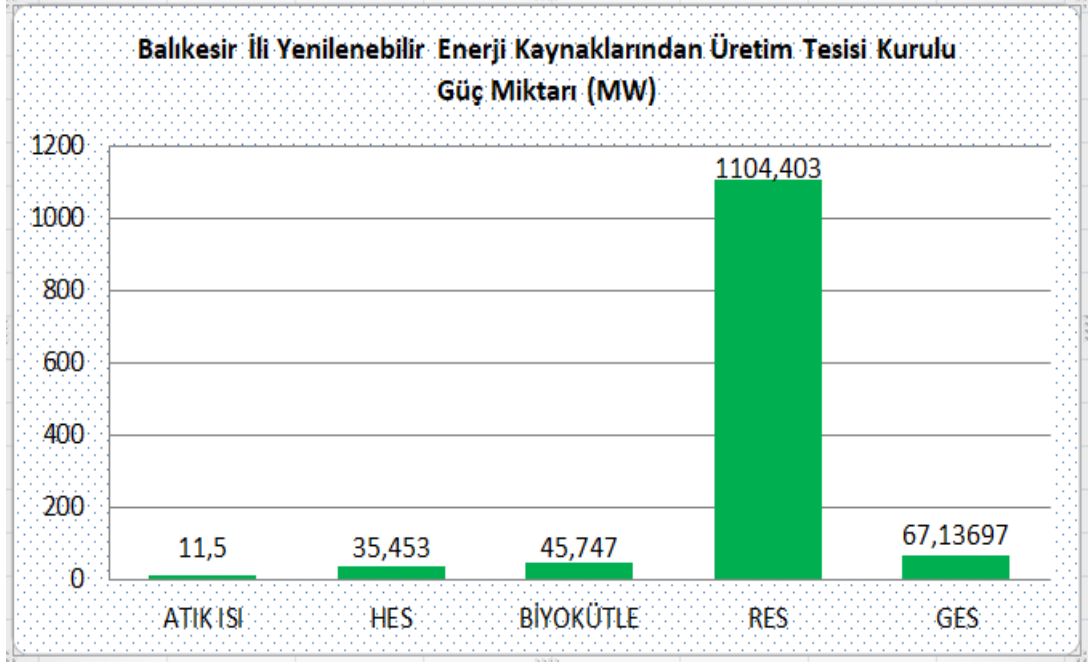
Şekil 4.7: Balıkesir ili GES kurulu gücün santral sayısına oranı

Şekil 4.8’de Balıkesir’de kurulan GES tesislerinin kurulu gücünün bir önceki yıla nazaran yüzdelik artış miktarı verilmiştir.



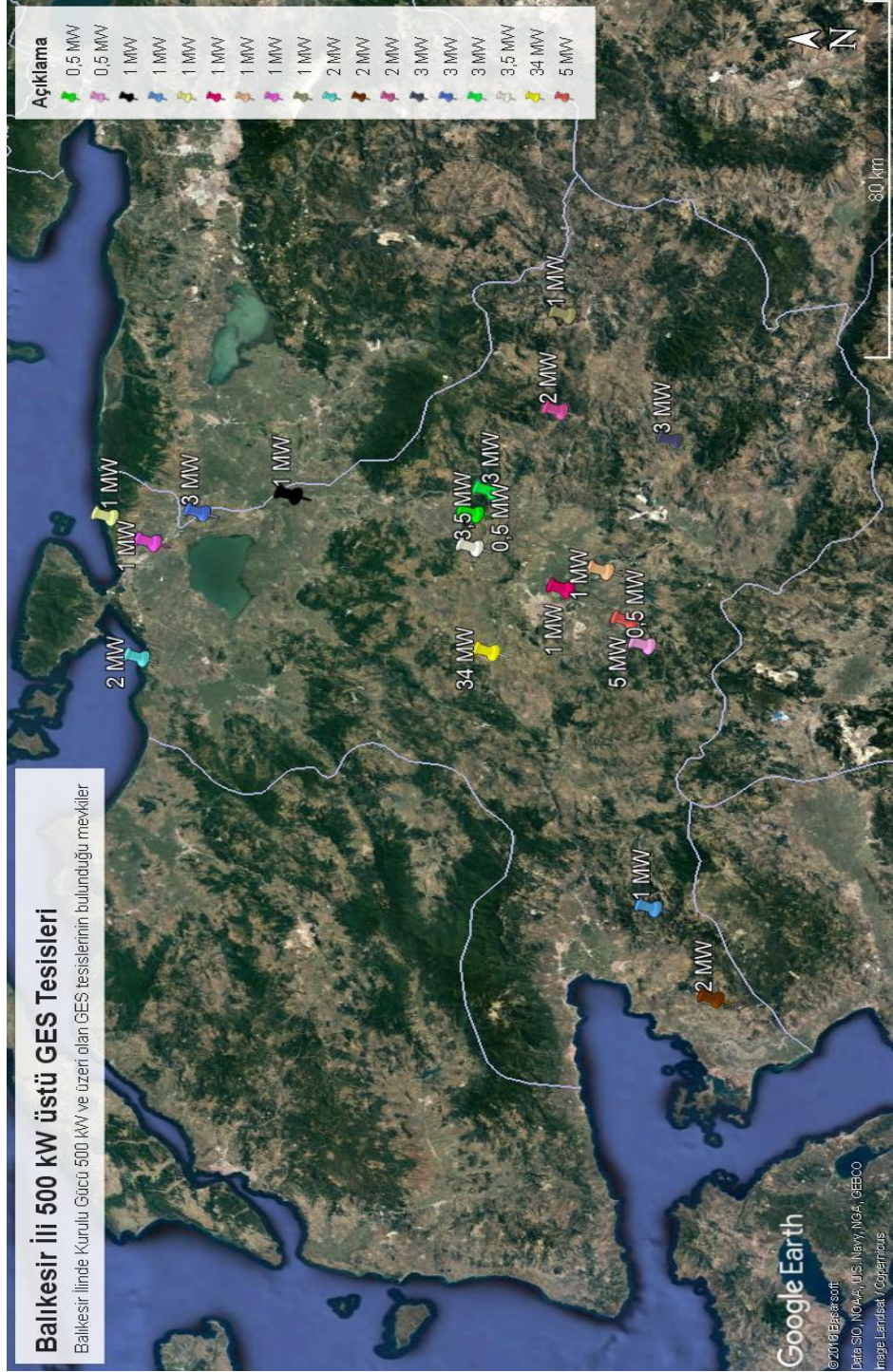
Şekil 4.8: Balıkesir ili GES tesisleri yıllık toplam kurulu gücü ve yıllık yüzde artış miktarını gösterir grafik

Balıkesir’de kurulu olan GES tesislerinin kurulu gücünün aynı ildeki diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik üretim tesisleri kurulu gücüne oranı yaklaşık olarak % 5.6’dır. Şekil 4.9’daki grafik bu durumu özetlemekte olup aynı zamanda Balıkesir’deki diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik üretim santralleri kurulu gücü hakkında da bilgi vermektedir.



Şekil 4.9: 2018 yıl sonu itibariyle Balıkesir ili yenilenebilir enerji kaynaklarından üretim tesisi kurulu güç miktarı

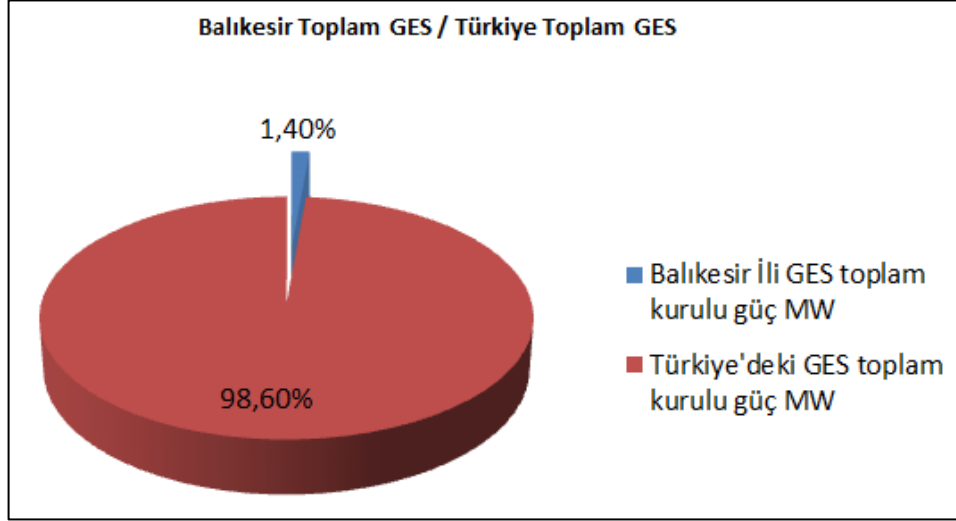
Şekil 4.10'da ise Balıkesir İlindeki 0,5 MW ve üzeri tesislerin bulunduğu yerlerin (mahalle, mevki, alan vs.) o konumdaki toplam kurulu gücünü ve yerlerini gösteren Google Earth haritası verilmiştir. Buradaki güç değerleri yuvarlanmış bir şekilde sunulmuştur. (0,9152 MW = 1 MW, 0,49997 MW = 0,5 MW gibi.)



Şekil 4.10: Balıkesir ilindeki GES tesislerinin bulunduğu yerler

2018 yılı Aralık ayı itibariyle Balıkesir ilinde üretim halinde olan toplam 86 adet GES tesisi bulunmaktadır. Bu tesislerin tamamı şebeke bağlantılı olup Lisanssız Güneş Enerji Santralleridir. Bu tesislerden kurulu gücü 0,5 MW ve üstü 72 adet olup, bunların toplam kurulu gücü 65,19497 MW'tır. 14 adet tesisin toplam kurulu gücü ise 1,942 MW'tır. Bu durumda Balıkesir ilindeki GES tesislerinin toplam kurulu gücü 67,13697 MW'tır. Geçen bölümlerde 2018 yılı Haziran ayı sonu itibariyle

Türkiye’deki GES’lerin toplam kurulu gücünün 4726 MW olduğu belirtilmiştir. Şekil 4.11’deki grafik Balıkesir’in GES kurulu gücü bakımından Türkiye’deki yerini özetlemektedir.

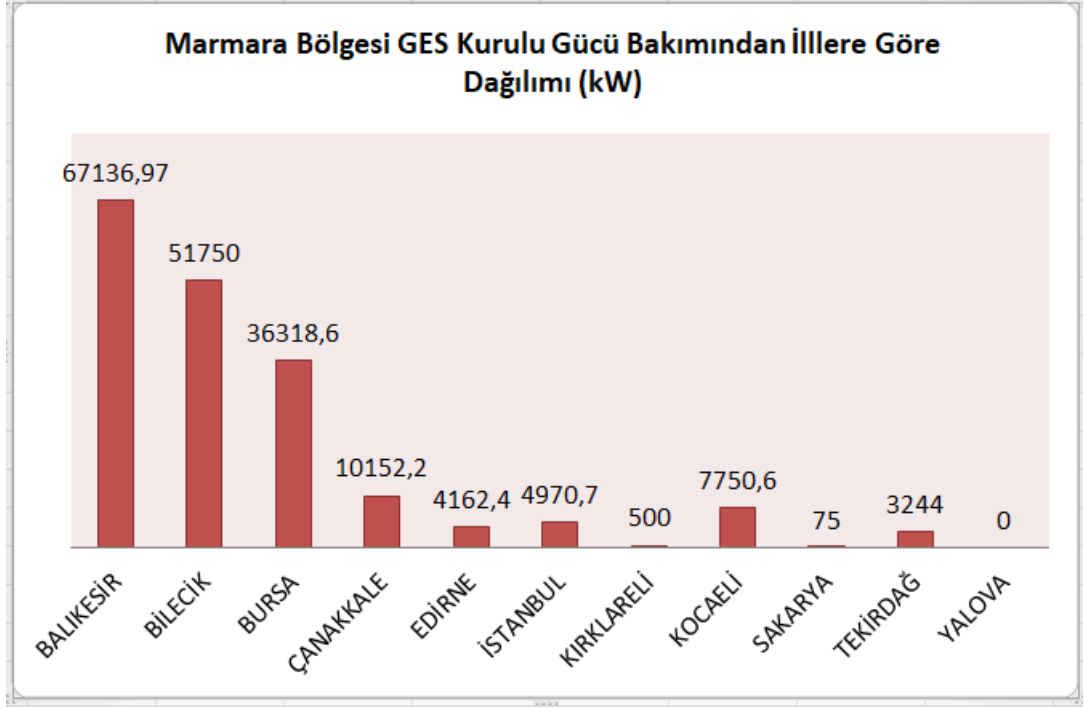


Şekil 4.11: Balıkesir ilindeki GES toplam kurulu gücünün ülkemizdeki GES toplam kurulu gücü oranını gösterir grafik

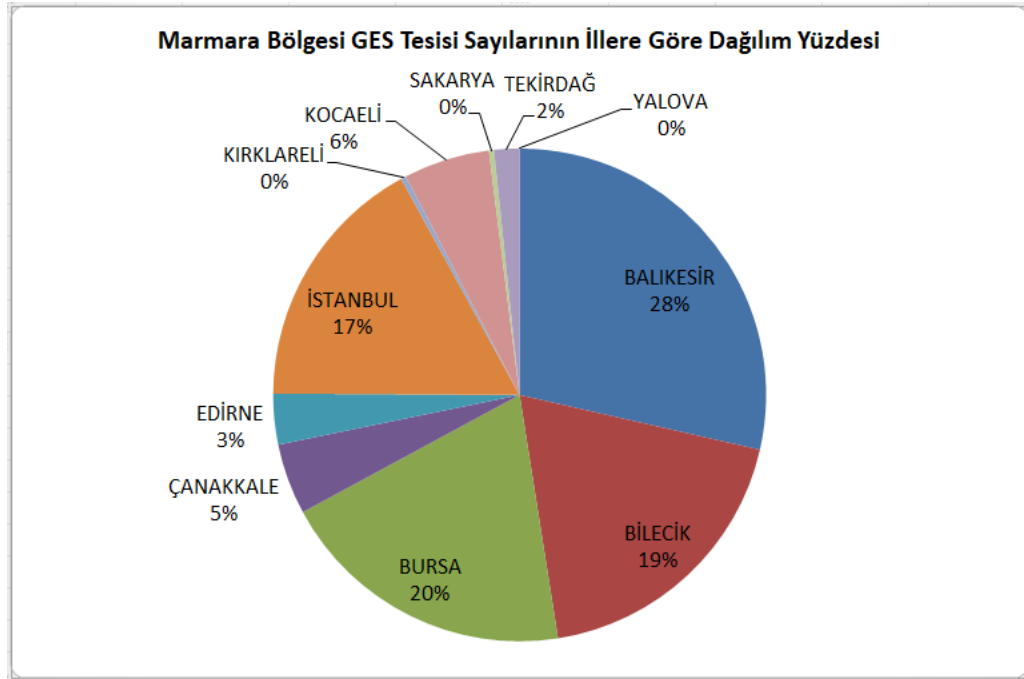
4.2.1 GES Bakımından Balıkesir İlinin Marmara Bölgesi’ndeki Yeri

Marmara Bölgesi’nde Balıkesir, Bilecik, Bursa, Çanakkale, Edirne, İstanbul, Kırklareli, Kocaeli, Sakarya, Tekirdağ ve Yalova olmak üzere 11 il bulunmaktadır. TEDAŞ’tan alınan verilere göre 2018 yılı aralık ayı sonu itibariyle Marmara Bölgesi’ndeki Lisanssız GES tesisleri kurulu güç miktarı, GES sayıları yüzdesel miktarı ve santral sayısı başına düşen ortalama güç miktarı sırayla Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’de verilmiştir.

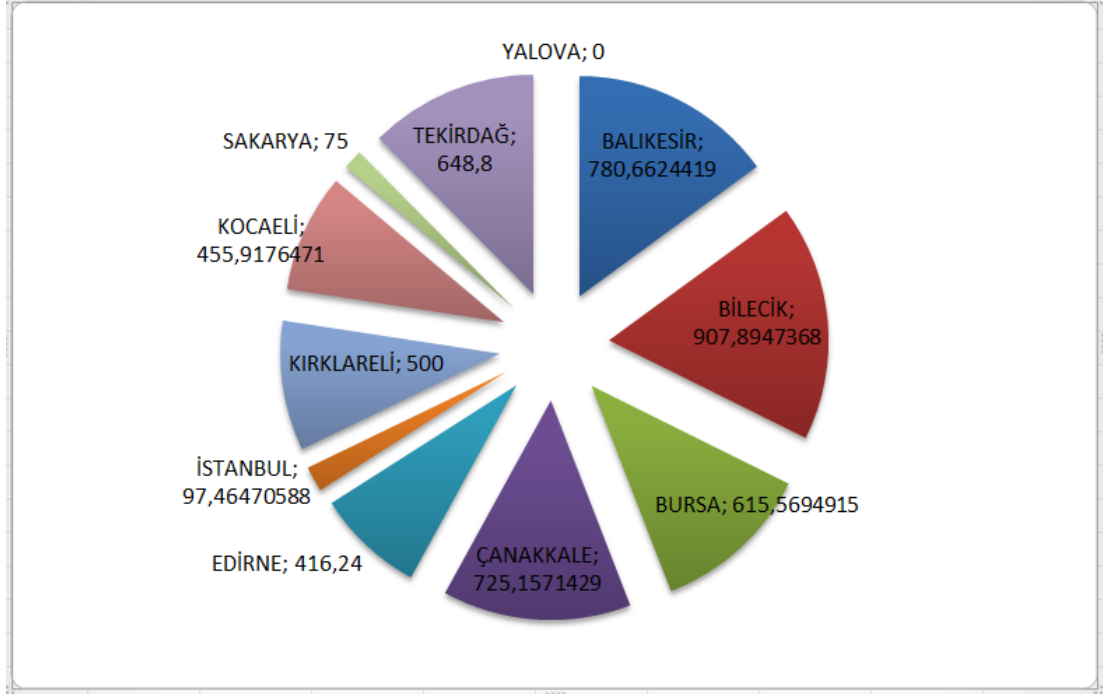
2018 yıl sonu itibariyle Marmara Bölgesi’nde 301 adet GES tesisi bulunmaktadır. Bu tesislerin toplam kurulu gücü 186060,47 kW’tır. Balıkesir 86 adet GES tesisi ile Marmara Bölgesi’ndeki en çok paya sahip olan ildir. Bunu 59 adet ile Bursa, 57 adet ile Bilecik ve 51 adet ile İstanbul takip etmektedir. Kocaeli’nde 17, Çanakkale’de 14, Edirne’de 10 adet GES tesisi bulunmaktadır. Tekirdağ 5 GES tesisine sahip iken Sakarya ve Kırklareli’nde sadece 1 adet GES tesisi kurulmuştur. Yalova’da ise GES bulunmamaktadır.



Şekil 4.12: 2018 yıl sonu itibariyle Marmara Bölgesi GES kurulu gücü bakımından illere göre dağılımı



Şekil 4.13: 2018 yıl sonu itibariyle Marmara Bölgesi GES tesisi sayılarının illere göre dağılımını yüzde olarak gösterir grafik



Şekil 4.14: 2018 yıl sonu itibariyle Marmara Bölgesi GES sayısı başına düşen ortalama kurulu güç miktarı

4.2.2 Balıkesir İlinde İncelenen GES Tesisleri

Balıkesir ili, Bandırma ilçesinde kurulu bulunan Albatur Enerji GES ve Aydın Dülger GES tesislerinin eğim açısına göre üretilen güçlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu tesislerle ilgili ışınım ve harmonik verilerine ulaşamadığı için Bandırma ilçesinde kurulu bulunan Eflatun GES ve Hipokrat GES tesislerine ait veriler kullanılarak ışınım miktarı ile harmonik arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Tesislerle ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir.

Albatur Enerji GES

Albatur Enerji GES, Balıkesir ili Bandırma ilçesi Kirazlı mahallesinde olup 980 kWe gücünde, panel eğim açısının 27 derece ve güneye bakacak şekilde tasarlanmış arazi uygulamalı GES tesisidir. Tesiste 20 adet 40 kW, 9 adet 20 kW'lık olmak üzere 29 adet evirici, 4116 adet 265 Wp'lik polikristal panel kullanılmış olup, sistem DC gücü 1090,74 kWp'dir.



Şekil 4.15: Albatır Enerji GES Tesisı

Aydın Dölger GES

Aydın Dölger GES, Balıkesir ili Bandırma ilçesi Doğruca mahallesinde olup 853 kWe gücünde, panel eğim açısının 9 derece ve güneye bakacak şekilde tasarlanmış çatı uygulamalı GES tesisidir. Tesiste 21 adet 40 kW, 1 adet 13 kW'lık olmak üzere 22 adet evirici, 3414 adet 285 Wp'lik monokristal panel kullanılmış olup, sistem DC gücü 972,99 kWp'dir.



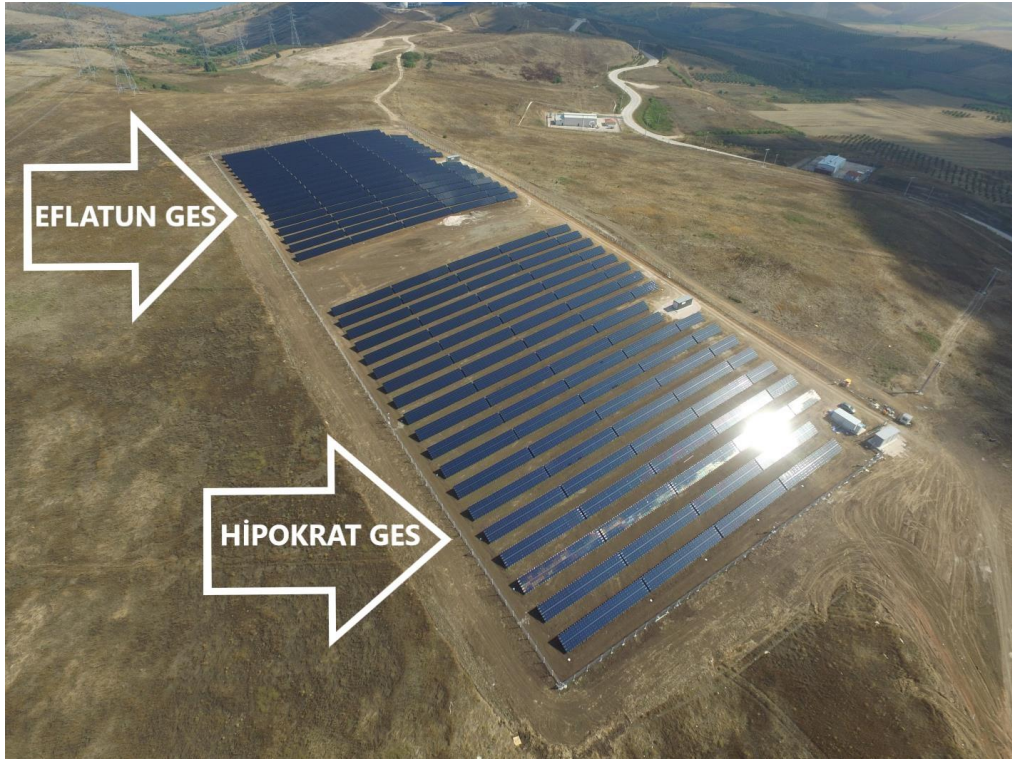
Şekil 4.16: Aydın Dölger GES Tesisı

Eflatun GES

Eflatun GES, Balıkesir ili Bandırma ilçesinde olup 960 kWe gücünde panel eğim açısının 25 derece ve güneye bakacak şekilde tasarlanmış arazi uygulamalı GES tesisidir. Tesiste 16 adet 60 kW'lık evirici, 10020 adet 117,5 Wp'lik CdTe ince film panel kullanılmış olup, sistem DC gücü 1177,35 kWp'dir.

Hipokrat GES

Hipokrat GES, Balıkesir ili Bandırma ilçesinde olup 960 kWe gücünde, panel eğim açısının 25 derece ve güneye bakacak şekilde tasarlanmış arazi uygulamalı GES tesisidir. Tesiste 16 adet 60 kW'lık evirici, 10020 adet 117,5 Wp'lik CdTe ince film panel kullanılmış olup, sistem DC gücü 1177,35 kWp'dir.



Şekil 4.17: Eflatun GES ve Hipokrat GES

4.2.2.1 Alatur Enerji GES ve Aydın Dölger GES'e Ait Evirici Bilgileri

Alatur Enerji GES ve Aydın Dölger GES tesislerin en önemli ortak özelliği aynı marka ve modelde eviriciye sahip olmalarıdır. Bu eviriciler REFUSol markalı Almanya menşei cihazlardır. Her iki tesiste de 40 kW'lık eviriciler ortak olarak

bulduğundan dolayı sağlıklı bir değerlendirme yapabilmek amacıyla her bir tesisten sadece 1 adet 40 kW'lık evirici seçilmiştir. Bu eviricileri seçerken de birçok etken göz önüne alınmıştır. Bunların en önemlisi belirlenen eviriciye bağlı panellerin gün boyunca hiçbir gölgelenmeye maruz kalmamış olması ve aynı zamanda panellerin arkasındaki doğal havalandırmanın olmasıdır. Bu evirici IP65 koruma sınıfına sahip olup dış ortamlarda kullanıma elverişlidir. Şebeke bağlantılı çalıştığı için de üç faz, frekans, gerilim vb. kontrolleri yaparak sistemin çalışmasını sağlamakta ve bu parametrelerin herhangi birinde uygunsuzluk gördüğünde sistemin çalışmasını engellemektedir. Bu da hem cihazı, hem sistemi, hem de canlı varlıkları korumaya yönelik alınan önlem olarak düşünülebileceği gibi sistemin sağlıklı çalışabilmesi adına da gerekliliği ifade etmektedir. Şekil 4.18'de bu eviriciye ait bilgiler verilmiştir.

REFUso1 40K	
Max. DC Giriş Gücü (kWp)	48
Max. DC Gerilimi (V)	1000
DC Başlama Gerilimi (V)	350
Max. DC İşletme Akımı (A)	84
MPPT adeti	1
Nominal AC Çıkış Gücü (kW)	40
Nominal AC Gerilimi (V)	400
Nominal Frekans (Hz)	50-60
Max. Verim (%)	98.2

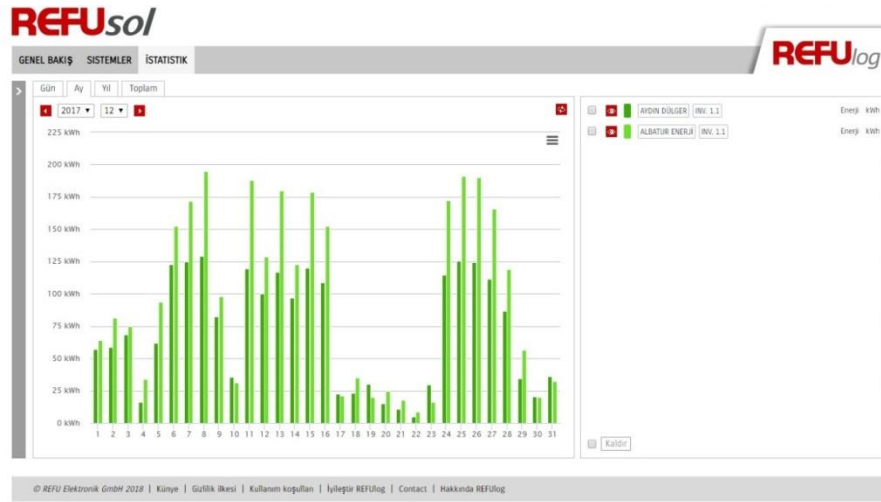


Şekil 4.18: 40 kW'lık eviriciye ait katalog bilgileri ve eviriciye ait resim

REFUso1 eviricilerin en önemli özelliği de anlık, saatlik, günlük, aylık, yıllık vb. zaman dilimlerinde tesise ait verileri kaydetmesi ve bunlara uzaktan erişebilme imkanı sunmasıdır. Örneğin, evirici girişindeki DC akım, gerilim, güç, evirici çıkışındaki AC akım, gerilim, güç, frekans değerleri izlenilebilmektedir. Eğer sisteme ışınım ve sıcaklık sensörü bağlanırsa, ışınım ve panel sıcaklığına ait değerleri de uzaktan izlenilebilmektedir.

Çalışma yapılan Albatur Enerji GES ve Aydın Dülger GES tesislerine ait akım, gerilim, güç, ışınım, sıcaklık gibi değerler REFUsol eviricinin kaydetmiş olduğu verileri içermekte olup bu veriler kullanılarak grafikler oluşturulmuştur.

Şekil 4.19'da 40 kW'lık REFUsol eviricinin uzaktan izleme yöntemiyle alınan veriler için örnek ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.19 a: 40 kW'lık REFUsol eviricinin ekran görüntüsü (Günlük enerji üretimi)



Şekil 4.19 b: 40 kW'lık REFUsol eviricinin ekran görüntüsü (AC akım ve gerilim)

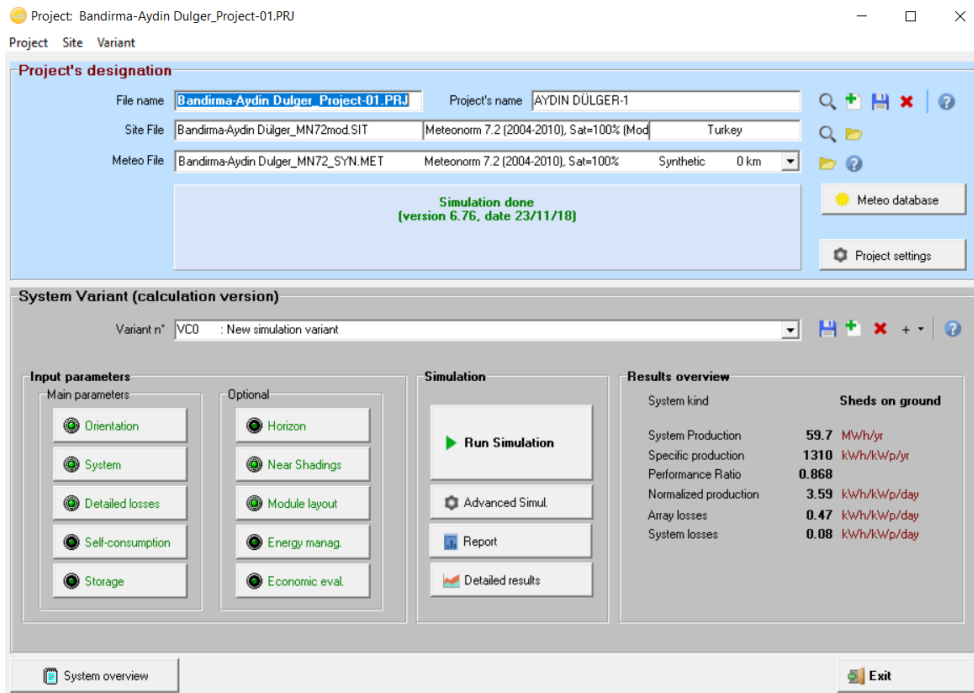
Şekil 4.19 a'da 40 kW'lık REFUsol eviricinin kaydetmiş olduğu verilerin ekran görüntüsü üzerinden günlük enerji üretimi takip edilmektedir. Bu veriler aynı zamanda bilgisayar ortamında kaydedilerek gerektiğinde analizler için kullanılabilir. Gün içerisinde akım ve gerilimlerdeki değişimler Şekil 4.19 b'de görüldüğü gibi 40 kW'lık REFUsol eviricinin akım ve gerilim bilgileri

ekrandaki arayüz üzerinden takip edilmekte ve sistemdeki anlık değişimler bilgisayar ortamına kaydedilmektedir.

Albatur Enerji GES ve Aydın Dülger GES tesislerinde kullanılan panellere ait katalog bilgileri EK A bölümünde “Şekil A.1” ve EK B bölümünde “Şekil B.1” olarak ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

4.2.3 PVSYST 6.7.6 Simülasyon Programı

Piyasada Fotovoltaik Güneş Enerji sistemleri ile ilgili birçok yazılım ve simülasyon programı bulunmaktadır. BLUESOL, PVGIS, PVSOL, TRNSYS ve PVSYST bu programlardan bazılarıdır. Bu çalışmada PVSYST 6.7.6 programı kullanılmıştır. Programın işleyişini göstermek için ön panel görüntüsü Şekil 4.20’de verilmiştir. Panel üzerinden firma adı, tesisin konum girişinin yapılması, panel ve evirici tipinin seçimi, yön, eğim açısı, DC giriş gücü ve bağlantı şekli gibi veriler girilerek tesise ait AC çıkış gücünün günlük, aylık ve yıllık raporları alınabilmektedir. Raporlar Watt, kWatt yada MWatt olarak farklı birim güçlere bağlı alınabilmektedir. Rapor sonuçları, isteğe bağlı tablo ya da grafik şeklinde program çıktısı olarak da sunulmaktadır.



Şekil 4.20: PVSYST 6.7.6 programına ait ön panel görüntüsü

Bu programla aynı zamanda tesisin 3 boyutlu hali oluşturularak gölgelenme analizi de yapılabilmekte, enerji üretimindeki kayıplar da hesaplanabilmektedir. Bununla birlikte manuel olarak girilecek ışınım, akım, gerilim vb. parametreler ile PV panelin üreteceği değerlerin birbirleri ile olan etkileşim grafikleri de alınabilmektedir.

4.2.4 İncelenen GES Tesislerine Ait Verilerin Değerlendirilmesi

Albatur Enerji GES tesisindeki 40 kW'lık eviriciye her bir dizide 265 Wp'lik 21 adet panel olmak üzere 8 dizi bağlanmıştır. Bu durumda eviriciye ait olan DC giriş gücü 44520 Wp'dir. Aydın Dülger GES tesisindeki 40 kW'lık eviriciye ise her bir dizide 285 Wp'lik 20 adet panel olmak üzere 8 dizi bağlanmıştır. Bu durumda eviriciye ait olan DC giriş gücü 45600 Wp'dir. Aydın Dülger GES'e ait eviricinin DC giriş gücü Albatur Enerji GES'e ait eviricinin DC giriş gücünden 1080 Wp daha fazladır. Albatur Enerji GES ve Aydın Dülger GES tesislerinin aylık enerji üretimini gösteren veriler Çizelge 4.2'de verilmiştir. Albatur Enerji GES Tesisi 2017 yılının eylül ayında yeni üretime başladığı için arıza ve testlerden dolayı bu aya ait verilerin sağlıklı olamayacağı düşünülerek dikkate alınmamıştır.

Çizelge 4.2: Her iki tesise ait 40 kWe'lik evirici için aylık enerji üretim değerleri

	2017 EYLÜL	2017 EKİM	2017 KASIM	2017 ARALIK	2018 OCAK	2018 ŞUBAT
ALBATUR (kWh)	-	5.742,20	3.598,80	3.036,30	3.023,40	2.413,80
AYDIN DÜLGER (kWh)	-	4.563,50	2.737,20	2.208,60	2.293,40	2.157,60
	2018 MART	2018 NİSAN	2018 MAYIS	2018 HAZİRAN	2018 TEMMUZ	2018 AĞUSTOS
ALBATUR (kWh)	4.760,70	7.044,30	6.130,20	6.966,40	7.394,70	7.792,30
AYDIN DÜLGER (kWh)	4.387,30	6.831,70	6.436,50	7.267,70	7.440,20	7.056,60

Çizelge 4.2 incelendiğinde, yıllık enerji üretiminin yaz aylarında yüksek olduğu, kış aylarında ise daha düşük olduğu görülmektedir. Aralık, ocak ve şubat aylarında gündüzün kısa olması nedeniyle bu aylardaki enerji üretiminin her iki tesis içinde yıllık ortalama üretime göre düşük olduğu, yaz ayları olan haziran, temmuz ve ağustos aylarında ise enerji üretiminin her iki tesis içinde yüksek olduğu görülmektedir. Mayıs, haziran ve temmuz aylarında Aydın Dülger GES tesisinin enerji üretiminin Albatur Enerji GES tesisine göre biraz daha yüksek olduğu görülmektedir.

Ülkemiz kuzey yarım kürede yer aldığından en kısa gündüzün yaşandığı 2017 yılı 21 Aralık ayına ait günlük enerji üretim verileri Şekil 4.21 ve Çizelge 4.3’de, en uzun gündüzün yaşandığı 2018 yılı 21 Haziran ayına ait günlük enerji üretim verileri ise Şekil 4.22 ve Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.3: Her iki tesise ait 40 kWe’lik evirici için Aralık ayı üretim değerleri

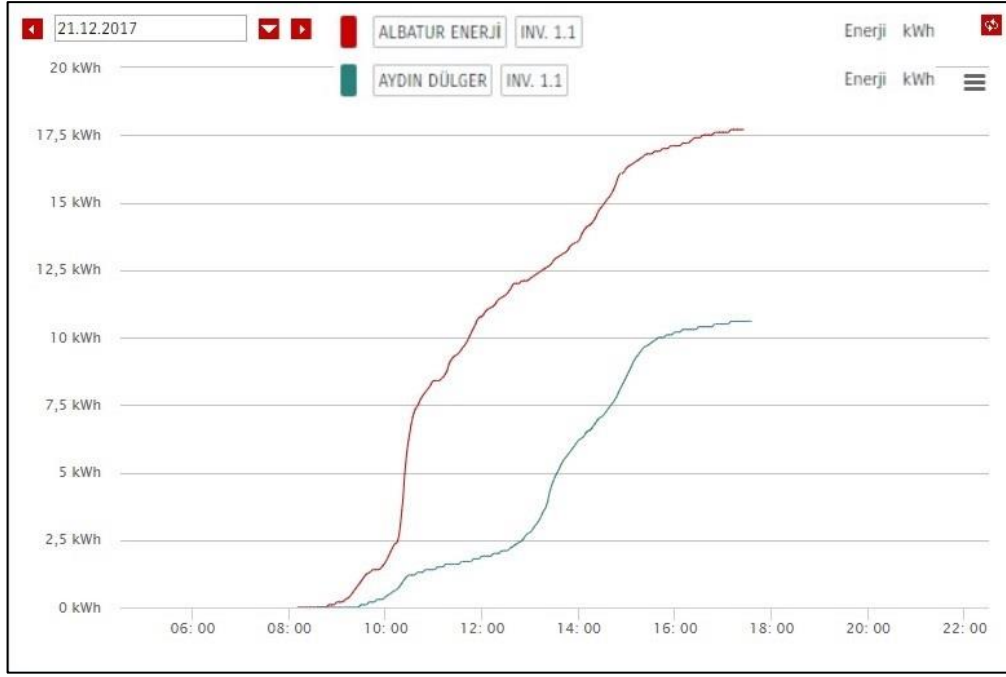
2017 ARALIK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
ALBATUR ENERJİ GES (kWh)	63,8	81,5	74,6	33,8	93,6	152,4	171,8	195,1	97,9	31,3	187,6	128,8	180	122,5	178,8	
AYDIN DÜLGER GES (kWh)	57	58,8	68,2	16	62	122,5	124,8	129,1	82,1	35,3	119,4	100,3	117	96,7	120,2	
2017 ARALIK	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
ALBATUR ENERJİ GES (kWh)	152,6	21	35	20,1	24,9	17,7	8,6	15,9	172,3	191,3	190,2	165,7	119	56,3	19,9	32,3
AYDIN DÜLGER GES (kWh)	108,6	22,5	23,3	30,4	15,3	10,6	4,7	29,7	114,7	125,5	124,3	111,5	86,5	34,6	20,7	36,3

Çizelge 4.3 incelendiğinde, aralık ayında Albatur Enerji GES tesislerinde üretilen enerjinin Aydın Dülger GES tesislerinde üretilenden daha yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.4: Her iki tesise ait 40 kWe’lik evirici için Haziran ayı üretim değerleri

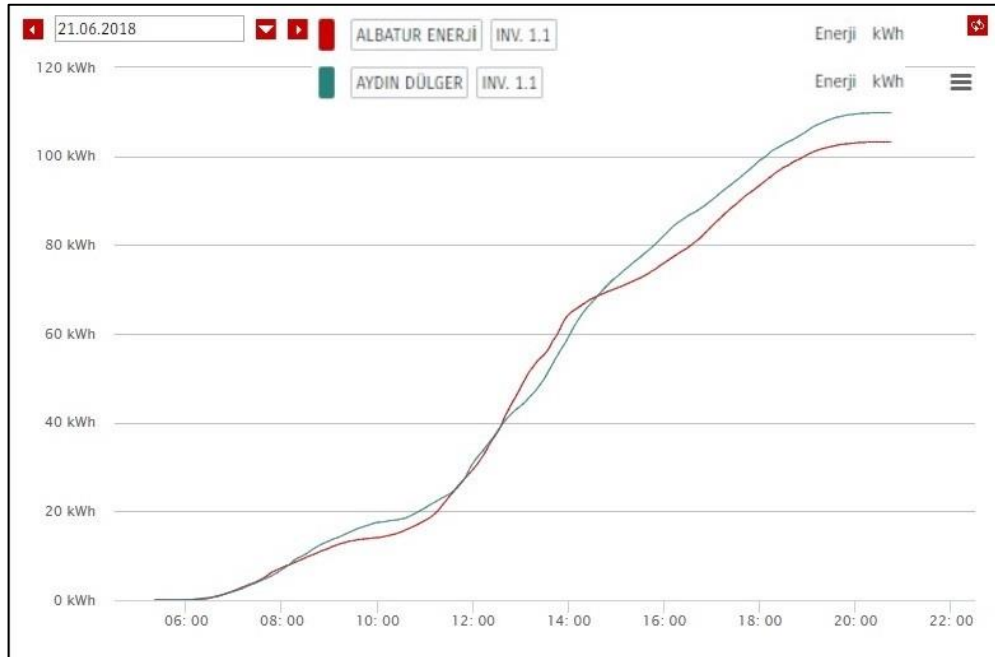
2018 HAZİRAN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ALBATUR ENERJİ GES (kWh)	278,4	267,1	296,6	268,5	208	262,8	255,6	255	266,8	269,7	282,1	297,9	287,2	272,2	234,1
AYDIN DÜLGER GES (kWh)	297,6	288,3	315,5	278,7	196,7	240,4	259	294,3	271,2	281,7	268,7	304,5	300,2	282,7	218,1
2018 HAZİRAN	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
ALBATUR ENERJİ GES (kWh)	145	146,6	238,5	243,2	265,3	103,2	229,7	271,3	180,4	158,4	185,6	175	157,2	241	224
AYDIN DÜLGER GES (kWh)	197	138,9	254,2	277,3	266,8	109,8	223,1	270,2	220,4	241,3	177,3	183,9	168,2	226,3	215,4

Çizelge 4.4 incelendiğinde, haziran ayında Aydın Dülger GES tesisinde üretilen enerjinin Albatur Enerji GES tesisine göre daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.21: Her iki tesise ait 40 kWe'lik eviricinin 21 Aralık için enerji üretim değerleri

Şekil 4.21'de görüldüğü gibi, 21 Aralık günü alınan veriler karşılaştırıldığında, Albatır Enerji GES tesisinin enerji üretimi Aydın Dölger GES tesisine göre daha yüksektir. Aydın Dölger GES tesisi panellerin eğim açısının 9 derece olmasından dolayı enerji üretimine sabah daha geç başladığı görülmektedir.



Şekil 4.22: Her iki tesise ait 40 kWe'lik eviricinin 21 Haziran için enerji üretim değerleri

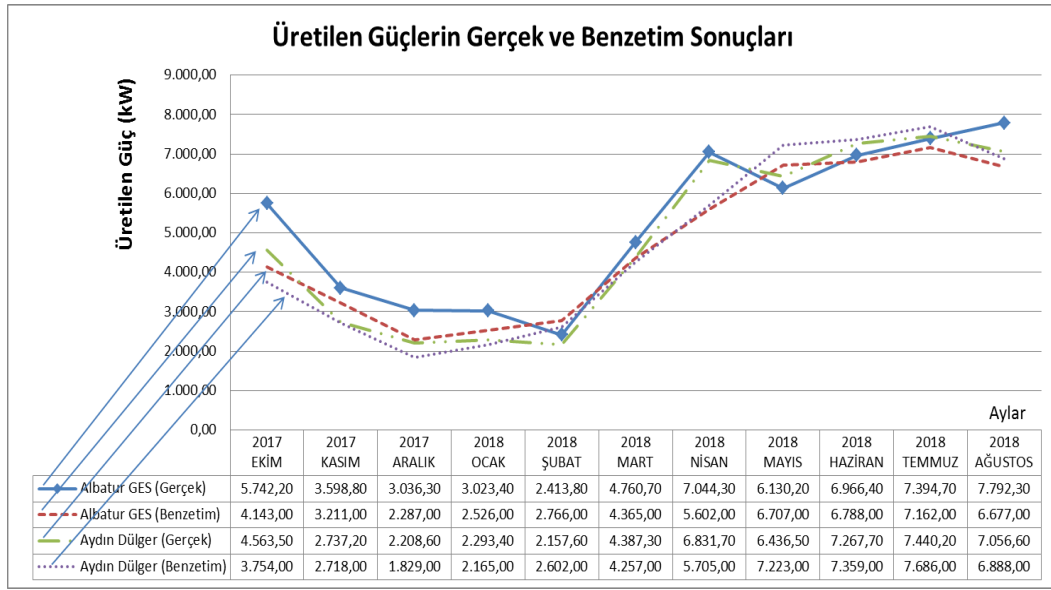
Şekil 4.22 incelendiğinde, yaz aylarında iki tesisinde sabah erken saatlerde üretime başladığı ve gün boyunca farklılıkların kış aylarına göre daha az olduğu, Albatur Enerji GES tesisinin öğleden sonra ürettiği enerjinin biraz daha düşük olduğu görülmektedir.

Yukarıdaki tablo ve grafikler incelendiğinde, her iki tesisinde yaz aylarındaki enerji üretiminin kış aylarındakine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. İki tesiste konum olarak birbirine çok yakın olduğu için hava şartlarının aynı olmasından dolayı haziran ve aralık aylarındaki grafiklerde iki tesisinde enerji üretiminin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Örneğin Albatur Enerji GES bir önceki gün ürettiği enerjiden daha yüksek üretmiş ise Aydın Dülger GES'te aynı şekilde bir önceki gününe göre daha fazla enerji üretmiştir. Haziran ve aralık aylarının farklı günlerindeki enerji üretimlerinin farklılık göstermesi bulutlanma olarak açıklanabilir. Örneğin 11-16 Aralık arasındaki üretim, 17-23 Aralık arasındaki üretimden yüksek çıkmaktadır. 27 derece eğimle güneye bakacak şekilde tesis edilmiş olan Albatur Enerji GES'e ait 40 kW'lık eviricinin yıllık enerji üretiminin aylık ortalaması yaklaşık 5263,92 kWh'tır. Aynı şekilde 9 derece eğimle güneye bakacak şekilde tesis edilmiş olan Aydın Dülger GES'e ait 40 kW'lık eviricinin yıllık enerji üretiminin aylık ortalaması yaklaşık 4852,75 kWh'tır. Bu durumda Albatur Enerji GES'e ait evirici değerine göre aylık bazda yaklaşık 411,17 kWh'lık daha fazla enerji üretmiştir. Buna göre yıllık ortalama olarak, 27 derece eğim açısıyla tesis edilmiş panellerin 9 derece eğim açısına göre tesis edilmiş panellerden yaklaşık % 8 daha fazla verimle çalıştığı anlaşılmaktadır.

Ülkemiz kuzey yarım kürede yer aldığından güneş ışınlarının geliş açısı kış aylarına göre yaz aylarında daha dik olarak gelir. En uzun gündüz süresi 21 Haziranda olduğundan hem bu ay hem de bir önceki ve bir sonraki ay baz alındığında Aydın Dülger GES tesisinin üretiminin Albatur Enerji GES'ten yüksek olduğu görülmektedir. Mayıs, haziran ve temmuz aylarında (bu aylar ülkemize güneş ışınlarının diğer aylara göre en dik açıyla geldiği aylar) Albatur Enerji GES'e ait eviricinin üretimi 20491,3 kWh olup, Aydın Dülger GES'e ait eviricinin üretimi ise 21144,4 kWh'tır. Bu aylarda 9 derecelik panel eğimi olan Aydın Dülger GES'in, 27 derece eğime sahip olan Albatur Enerji GES'ten %3 daha verimli olduğu görülmektedir. Aynı karşılaştırma kasım, aralık ve ocak ayları için (bu aylar ülkemize güneş ışınlarının diğer aylara göre en eğik açıyla geldiği aylar) yapıldığında

Albatur Enerji GES'e ait eviricinin üretimi 9658,5 kWh olup, Aydın Dülger GES'in üretimi ise 7239,2 kWh'dır. Bu aylarda Albatur Enerji GES, Aydın Dülger GES'e göre daha verimlidir.

Albatur Enerji GES ve Aydın Dülger GES tesislerinin PVSYST 6.7.6 programında yapılan benzetim çalışmasının detayları EK C bölümünde "Şekil C.1" ve EK D bölümünde "Şekil D.1" verilmiştir. Şekil 4.23'de her iki tesise ait gerçek ve benzetim sonuçlarını gösteren grafik sunulmuştur.

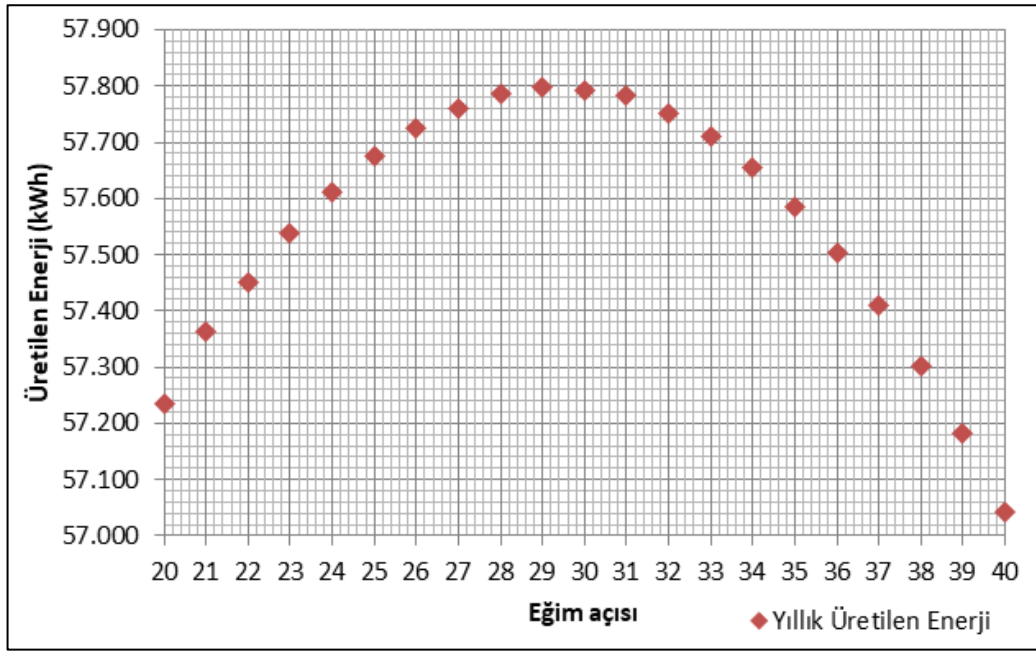


Şekil 4.23: Her iki tesise ait enerji üretiminin gerçek ve benzetim sonuçları

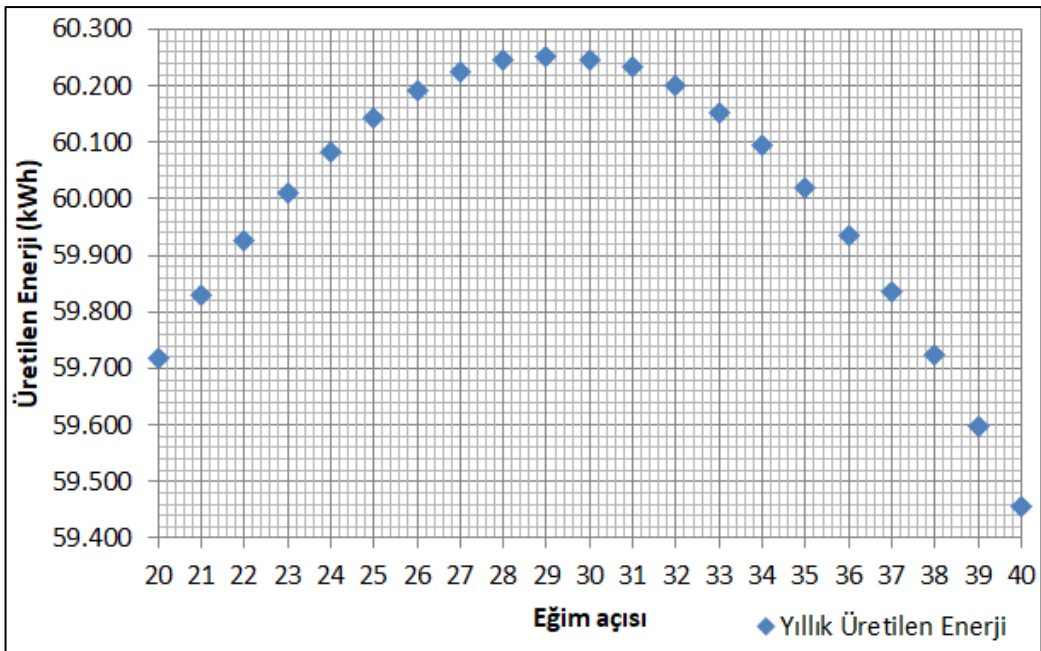
Şekil 4.23'de görüldüğü gibi, benzetim çalışmaları ve gerçek uygulama sonuçları arasında çevresel etkilerden dolayı farklılıklar oluşmaktadır. Rüzgar, sıcaklık, vb. gibi faktörler benzetim çalışmalarında dikkate alınmadığı için gerçek uygulama sonuçlarıyla tam olarak örtüşmemektedir. Genel olarak üretilen güçler değerlendirildiğinde, benzetim ve uygulama sonuçlarının aynı dönemlerde artış ve azalış gösterdiği söylenebilir. Tesisler yeni olduğu için bazı dönemlerde benzetim sonuçları gerçek sonuçlardan fazla çıkmaktadır. Buna neden olarak panel verimlerinin, polikristal panel katalog verilerine göre 25 yılda %15, monokristal için ise %7 olmak üzere doğrusal bir şekilde azaldığı gösterilebilir.

Literatürde optimal eğim açısının belirlenmesi hususu dikkate alınarak her iki tesisinde 20° ile 40° arasında her bir derece için üretebilecekleri enerji miktarı PVSYST 6.7.6 benzetim programında yapılarak Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'de optimum eğim açısı belirlenmiştir. Şekil 4.25'deki Aydın Dülger GES'e ait optimum eğim

açısı belirlenirken tesisin tam güneye bakacak şekilde yerleştirildiği (azimut açısının 0° olduğu) varsayılmıştır.



Şekil 4.24: Albatur GES tesisine ait eğim açısına göre üretilen enerji miktarı



Şekil 4.25: Aydın Dülger GES tesisine ait eğim açısına göre üretilen enerji miktarı

Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'e göre Albatur Enerji GES ve Aydın Dülger GES tesisleri için PVSYST 6.7.6 programına göre optimum eğim açısının 29 derece olduğu belirlenmiştir. Benzetim sonucuna göre Albatur Enerji GES tesisi 27 derece panel eğim açısında yıllık 57761 kWh enerji üretirken aynı tesis 29 derece eğim

açısında yıllık 57797 kWh enerji üretecektir. Bu da tesisin yıllık 36 kWh daha az enerji üretmesi anlamına gelmektedir. Yine de bu rakam ciddi bir fark oluşturmadığından tesisin optimal bir şekilde kurulduğu söylenebilir.

Aydın Dülger GES tesisi için yapılan çalışmanın benzetim sonucunu değerlendirildiğinde panel eğim açısının 29, azimut açısının 16 derece olması durumunda yıllık 59987 kWh enerji üretilirken panel eğiminin aynı kalıp azimut açısının 0 derece olması durumunda 60253 kWh enerji üretecektir. Aynı tesis 9 derece panel eğim açısında 16 derece azimut açısında yıllık 57585 kWh enerji üretmektedir. Buna göre tesisin konumu değişmeden (azimut açısı 16 derece olduğu durumda) optimum açıda tesis edilmiş olsaydı yıllık 2402 kWh (%4.17) daha fazla enerji üretilmiş olacaktı. Bu tesis hem optimum açıda hem de güney yönlü (azimut 0 derece) tesis edilmiş olsaydı yıllık 2668 kWh (%4,63) daha fazla enerji üretilmiş olacaktı. Bu değerler EK E bölümünde “Şekil E.1, Şekil E.2, ve Şekil E.3” olarak verilmiştir. Söz konusu tesis çatı üzeri GES tesisi olduğundan hem panel eğim açısının optimum şekilde ayarlanamayacak oluşu hem de panel yönünün değiştirilemeyecek oluşundan optimal bir şekilde kurulduğundan veya kurulmadığından bahsetmek doğru olmayacaktır. Çizelge 4.5’de her iki tesise ait özet tablo verilmiştir.

Çizelge 4.5: Her iki tesise ait özet tablo

Tesisin Adı	ALBATUR ENERJİ GES	AYDIN DÜLGER GES
Konum	Enlem: 40 11' 44"	Enlem: 40 15' 55"
	Boylam: 28 07' 27"	Boylam: 28 00' 25"
Yıllık Güneş Işınımı* (kWh/m ²)	1563	1560
Panel Açısı (derece)	27	9
Panel Yönü	Güney	Güney
Azimet Açısı (derece)	0	16
Gölgeleme	Yok	Yok
Panel Tipi	Polikristal	Monokristal
Panellerin Arka Yüzeyinde Havalanma	Var	Var
Bakım ve Temizlik	Var	Var
Evirici Gücü	40 kWe	40 kWe
Panel Adeti ve (Panel Gücü)	168 (265 W)	160 (285 W)
Toplam Panel Gücü (kW)	44.520	45.600
Benzetim Sonucuna Göre Optimum Eğim Açısı (derece)	29	29
Benzetim Sonucuna Göre Üretilen Yıllık Enerji (kWh)	57761	57585
* Yıllık Güneş Işınımı bilgileri (https://globalsolaratlas.info/downloads/turkey) adresinden edinilmiştir.		

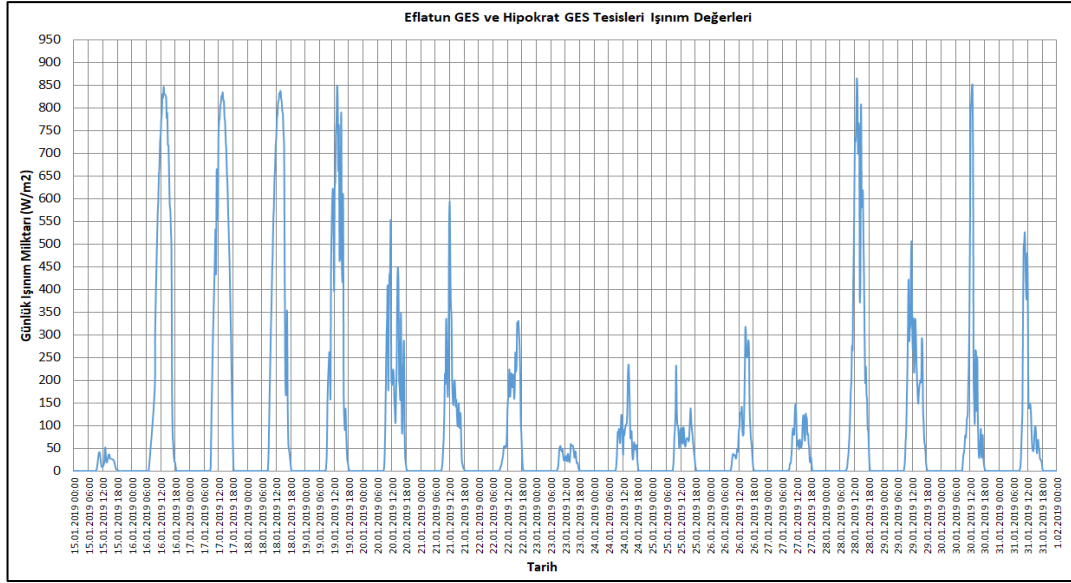
Eflatun GES ve Hipokrat GES tesislerinin değerlendirilmesi yapılmadan önce literatürde ışınımın harmonikler üzerindeki etkisiyle ilgili birçok çalışmalardan bahsedilecektir. Bunlardan J. Thongpron ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada 3.5 kW gücündeki eviricinin çıkışlarına bağlanmış oldukları Fluke 41b ölçüm aletiyle her bir saniyede bir %THD₁ ölçümü yapılmış ve PV modüllerin çıkışlarına bağlanmış olan piranometre ile her bir saniyede bir ışınım değeri ölçülerek, 500 noktada veri alınmıştır. Bunun sonucunda oluşan grafiğe göre çıkış akımının ışınım ile doğrusal bir şekilde değiştiği gözlemlenmiştir. Ayrıca yapılan

başka bir çalışmada 270 W gücünde 22 adet panelin 6 kW'lık tek fazlı eviriciye seri bağlanmasıyla eviricinin çıkışındaki harmonikler ölçülmüştür. Bunlarla birlikte Carretero ve arkadaşının yapmış olduğu bir çalışmada, tek fazlı eviricinin çıkışında bir yıl boyunca 10 dakikada bir %THD_I ve %THD_V değerleri ölçülmüştür. Bulutlu günlerde ölçülen %THD_I'da önemli ölçüde yükselmeler ve azalmalar meydana geldiği gözlemlenmiştir. Yapılan tüm çalışmalarda ortak sonuç olarak %THD_I düşük ışınımında büyük değerlerde olduğu yüksek ışınımında ise küçük değerlerde olduğu tespit edilmiş, düşük ışınımında ve düşük PV çıkış gücünde eviricinin nonlineer çalıştığı saptanmıştır [66][67][68]. Kısacası %THD_I ile ışınım arasında zıt bir ilişkinin olduğu görülmüştür.

S. Parthasarathy ve N.V. Anandkumar'ın Pondicherry Üniversitesi'nde 5 W'lık polikristal hücre, pironometre ve bilgisayar kontrollü veri toplama sistemi kullanarak düşük, orta ve yüksek ışınımın olduğu 3 gün seçilerek bir çalışma yapılmıştır. Bunun sonucunda güneş ışınımının düşük olduğu zamanlarda %THD_I'nın %130'a kadar çıktığı görülmüş ancak güneş ışınımının yüksek olduğu durumda %THD_I'nın %10'un altında seyrettiği tespit edilmiştir [69].

Eflatun GES tesisinin harmonik ölçümleri, Eflatun GES trafo binası içerisinde YG metal mahfazalı modüler hücre bölümündeki SCADA sistemi tarafından izlenilmektedir. SCADA tarafından akım, gerilim, güç, ışınım, harmonik vs. değerler okunabilmektedir. Yapılan bu çalışmada 15-31 Ocak 2019 tarihleri arasında her 15 dakikada bir SCADA tarafından alınan değerler kullanılmıştır. 1632 adet veri alınarak aşağıdaki grafikler elde edilmiştir. Aynı işlemler Hipokrat GES tesisi için de yapılmıştır. GES tesislerine ait örnek tek hat şeması EK F bölümünde "Şekil F.1" olarak verilmiştir.

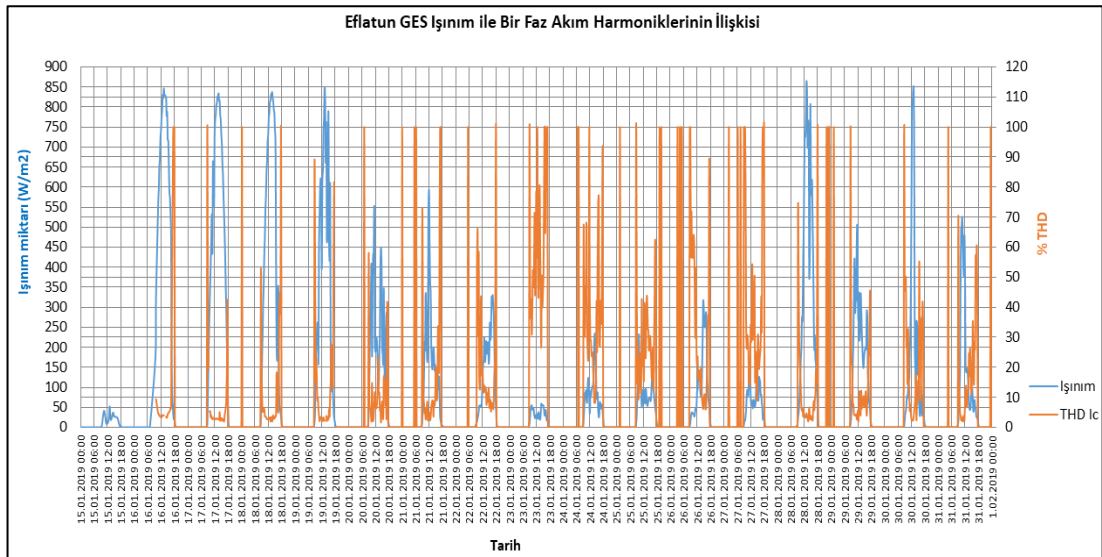
Hipokrat GES ve Eflatun GES tesislerinde ölçülen ışınım değerleri Şekil 4.26'da gösterilmiştir. Her iki tesisin birbirine çok yakın olması ve ikisi için tek ışınım sensörü kullanılmasından dolayı ışınım değerleri aynıdır.



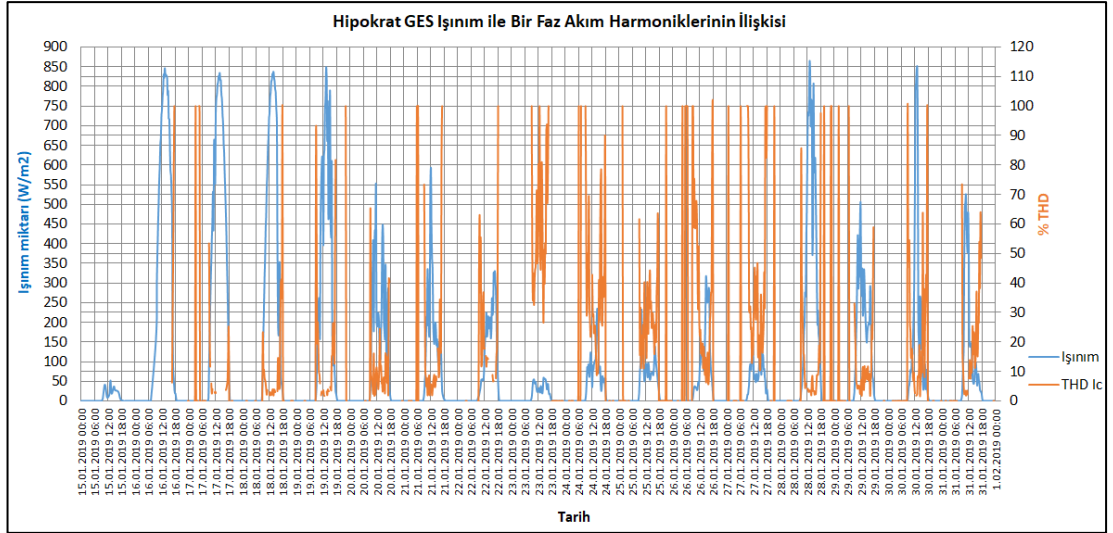
Şekil 4.26: Hipokrat GES ve Eflatun GES tesisinde ölçülen ışınlm değerleri

Şekil 4.26'ya göre günlük ışınlm miktarının 800 W/m^2 ve üzeri olduğu zamanlarda havanın açık olduğu, 300 W/m^2 ve altında olduğu zamanlarda havanın kapalı olduğu, diğer zamanlarda ise havanın kısmi bulutlu geçtiği görülmektedir.

Eflatun GES'e ait Şekil 4.27 ve Hipokrat GES'e ait Şekil 4.28'deki grafiklerde ışınlm miktarı ile bir faza ait akım harmoniklerinin değişimi gösterilmiştir. Bu grafiklerde, ışınlm miktarı mavi renkle gösterilmiş ve buna ait değerler grafiğin sol tarafındaki eksenle belirtilmiş olup, bir faza ait % THD_I miktarı turuncu renkle gösterilmiş ve buna ait değerler grafiğin sağ tarafındaki eksenle belirtilmiştir.



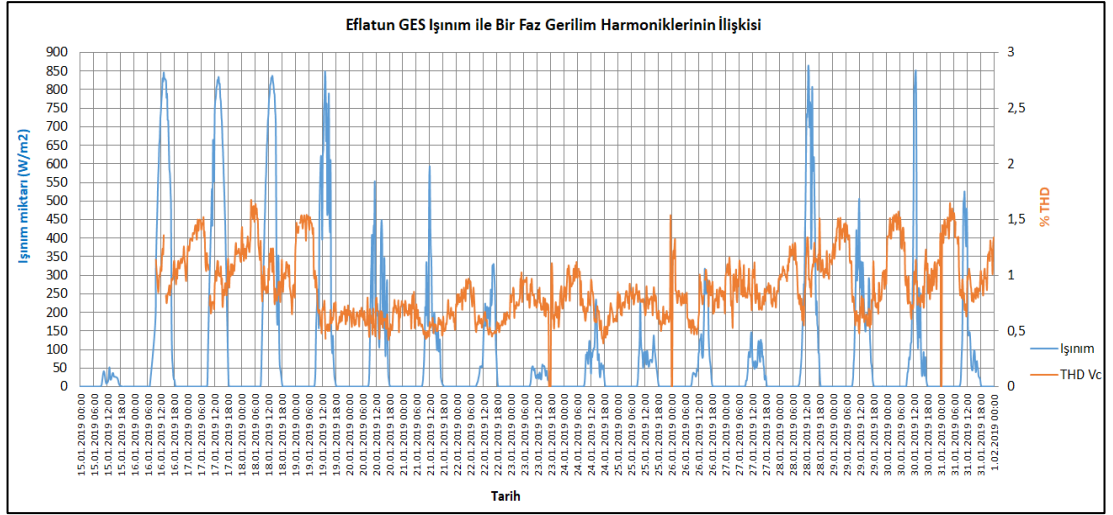
Şekil 4.27: Eflatun GES tesisinde bir faza ait (I_C) akım harmonikleri ve ışınlm grafiği



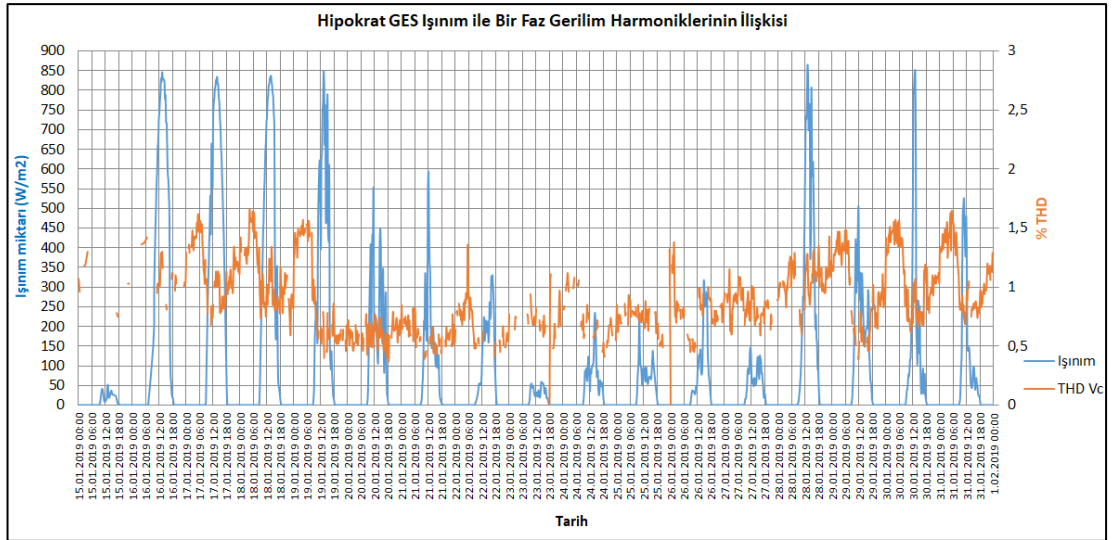
Şekil 4.28: Hipokrat GES tesisinde bir faza ait (I_C) akım harmonikleri ve ışınım grafiği

Şekil 4.27 ve Şekil 4.28'de görüleceği üzere GES tesislerinin üretime başladığı sabah saatlerinde % THD_I 'nin %100'lere varacak kadar yüksek olduğu, öğle saatlerinde ışınımın maksimuma ulaştığı zamanlarda % THD_I 'nin %5 civarlarında olduğu, ışınımın hiç olmadığı saatlerde ise % THD_I 'nin 0 olduğu görülmektedir. 15.01.2019 ile 31.01.2019 tarihleri arasında Eflatun GES tesisinde bir faza ait ortalama % THD_I %24 olmaktadır. Hipokrat GES tesisi içinde ortalama % THD_I %24'tür. Buradan akım harmonikleri ile ışınım arasında ters orantılı olacak şekilde ilişkisinin olduğu sonucuna varılabilir.

Eflatun GES'e ait Şekil 4.29 ve Hipokrat GES'e ait Şekil 4.30'daki grafiklerde ışınım miktarı ile bir faza ait gerilim harmoniklerinin değişimi gösterilmiştir. Bu grafiklerde, ışınım miktarı mavi renkle gösterilmiş ve buna ait değerler grafiğin sol tarafındaki eksenle belirtilmiş olup, bir faza ait % THD_V miktarı turuncu renkle gösterilmiş ve buna ait değerler grafiğin sağ tarafındaki eksenle belirtilmiştir.



Şekil 4.29: Eflatun GES tesisinde bir faza ait (V_C) gerilim harmonikleri ve ışınlamı grafiği

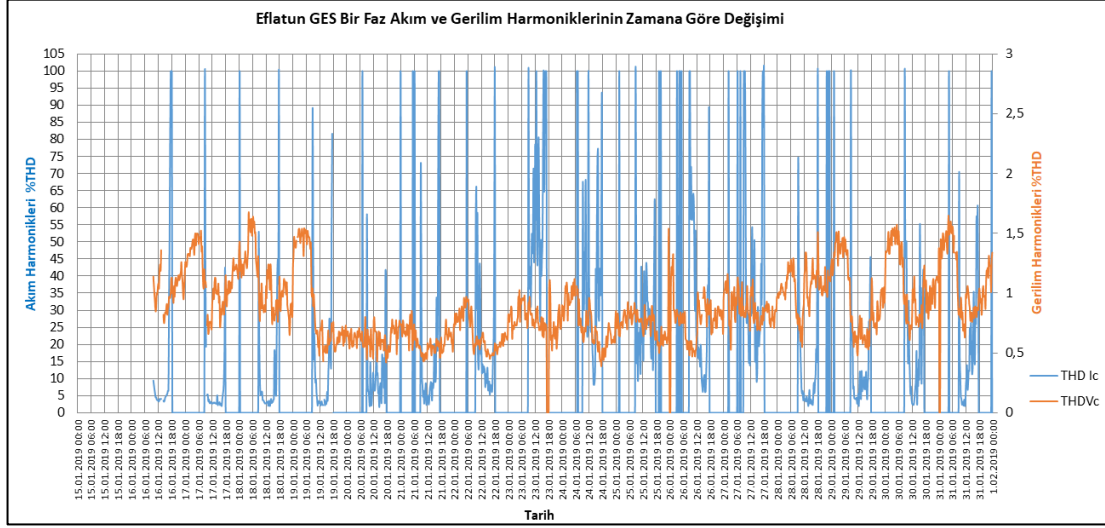


Şekil 4.30: Hipokrat GES tesisinde bir faza ait (V_C) gerilim harmonikleri ve ışınlamı grafiği

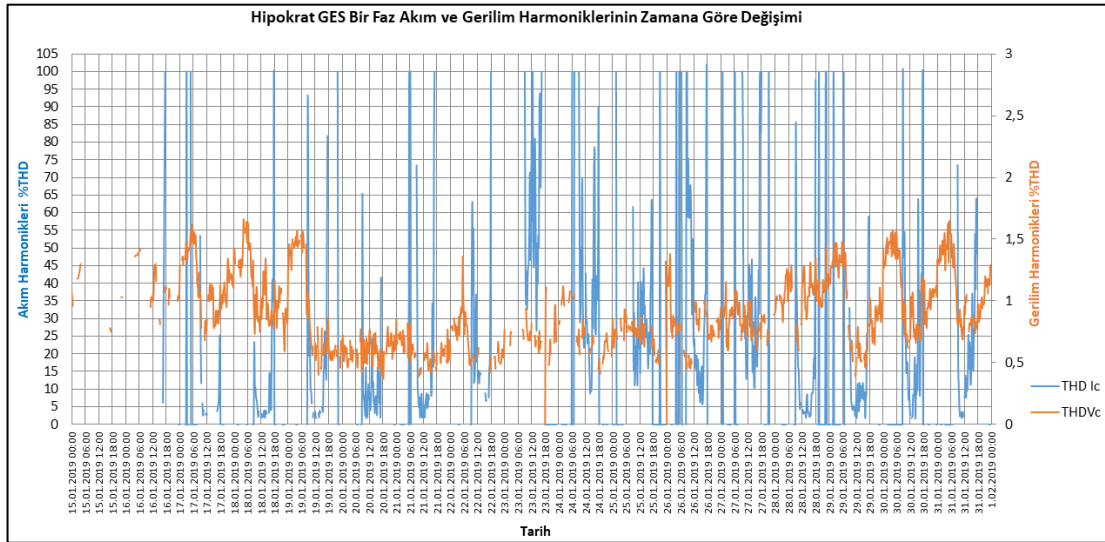
Şekil 4.29 ve Şekil 4.30'da görüleceği üzere GES tesislerinin üretim yaptığı ve yapmadığı zamanlara % THD_V 'nin %2'nin altında gerçekleştiği, bulutlanmanın olduğu günlerde ise diğer günlere nazaran % THD_V 'nin daha stabil bir şekilde seyrettiği görülmektedir.

Eflatun GES'e ait Şekil 4.31 ve Hipokrat GES'e ait Şekil 4.32'deki grafiklerde bir faza ait akım ve gerilim harmoniklerinin zamana göre değişimi gösterilmiştir. Bu grafiklerde, % THD_I miktarı mavi renkle gösterilmiş ve buna ait değerler grafiğin sol tarafındaki eksenle belirtilmiş olup, % THD_V miktarı turuncu

renkle gösterilmiş ve buna ait değerler grafiğin sağ tarafındaki eksenle belirtilmiştir. Şekil 4.31’deki grafik Şekil 4.27 ve Şekil 4.29’daki iki grafiğin birleşimi olup, Şekil 4.32’deki grafik ise Şekil 4.28 ve Şekil 4.30’daki iki grafiğin birleşiminden oluşmuştur. Bu grafiklerde ışınım değerleri belirtilmemiştir.



Şekil 4.31: Eflatun GES tesisinde bir faza ait (I_C, V_C) akım ve gerilim harmoniklerinin zamana göre değişim grafiği

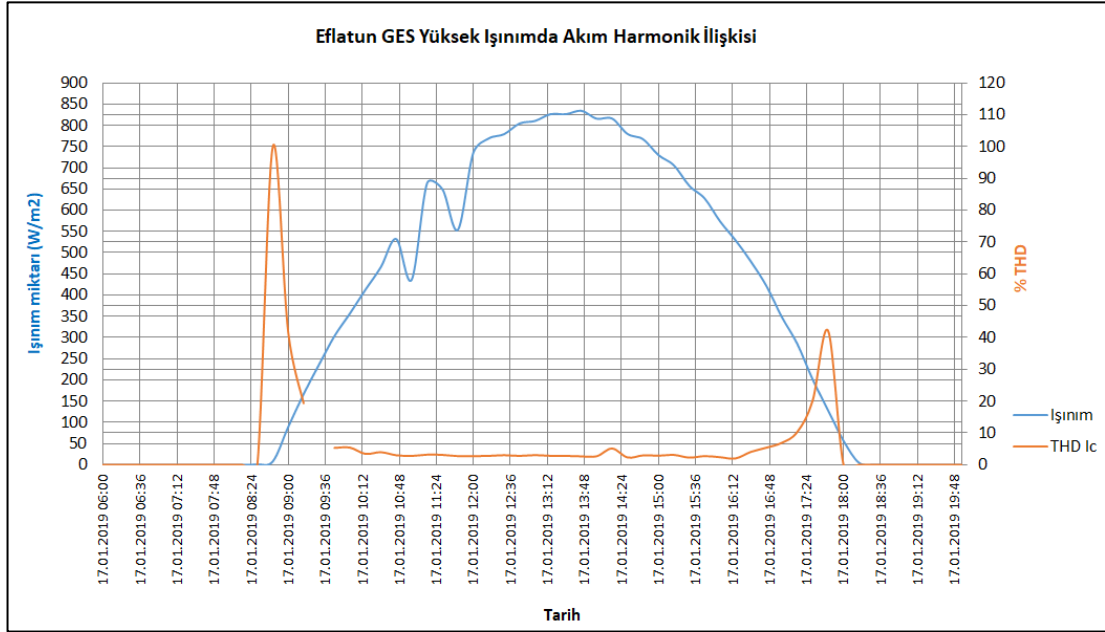


Şekil 4.32: Hipokrat GES tesisinde bir faza ait (I_C, V_C) akım ve gerilim harmoniklerinin zamana göre değişim grafiği

Eflatun GES tesisinde 3 faza ait akım harmoniklerinin arasında belli bir fark olmadığı görülmüş olup EK G bölümü “Şekil G.1” de verilmiştir. Aynı tesiste, 3 faza ait gerilim harmoniklerinin arasında da fark olmadığı EK G bölümü “Şekil G.2” de

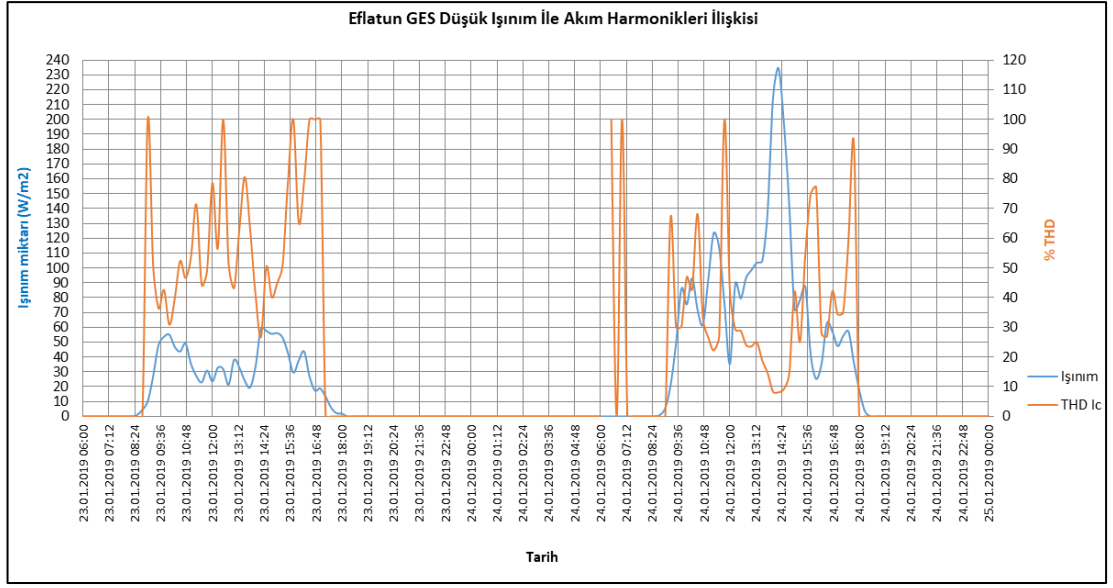
görülmektedir. Kısacası her fazın akım ve gerilimdeki davranışlarının aynı olduğu görülmüştür.

Şekil 4.33 ve Şekil 4.34’de Eflatun GES tesisinde en yüksek ve en düşük ışınımında bir faza ait akım harmoniklerinin değişimi detaylı olarak görülmektedir.



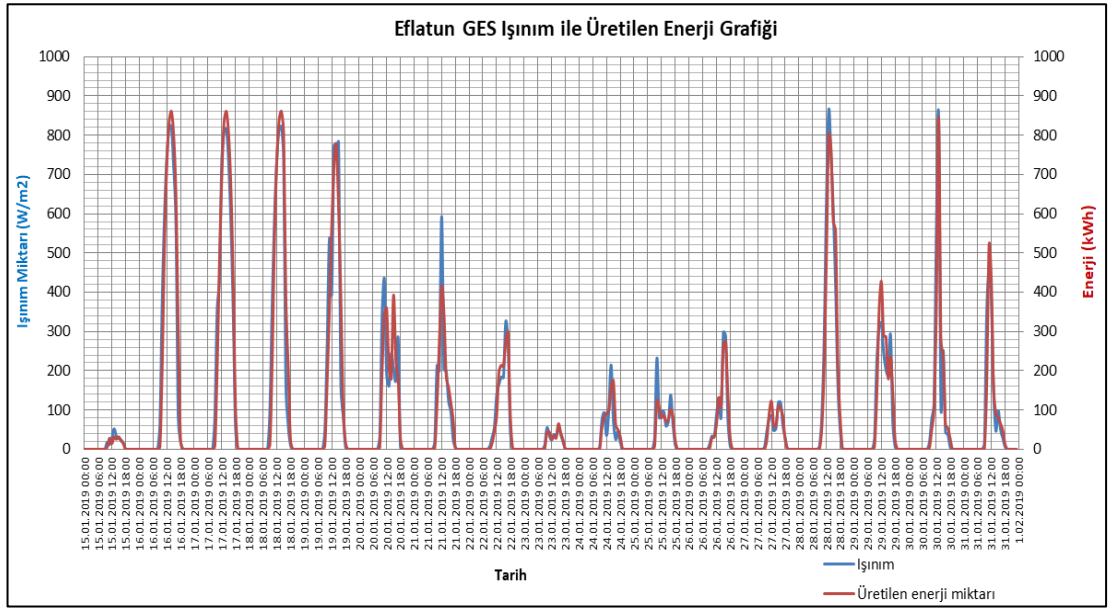
Şekil 4.33: Eflatun GES tesisinde bir faza ait (I_C) akım harmoniklerinin en yüksek ışınımındaki zamana göre değişim grafiği

Şekil 4.33’de havanın açık olduğu zamanlarda ışınım arttıkça %THD_I’nın azaldığı görülmektedir. Üretimin yeni başladığı ilk yarım saat ile bitmesine yakın son yarım saatte %THD_I’nın sırasıyla % 100’lere ve % 45’lere kadar çıktığı görülmektedir. Saat 10:48 – 12:00 arasında ışınımındaki değişim (bulutlanma) akım harmoniklerini etkilemediği, ışınımın o saatlerdeki değerinin yüksek olduğu ile açıklanabilir.



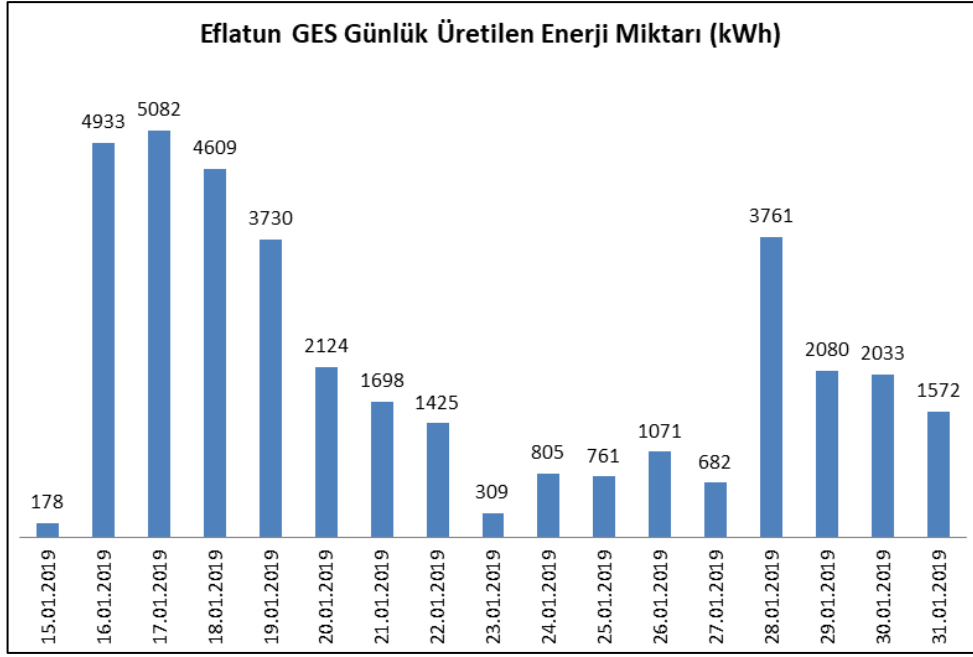
Şekil 4.34: Eflatun GES tesisinde bir faza ait (I_C) akım harmoniklerinin en düşük ışınımdaki zamana göre değişim grafiği

Şekil 4.34’de üretimin gerçekleştiği saatlerde ışınım miktarının düşük olması %THD_I’nın % 100’lere kadar çıkmasında etkili olduğu görülmektedir.



Şekil 4.35: Eflatun GES tesisinde ışınım ile üretilen enerji miktarının değişim grafiği

Şekil 4.35’de her bir saatte bir ölçülen ışınım miktarı ile üretimin yapıldığı süre zarfında her saat başı ölçülen bir saatlik enerji üretimini gösteren grafik verilmiştir. Buna göre ışınım miktarı ile üretilen enerjinin birbirleriyle tam ilişkili oldukları görülmektedir. Bu grafikte ilgili daha detaylı bilgi EK H bölümü ‘‘Çizelge H.1’’ de ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 4.36: Eflatun GES tesisinde üretilen günlük toplam enerji (kWh)

Şekil 4.36’da Eflatun GES tesisinde üretilen günlük enerji miktarı gösterilmiştir. Bu grafik ile Şekil 4.26’daki ışınım grafiğinin uyum içinde oldukları görülmekte olup, aynı zamanda ışınım miktarındaki kısa süreli değişimlerin (bulutlanma vb.) enerji üretimini olumsuz etkilediği söz konusudur.

Uluslararası standartlara göre (IEC 519-1992) harmonik bozulma değeri akım için % 5’ten küçük ($THD_I < \% 5$), gerilim için % 3’ten küçük ($THD_V < \% 3$) olmalıdır. Buna göre Eflatun GES ve Hipokrat GES tesislerinde ölçülen % THD_V değerlerinin %2’nin altında olduğu ve uluslararası standartlara uygun olduğu görülmüştür. Her iki tesis için ölçülen % THD_I değerleri ışınımına bağlı değiştiğinden üretimin olduğu zamanlarda bu değer % 1 ile % 100 arasında değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Her iki tesis için de ölçülen ortalama % THD_I %24’tür. Havanın açık olduğu zamanlarda ışınım miktarının istenilen bir seviyede olması durumunda % THD_I değerinin % 3’ten küçük olduğu ve uluslararası standartlara uygun olduğu görülmektedir. Havanın bulutlu olduğu zamanlarda ise % THD_I değerinin yüksek çıktığı görülmekte olup ortalaması %60’lara kadar çıkabilmektedir.

5. SONUÇLAR

Dünya'nın enerji ihtiyacı her geçen gün arttığından bu ihtiyacın büyük bir bölümünü karşılayan fosil yakıtlar hızla tükenmektedir. Bunun önüne geçmek yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmakla ve çeşidini arttırmakla mümkün olur. Güneş ışınımının tükenmezliğinden dolayı Güneş enerjisi yenilenebilir kaynakların başında gelmektedir. Güneş ışınımından maksimum derecede yararlanmak da bir o kadar gereklilik arz eder. Bu nedenle fotovoltaik hücrelerin, farklı ışınım şiddetleri ve çalışma şartları altında ürettikleri güç değerleri sistem performansını belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Işınım miktarı, çalışma sıcaklığı, gölgelenme, eğim açısı, kirlilik ve iklimsel değişikliklere bağlı parametreler güneş panellerinin çıkış güçlerinin belirlenmesinde çok etkilidir. Bu çalışmada Balıkesir'in Bandırma ilçesinde kurulu bulunan Albatur Enerji GES ve Aydın Dülger GES tesislerinin panel eğimi bakımından karşılaştırılması yapılmıştır. Tesisin birinde monokristal, diğerinde ise polikristal yapıda paneller bulunmaktadır. GES'lerin karşılaştırılmasındaki amaç, panel eğim açısının sistemin verimini nasıl etkilediğini incelemektir. 27 derece eğime sahip olan tesisin 9 derecelik eğime sahip tesise nazaran yıllık yaklaşık % 8 daha verimli olduğu tespit edilmiştir. Buna neden olarak, panel yüzeyine güneş ışınımı ne kadar dik açıyla gelirse panellerin üreteceği enerjinin de bir o kadar çok olduğu gösterilebilir. Ayrıca benzetim sonuçlarına göre bu tesislerin optimum eğim açısı 29° olarak belirlenmiştir. Bu şekilde kurulan tesislerin amortisman süresi kısaltılarak ekonomik getirisi artırılabilir. Balıkesir ilindeki güneş ışınım miktarları dikkate alındığında, kullanılan panellerin güney yönünde 28 ile 30 derece arasında kurulmasının uygun olacağı söylenebilir.

Bu çalışmada Bandırma'da kurulu bulunan Eflatun GES ve Hipokrat GES tesislerinde ışınım ile harmoniklerin ilişkisi de incelenmiştir. Işınım miktarı arttıkça % THD_I'nin % 2'lere kadar düştüğü, ışınımın azaldığı zamanlarda ise % THD_I'nin % 100'lere kadar çıktığı görülmüştür. Üretim olmadığı zamanlarda ise % THD_I'nin 0 olduğu görülmüştür. Işınım miktarındaki değişim % THD_V'yi pek etkilemediği ve % THD_V'nin sürekli % 2'nin altında olduğu görülmüştür. Sonuç olarak ışınım miktarı ile THD_I arasında ters ilişkinin olduğu, ışınım miktarı ile THD_V arasında ise böyle

bir ilişkinin olmadığı görülmüştür. Aynı zamanda Eflatun GES tesisi için ışınım ile üretilen enerji miktarı da incelenmiştir. Bunun sonucunda ışınım ile üretilen enerjinin birbirleriyle doğru orantılı olacak şekilde tam ilişkili oldukları görülmüştür.

Bu çalışmada Balıkesir'in GES bakımından sayısal analizi de yapılmıştır. 2018 yıl sonu itibarıyla Balıkesir'de üretim halinde olan 86 adet GES tesisi bulunmakta olup bu santrallerin toplam kurulu gücü 65,19497 MW'tır. Böylece kurulu güç bakımından Balıkesir'deki GES'ler Türkiye'deki toplam GES'lerin % 1.40'ını oluşturmaktadır. Yine 2018 yıl sonu itibarıyla Balıkesir'deki GES tesislerinin kurulu gücünün aynı ildeki diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik üretim tesisleri kurulu gücüne oranı yaklaşık olarak % 5.6'dır. 2018 yıl sonuna kadar Marmara Bölgesi'ndeki 301 adet GES tesisinden 86 adeti Balıkesir'de kurulmuştur. Bu oran % 28 olup Balıkesir, Marmara Bölgesi'ndeki GES sayısı bakımından birinci sıradadır. Aynı şekilde 301 adet GES'in kurulu gücü 186060,47 kW olup, 65194,97 kW ile Balıkesir Marmara Bölgesi'ndeki GES kurulu gücü bakımından da ilk sıradadır. Sonuç olarak Balıkesir'in Marmara Bölgesi'nde GES sayısı ve kurulu gücü bakımından ilk sırada olması Balıkesir'in yüz ölçümünün büyük olması, GES kurulabilir alanlarının elverişli olması, TEİAŞ'ın trafo merkezlerinde yeterli düzeyde kapasitenin olması, İstanbul, Bursa gibi büyük şehirlerde yeterli alanları olmaması vb. gibi durumların etkili olduğu söylenebilir.

6. KAYNAKLAR

- [1] www.enerji.gov.tr (11.10.2018)
- [2] Biçer, Y., “Fotovoltaik Modüllerin TS EN 45011 ve TS EN ISO/IEC 17065 Ürün Belgelendirme Sistemi Kapsamında Sertifikalandırılmasının Araştırılması ve Uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü*, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, İstanbul, (2014).
- [3] www.yegm.gov.tr (11.10.2018)
- [4] Aslantaş, A., “Dünya’da ve Türkiye’de Biyokütle Enerjisinin Kullanımı ve Potansiyeli ”, Yüksek Lisans Tezi, *KTO Karatay Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İşletme Anabilim Dalı, Konya, (2018).
- [5] Şenol, Ü., “Rüzgar Enerjisi ve Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Yapay Sinir Ağları Yöntemiyle Tahmini ”, Yüksek Lisans Tezi, *Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yozgat, (2017).
- [6] Sak, T., “Rüzgar ve Güneş Enerjisi Teknolojilerinin İrdelenmesi ve Niğde İline Uygulanabilirliklerinin Değerlendirilmesi ”, Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Niğde, (2016).
- [7] Alkan, S., “Düzce Şartlarında Bir Evin Enerji İhtiyacını Karşılacak Fotovoltaik Sistemin Kurulumu ”, Yüksek Lisans Tezi, *Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce, (2014).
- [8] Ayaz, R., “Farklı PV Teknolojilerinin Gerçek Ortam Verileri Kullanılarak Modellenmesi ve İstanbul Şartlarında Optimum Eğim Açılarının Belirlenmesi ”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Tesisleri Programı, İstanbul, (2012).
- [9] Demirtaş, M., “Bilgisayar Kontrollü Güneş Takip Sisteminin Tasarımı ve Uygulanması ”, *Politeknik Dergisi*, 9 (4), 247-253, (2006).

- [10] Çelik, S., "Güneş Enerjisi Kaynaklı Trijenerasyon Sisteminin Termodinamik ve Termoekonomik Analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, (2018).
- [11] Kepekçi, H.İ., "Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi Bileşenlerinin Analizi ve Tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa, (2014).
- [12] Koçar, G., Eryaşar, A., İllez, B., ve Atayol, A.A., "Güneş Enerjisi Destekli Biyogaz Sistemleri", *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 98, 19-26, (2007).
- [13] Akyüz, E., Bayraktar, M., ve Oktay, Z., "Hibrid Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin Endüstriyel Tavukçuluk Sektörü İçin Ekonomik Açıdan Değerlendirilmesi: Bir Uygulama", *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11 (2), 44-54, (2009).
- [14] Buğutekin, A., "Experimental Study of Temperature Field in a Solar Chimney Plant in Adıyaman", *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 32 (2), 73-80, (2012).
- [15] Ulutaş, H., "Kırsal Tesisler İçin Hibrit (Rüzgar + Güneş) Sistem Tasarımı ve Analizi", *Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yenilenebilir Enerji Anabilim Dalı, Ordu, (2015).
- [16] Öztürk, R., "Güneş Pilleri İle Elektrik Enerjisi Üretimi ve Karavanlarda Uygulamasının Teknik ve Ekonomik Analizi ", *Tesisat Mühendisliği / Temmuz – Ağustos 2003*, 14-18, (2003).
- [17] Bükün, N., "Siirt Yöresi İçin Tek Eksenli Güneş Takip Sistemli Güneş Panellerinin Enerji Verimliliğinin İncelenmesi ", Yüksek Lisans Tezi, *Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Siirt, (2017).
- [18] Güçlüer, D., "Güneş Enerjisi Santrali Kurulacak Alanların CBS – Çok Ölçütlü Karar Analizi Yöntemi ile Belirlenmesi ", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, FBE Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı Uzaktan Algılama ve CBS Yüksek Lisans Programında Hazırlanan, İstanbul, (2010).

- [19] Akman, E., Akın, S., Karanfil, G., ve Sönmezoğlu, S., “Organik Güneş Pilleri ”, *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14 (1), 1-30, (2013).
- [20] Öztürk, H. H., “Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi ve Etkili Etmenler ”, V. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi 18-21 Ekim, İzmir, (2017).
- [21] Oruç, E., “Silisyum Güneş Pillerinin Elektriksel Karakteristikleri ve Üretim Teknolojileri ”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Bilimleri Enstitüsü*, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, İstanbul, (2007).
- [22] Özgöçmen, A., “Güneş Pilleri Kullanarak Elektrik Üretimi ”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, (2007).
- [23] Kumbasar, A., “DA Çevirici Temelli Fotovoltaik Elektrik Üretimi Sistemlerinin İncelenmesi ve Simülasyonu ”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, FBE Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2010).
- [24] Kutlu, S., “Güneş Tarlası İle Elektrik Enerjisi Üretimi ve SDÜ Kampüs Alanında Bir Uygulama Analizi ”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Isparta, (2002).
- [25] Akgül, Z., Karagöz, M., ve Aşçı, Ş., “ Lisanssız 999 kW Güneş Enerjisi Santrali Projesi ve Rüzgar Enerjisi Fizibilite Çalışması ”, Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Karabük, (2018).
- [26] İsmael, A.I., “Monokristal Güneş Pili Sistemlerinde Elektrik Enerji Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara, (2012).
- [27] Karakan, A. ve Oğuz, Y., “Mevcut Yapılara Uygulanan Fotovoltaik Sistemlerin İncelenmesi: Afyonkarahisar Örneği”, ISBS 28-30 May 2015 Ankara 2. International Sustainable Buildings Symposium, 887-897, (2015).

- [28] Karamanav, M., “Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elektronik Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı, Sakarya, (2007).
- [29] Öztürk, A., “Monokristal ve Polikristal Güneş Pili Modüllerinin Mevsimsel Performanslarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Tunceli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Tunceli, (2012).
- [30] Boz, O.H., “Günümüzün Alternatif Enerji Kaynağı: Fotovoltaik Güneş Pilleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kimya Ana Bilim Dalı, Balıkesir, (2011).
- [31] Bektaş Ekici, B., ve Gülten, A., “Elazığ İli İçin Şebeke Bağlantılı Bir Fotovoltaik Sistemin Performans Analizi ”, *Gazi Üniversitesi 2. Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu (ISBS 28-30 Mayıs 2015)*, 848-853, (2015).
- [32] Esen, H. ve Kapıcıoğlu, A., “Farklı Yüksekliklere Yerleştirilen Güneş Pillerinin Verimlerinin İncelenmesi ”, *Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4 (2), 198-204, (2015).
- [33] Pakma, O., “Batman İlindeki İnce Film a-Si Teknolojili Fotovoltaik Sistemin Performans Değerlendirmesi ”, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20 (1), 234-242, (2018).
- [34] Kabul, A. ve Duran, F.,” Isparta İlinde Fotovoltaik/Termal (PV/T) Hibrit Sisteminin Performans Analizi”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 6 (1), 31-43, (2014).
- [35] Başoğlu, M.E., Kazdaloğlu, A., Bilgin, M.Z., Erfidan, T. ve Çakır, B., “Farklı Güneş Paneli Teknolojilerinin Kocaeli İli İçin Performans Değerlendirmesi ”, *Eleco 2014 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu (27-29 Kasım 2014 Bursa)*, 96-100, (2014).
- [36] Bulut, H., Demirtaş, Y., Işıker, Y. ve İlkhan, M.A., “ Fotovoltaik Panellerin Verimliliğini Toprak-Hava Isı Değiştirici Sistemi İle Artıran Deneysel Bir

Çalışma ”, *First International Conference on Energy Systems Engineering (ICESE 17 November 2-4 2017)*,

- [37] Arslan, İ., “Tekirdağ Koşullarında Polikristal ve Monokristal Tip PV Güneş Panellerinin Verimlilik Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, Tekirdağ, (2018).
- [38] Özel, S., “İnce Film Fotovoltaik Bir Panelin Mersin İli İçin Kış Dönemi Güç Karakteristiğinin Deneysel Olarak İncelenmesi ”, Yüksek Lisans Tezi, *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin, (2015).
- [39] Eruz, Ü.G., “Güneş Paneli Çeşitlerinden Polikristal, Monokristal ve Thin Film Panellerinin Karabük Şartlarında Verimlilik Karşılaştırılması ”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük, (2015).
- [40] Haydaroğlu, C. ve Gümüş, B., “ Dicle Üniversitesi Güneş Enerji Santralının PVsyst ile Simulasyonu ve Performans Parametrelerinin Değerlendirilmesi”, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 7 (3), 491-500, (2016).
- [41] Sadıkoğlu, F., ”1 MWp Şebekeye Bağlı Güneş Enerji Santrali Performans Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, (2018)
- [42] Çataklı, M., *Fotovoltaik Sistemler*, German: Çataklı Enerji, 2.10-2.13, (2012).
- [43] <https://globalsolaratlas.info/downloads/turkey> (26.11.2018).
- [44] Durmaz, A. F., “ Eğik Yüzeyle Gelen Güneş Işınımının Analizi ve Cam Yüzeylerden Geçen Güneş Işınımının Tespiti ”, Yüksek Lisans Tezi, *Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Şanlıurfa, (2007).
- [45] Çiftçi, F., “ Güneş Enerji Sistemlerinde Farklı Cins Panellerle Maliyet ve Güç Analizinin Yapılması ”, Yüksek Lisans Tezi, *Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Enerji ve Çevre Yönetimi Anabilim Dalı, İstanbul, (2016).

- [46] Taze, G., “ Düz Güneş Kollektörü Verimini Etkileyen Bazı Parametrelerin Deneysel İncelenmesi ”, Yüksek Lisans Tezi, *Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makina Anabilim Dalı, Kırıkkale, (2010).
- [47] Aydoğan, D., “ Binaya Entegre Fotovoltaik Sistem Tasarımı ve Kurulumu ”, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı, Gebze, (2010).
- [48] Umut, İ., “ Yenilebilir Enerji Kaynaklarını Elektrik Enerjisine Dönüştürmede Kullanılan Yöntemler ve Örnek Uygulamalar ”, Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Edirne, (2008).
- [49] Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği Kapsamında 50 kWe Kadar Güneş Enerjisine Dayalı Elektrik Üretim Tesislerinin Tip Şartnamesi, TEDAŞ, 2015.
- [50] Mastar, E., “Güneş Panelleri İçin Güneş Takip Mekanizmasının Tasarımı ”, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa, (2011).
- [51] Kandemir, Ç. ve Bayrak, M., “Fotovoltaik Sistemler Şebekeye Bağlı Olduğunda Oluşan Sorunlar ”, *6. Enerji Verimliliği Kalitesi Sempozyumu*, 4-6 Haziran 2015, Sakarya Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü.
- [52] Erkurt, S., Özdemir, E., Koç, İ. M., Aktaş, A., ve Erhan, K., “Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Elektrik Üretim Sistemlerinin Güç Kalitesine Etkileri ve Performans Analizi ”, *6. Enerji Verimliliği Kalitesi Sempozyumu*, 4-6 Haziran 2015, Sakarya, Kocaeli Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü.
- [53] Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik, Resmi Gazete Tarihi 02.10.2013, Resmi Gazete Sayısı 28783, Bölüm 3, Madde 12.
- [54] Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği Kapsamında 10 kW ve Altı Çatı ve Cephe Uygulamalı Güneş Elektrik Üretim Tesisleri İçin Tip Proje ve Ekleri, TEDAŞ, 2018.


- [55] Taşçıoğlu, A., “Monokristal ve Polikristal Güneş Panellerinin Bursa Koşullarındaki Güç Performansı Üzerine Bir Araştırma ”, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa, (2015).
- [56] Bedeloğlu, A., Demir, A., ve Bozkurt, Y., “Fotovoltaik Teknolojisi: Türkiye ve Dünyadaki Durumu, Genel Uygulama Alanları ve Fotovoltaik Tekstiller”, *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4 (2), 43-58, (2010).
- [57] Sayın, S., ve Koç, İ., “Güneş Enerjisinden Aktif Olarak Yararlanmada Kullanılan Fotovoltaik (PV) Sistemler ve Yapılarda Kullanım Biçimi”, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26 (3), 89-106, (2011).
- [58] Aygün, O.D., “Mevcut Konut Yapılarına Fotovoltaik Panel Sistemlerinin Entegre Edilmesi, İzmir Örneği ”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mimarlık Bölümü Yapı Anabilim Dalı, İzmir, (2012).
- [59] Kocaöz, R., “Güneş Pili Teknolojisi Kullanılarak Çardaklarda Sisleme Sisteminin Uygulanabilirliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ, (2015).
- [60] Rüstemli, S. ve Dinçer, F., “ Van İli Elektrik Enerjisi Üretiminde Güneş Enerjisinin Mevcut Durumu ve Geleceği ”, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 16 (1), 22-33, (2011).
- [61] <http://www.enerjiatlası.com/ulkelere-gore-gunes-enerjisi.html> (02.12.2018).
- [62] Karagöl, E. T. ve Kavaz, İ., “Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji ”, *Analiz*, Seta, 197, Nisan, (2017).
- [63] Bayraktar, K. G., “ Güneş Ülkemizin Enerji Geleceğidir ”, *Enerji ve Maden Dergisi*, Yıl 5, S:13, 50-54, (2016).
- [64] <https://mgm.gov.tr/kurumici/turkiye-guneslenme-suresi.aspx> (08.12.2018).
- [65] www.yegm.gov.tr (09.12.2018).

- [66] Thongpron, J., Sangpanich, U., Limsakul, C., Chenvidya, D., Kirtikara, K., and Jivacate, C., “ Study of a PV – Grid Connected System on its Output Harmonics and Voltage Variation”, *Asian J. Energy Environ*, 5 (1), 59-73, (2004).
- [67] Hicks, C., Baghzouz, Y., and Haddad, S., “ Power Quality of Residential PV System under Low Solar Irradiance and Off-Grid Operation”, 18th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), 13-16 May, (2018).
- [68] Sidrach-de-Cardona, M., and Carretero, J., “Analysis of the current total harmonic distortion for different single phase inverters for grid connected pv systems”, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 87, 529-540, (2005).
- [69] Parthasarathy, S., and Anandkumar, N.V., “Effect of Fluctuating Solar Irradiance on the Quality of Power Generated by Solar Photovoltaik System ”, *International Journal of Advanced Engineering Research and Technology (IJAERT)*, 5 (9), 657-664, (2017).

EKLER

7. EKLER


EK A Alatur Enerji GES Tesisinde Kullanılan Panellerin Katalog Bilgileri




Satış:

AC-250P/156-60S
AC-255P/156-60S
AC-260P/156-60S
AC-265P/156-60S

www.axitecsolar.com



high quality german solar brand



Elektrik verileri (standart test koşulları (STC) altında, 25°C hücre sıcaklığında AM 1,5 aralığıyla 1000 Watt/m² ışıkta)

Tip	Nominal güç P _{mp}	Nominal gerilim U _{mp}	Nominal akım I _{mp}	Kısa devre akımı I _{sc}	Açık devre gerilimi U _{oc}	Modül etki seviyesi
AC-250P/156-60S	250 Wp	29,98 V	8,34 A	8,84 A	37,75 V	15,37 %
AC-255P/156-60S	255 Wp	30,26 V	8,43 A	8,91 A	37,96 V	15,67 %
AC-260P/156-60S	260 Wp	30,56 V	8,51 A	8,99 A	38,17 V	15,98 %
AC-265P/156-60S	265 Wp	30,98 V	8,60 A	9,20 A	38,38 V	16,29 %

Yapı

Ön yüzü 3,2 mm kalınlığında, sertleştirilmiş, yansız beyaz cam

Hücreler çok kristalli yüksek performansı 60 hücre

156 mm x 156 mm (6")

Arka yüzü Kompozit folyo

Çerçeve 40 mm kalınlığında gümüş anodize alüminyum çerçeve

Mekanik verileri

U x G x Y 1640 x 992 x 40 mm

Ağırlık Çerçeveyle birlikte 18,5 kg

Bağlantı

Bağlantı kutusu IP65 koruma sınıfı (3 geçiş diyodu)

Kablo Yaklaşık 1,1 m, 4 mm²

Elektrik bağlantı sistemi IP67 fiş/priz

Sınır değerler

Sistem gerilimi 1000 VDC

NOCT (nominal işletim hücre sıcaklığı)* 45°C +/-2K

Maksimum yük mukavemet kapasitesi 5400 Nm²

Geriyeye doğru enerjileme IR 16,0 A

Sıcaklık çalışma aralığı -40°C'den +85°C'ye kadar

*NOCT, ışık gücü 800 W/m²; AM 1,5;
Rüzgâr hızı 1 m/saniye; sıcaklık 20°C

-40°C ile +85°C sıcaklık aralığına ve 0-85 % bağıl nem oranına göre tasarlanmıştır.

Sıcaklık katsayıları

Gerilim U_{oc} -0,30 %/K

Akım I_{sc} 0,06 %/K

Güç P_{mp} -0,44 %/K

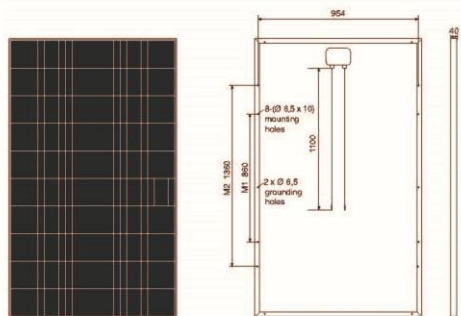
Zayıf ışıkta (Örnek AC-260P/156-60S)

I-U karakteristiği	cinsinden akım	cinsinden gerilim/voltaj
200 W/m ²	1,70 A	30,10 V
400 W/m ²	3,42 A	30,15 V
600 W/m ²	5,14 A	30,52 V
800 W/m ²	6,82 A	30,86 V
1000 W/m ²	8,43 A	30,92 V

Paketleme

Palet 25 adet

HC-Container toplam Solar Modül sayısı 700 adet



Bütün ölçüler mm cinsindedir


Teknik veriler üzerinde, önceden haber verilmeksizin değişiklik yapılabilir. Tüm hakları ve hata hakları saklıdır. Ölçüm toleransları % +/-310r

Şekil A.1: Axitec panel katalog bilgileri

EK B Aydın Dülger GES Tesisinde Kullanılan Panellerin Katalog Bilgileri

Sunmodule Plus

SW 280 - 295 mono



PERFORMANCE UNDER STANDARD TEST CONDITIONS (STC)*

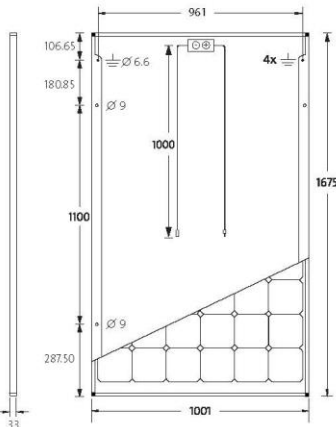
		SW 280	SW 285	SW 290	SW 295
Maximum power	P_{max}	280 Wp	285 Wp	290 Wp	295 Wp
Open circuit voltage	U_{oc}	39.5 V	39.7 V	39.9 V	40 V
Maximum power point voltage	U_{mp}	31.2 V	31.3 V	31.4 V	31.5 V
Short circuit current	I_{sc}	9.71 A	9.84 A	9.97 A	10.1 A
Maximum power point current	I_{mp}	9.07 A	9.20 A	9.33 A	9.45 A
Module efficiency	η_{stc}	16.7 %	17 %	17.3 %	17.59 %

Messtoleranz (P_{max}) rückführbar auf TÜV Rheinland: +/- 2% (TÜV Power controlled) *STC: 1000W/m², 25°C, AM 1.5

PERFORMANCE AT 800 W/m², NOCT, AM 1.5

		SW 280	SW 285	SW 290	SW 295
Maximum power	P_{max}	209.2 Wp	213.1 Wp	217.1 Wp	220.5 Wp
Open circuit voltage	U_{oc}	36.1 V	36.4 V	36.6 V	36.7 V
Maximum power point voltage	U_{mp}	28.5 V	28.7 V	28.8 V	28.9 V
Short circuit current	I_{sc}	7.85 A	7.96 A	8.06 A	8.17 A
Maximum power point current	I_{mp}	7.33 A	7.43 A	7.54 A	7.64 A

Minor reduction in efficiency under partial load conditions at 25°C: at 200 W/m², 100% (+/-2%) of the STC efficiency (1000 W/m²) is achieved.






COMPONENT MATERIALS




Cells per module	60
Cell type	Mono crystalline
Cell dimensions	156 mm x 156 mm
Front	Tempered safety glass (EN 12150)
Back	Film, white
Frame	Clear anodized aluminum
J-Box	IP65
Connector	H4

DIMENSIONS / WEIGHT		THERMAL CHARACTERISTICS	
Length	1675 mm	NOCT	46 °C
Width	1001 mm	TK I_{sc}	0.040 %/K
Height	33 mm	TK U_{oc}	-0.30 %/K
Weight	18.0 kg	TK P_{mp}	-0.41 %/K

PARAMETERS FOR OPTIMAL SYSTEM INTEGRATION

Power sorting	-0 Wp / +5 Wp
Maximum system voltage SC II	1000 V
Maximum reverse current	25 A
Load / dynamic load	5.4 / 2.4 kN/m ²
Number of bypass diodes	3
Operating range	-40 °C to +85 °C

SolarWorld AG reserves the right to make specification changes without notice.
This data sheet complies with the requirements of EN 50380.

90000999 | 2016-03-04 EN

Şekil B.1: Solarworld panel katalog bilgileri

EK C Alatur Enerji GES Tesisinin PVSYST 6.7.6 Benzetim Raporu

PVSYST V6.76		18/11/18		Page 1/4	
Grid-Connected System: Simulation parameters					
Project : ALBATUR ENERJİ GES-1					
Geographical Site		Bandirma-Albatur		Country Turkey	
Situation		Latitude 40.20° N		Longitude 28.12° E	
Time defined as		Legal Time		Time zone UT+2	
		Albedo 0.20		Altitude 90 m	
Meteo data:		Bandirma-Albatur Meteonorm 7.2 (2004-2010), Sat=100% - Synthetic			
Simulation variant : ALBATUR ENERJİ GES-1					
		Simulation date 18/11/18 09h03			
Simulation parameters		System type Sheds on ground			
Collector Plane Orientation		Tilt 27°		Azimuth 0°	
Models used		Transposition Perez		Diffuse Perez, Meteonorm	
Horizon		Free Horizon			
Near Shadings		Detailed electrical calculation (acc. to module layout)			
User's needs :		Unlimited load (grid)			
PV Array Characteristics					
PV module		Si-poly Model AXIpower AC-265P/156-60S			
Original PVsyst database		Manufacturer Axitec USA			
Number of PV modules		In series 21 modules		In parallel 8 strings	
Total number of PV modules		Nb. modules 168		Unit Nom. Power 265 Wp	
Array global power		Nominal (STC) 44.5 kWp		At operating cond. 39.8 kWp (50°C)	
Array operating characteristics (50°C)		U mpp 578 V		I mpp 69 A	
Total area		Module area 273 m²		Cell area 245 m²	
Inverter		Model RefuSol 40K (840P)			
Original PVsyst database		Manufacturer REFU Elektronik GmbH			
Characteristics		Operating Voltage 250-900 V		Unit Nom. Power 40.0 kWac	
Inverter pack		Nb. of inverters 1 units		Total Power 40 kWac	
				Pnom ratio 1.11	
PV Array loss factors					
Thermal Loss factor		Uc (const) 20.0 W/m²K		Uv (wind) 0.0 W/m²K / m/s	
Wiring Ohmic Loss		Global array res. 141 mOhm		Loss Fraction 1.5 % at STC	
Module Quality Loss				Loss Fraction -0.5 %	
Module Mismatch Losses				Loss Fraction 1.0 % at MPP	
Strings Mismatch loss				Loss Fraction 0.10 %	
Incidence effect, ASHRAE parametrization		IAM = 1 - bo (1/cos i - 1)		bo Param. 0.05	
PVsyst Evaluation mode					

Şekil C.1: Alatur Enerji GES tesisi PVSYST 6.7.6 benzetim raporu

Grid-Connected System: Main results

Project : **ALBATUR ENERJI GES-1**
 Simulation variant : **ALBATUR ENERJI GES-1**

Main system parameters

System type **Sheds on ground**

Near Shadings

Detailed electrical calculation (acc. to module layout)

PV Field Orientation

tilt 27° azimuth 0°

PV modules

Model AXIpower AC-265P/156-60S Pnom 265 Wp

PV Array

Nb. of modules 168 Pnom total **44.5 kWp**

Inverter

Model RefuSol 40K (840P) Pnom 40.0 kW ac

User's needs

Unlimited load (grid)

Main simulation results

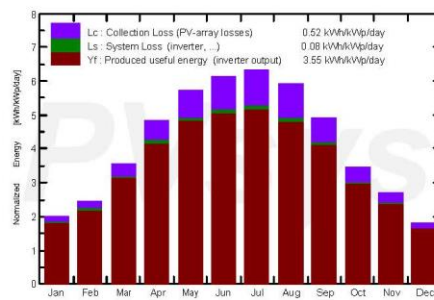
System Production

Produced Energy **57761 kWh/year**

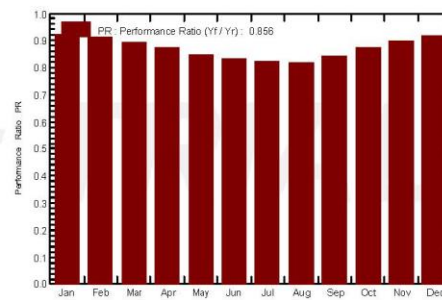
Specific prod. 1297 kWh/kWp/year

Performance Ratio PR 85,56 %

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 44.5 kWp



Performance Ratio PR



ALBATUR ENERJI GES-1

Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR
January	44.6	28.77	4.95	61.5	59.4	2581	2526	0.922
February	53.9	33.37	5.71	68.0	65.7	2825	2766	0.914
March	93.6	52.79	8.79	109.8	106.3	4458	4365	0.893
April	133.3	59.93	11.84	144.5	139.9	5721	5602	0.871
May	179.2	73.81	17.04	177.8	172.3	6851	6707	0.847
June	191.3	81.79	21.67	183.6	177.8	6932	6788	0.830
July	201.2	86.65	24.87	196.5	190.1	7313	7162	0.819
August	173.9	68.49	24.92	183.7	178.2	6820	6677	0.816
September	127.9	56.95	20.07	147.7	143.2	5644	5528	0.841
October	84.0	47.44	16.13	106.7	103.2	4228	4143	0.872
November	56.1	29.20	10.20	80.4	77.9	3278	3211	0.897
December	39.5	25.44	6.88	56.1	54.2	2336	2287	0.915
Year	1378.5	644.63	14.48	1516.3	1468.3	58986	57761	0.856

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

Şekil C.1: Albatur Enerji GES tesisi PVSYST 6.7.6 benzetim raporu (devam)

EK D Aydın Dülger GES Tesisinin PVSYST 6.7.6 Benzetim Raporu

PVSYST V6.76		28/10/18	Page 1/4
Grid-Connected System: Simulation parameters			
Project : Aydın Dülger			
Geographical Site	Bandirma-Aydin Dülger	Country	Turkey
Situation	Latitude	40.27° N	Longitude 28.01° E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+2	Altitude 58 m
	Albedo	0.20	
Meteo data:	Bandirma-Aydin Dülger	Meteonorm 7.2 (2004-2010), Sat=100% - Synthetic	
Simulation variant : aydindulger			
	Simulation date	28/10/18 16h47	
Simulation parameters	System type	Sheds on ground	
Collector Plane Orientation	Tilt	9°	Azimuth 16°
Models used	Transposition	Perez	Diffuse Perez, Meteonorm
Horizon	Free Horizon		
Near Shadings	Detailed electrical calculation	(acc. to module layout)	
User's needs :	Unlimited load (grid)		
PV Array Characteristics			
PV module	Si-mono	Model	Sunmodule SW 285 mono
Original PVsyst database		Manufacturer	SolarWorld
Number of PV modules		In series	20 modules
Total number of PV modules		Nb. modules	160
Array global power		Nominal (STC)	45.6 kWp
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	555 V
Total area		Module area	268 m²
		In parallel	8 strings
		Unit Nom. Power	285 Wp
		At operating cond.	40.7 kWp (50°C)
		I mpp	73 A
Inverter			
Original PVsyst database		Model	RefuSol 40K (840P)
Characteristics		Manufacturer	REFU Elektronik GmbH
		Operating Voltage	250-900 V
		Unit Nom. Power	40.0 kWac
Inverter pack		Nb. of inverters	1 units
		Total Power	40 kWVac
		Pnom ratio	1.14
PV Array loss factors			
Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind) 0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	127 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction -0.4 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction 1.0 % at MPP
Strings Mismatch loss			Loss Fraction 0.10 %
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param. 0.05
PVsyst Evaluation mode			

Şekil D.1: Aydın Dülger GES tesisi PVSYST 6.7.6 benzetim raporu

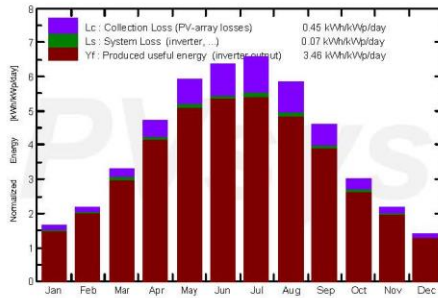
Grid-Connected System: Main results

Project : Aydin Dülger
Simulation variant : aydindulger

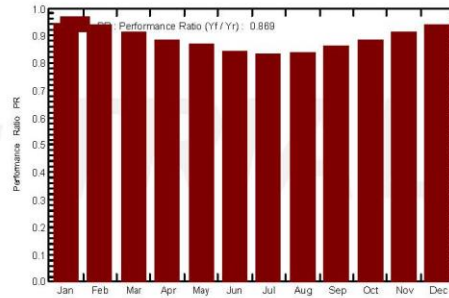
Main system parameters		System type	Sheds on ground	
Near Shadings		Detailed electrical calculation (acc. to module layout)		
PV Field Orientation	tilt	9°	azimuth	16°
PV modules	Model	Sunmodule SW 285 mono	Pnom	285 Wp
PV Array	Nb. of modules	160	Pnom total	45.6 kWp
Inverter	Model	RefuSol 40K (840P)	Pnom	40.0 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Main simulation results		System Production	Produced Energy	57.59 MWh/year	Specific prod.	1263 kWh/kWp/year
			Performance Ratio PR	86.91 %		

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 45.6 kWp



Performance Ratio PR



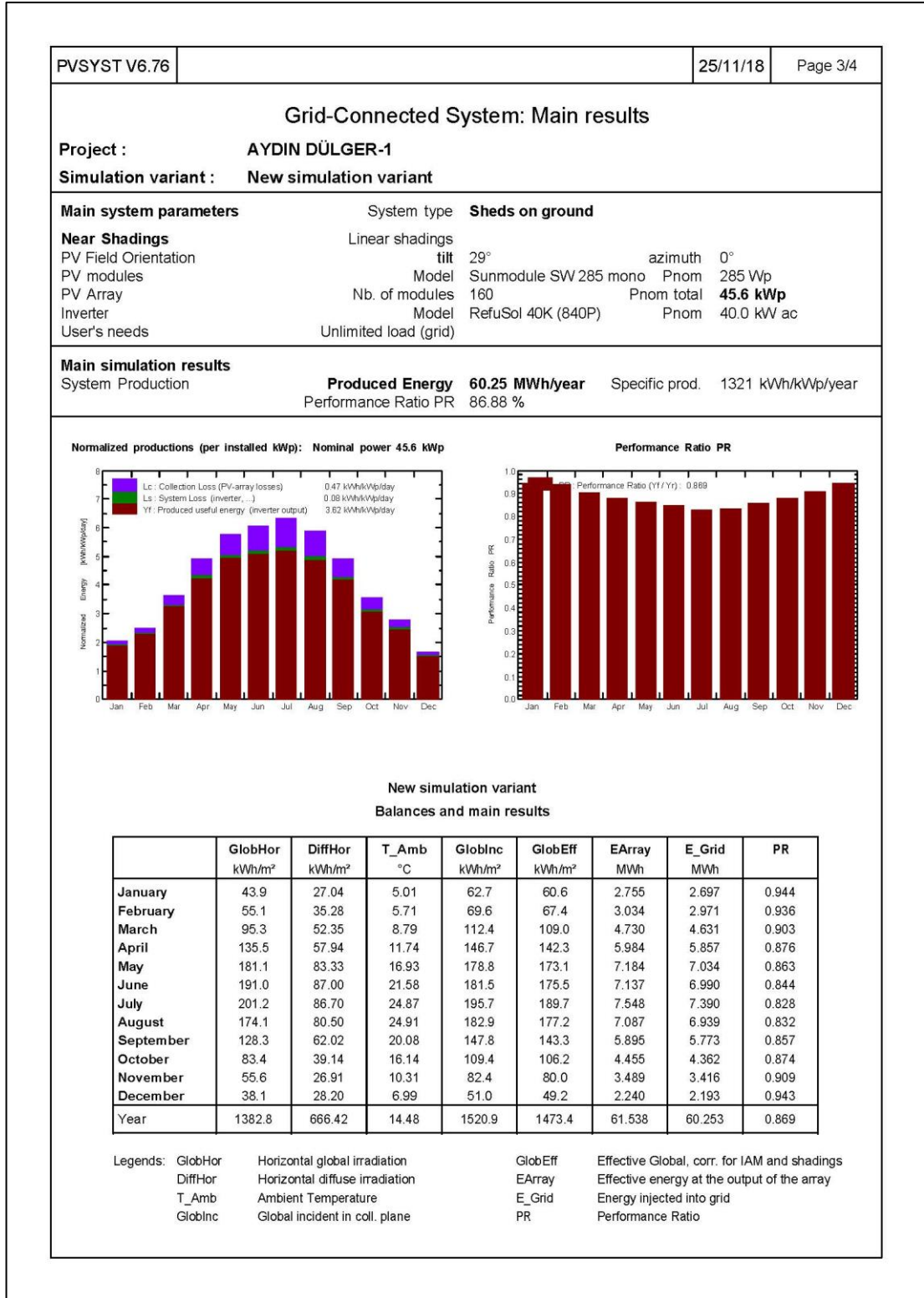
aydindulger
Balances and main results

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m²	kWh/m²	°C	kWh/m²	kWh/m²	MWh	MWh	
January	43.9	27.04	5.01	50.5	47.8	2.213	2.165	0.940
February	55.1	35.28	5.71	60.8	58.1	2.657	2.602	0.938
March	95.3	52.35	8.79	102.6	98.5	4.346	4.257	0.910
April	135.5	57.94	11.74	141.7	136.8	5.827	5.705	0.883
May	181.1	83.33	16.93	183.4	177.1	7.375	7.223	0.864
June	191.0	87.00	21.58	191.4	184.7	7.513	7.359	0.843
July	201.2	86.70	24.87	203.4	196.8	7.849	7.686	0.829
August	174.1	80.50	24.91	180.7	174.4	7.032	6.888	0.836
September	128.3	62.02	20.08	137.2	132.0	5.511	5.399	0.863
October	83.4	39.14	16.14	93.3	89.4	3.833	3.754	0.882
November	55.6	26.91	10.31	65.3	62.1	2.776	2.718	0.913
December	38.1	28.20	6.99	42.8	40.5	1.869	1.829	0.937
Year	1382.8	666.42	14.48	1453.1	1398.2	58.803	57.585	0.869

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

Şekil D.1: Aydın Dülger GES tesisi PVSYSY 6.7.6 benzetim raporu (devam)

EK E Aydın Dülger GES Tesisine Ait Aç ve Yön Bakımından Benzetim Raporu



Şekil E.1: Aydın Dülger GES tesisi 29° eğim ve 0° azimut açısındaki benzetim raporu

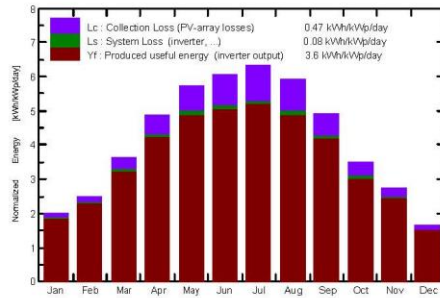
Grid-Connected System: Main results

Project : AYDIN DÜLGER-1
Simulation variant : New simulation variant

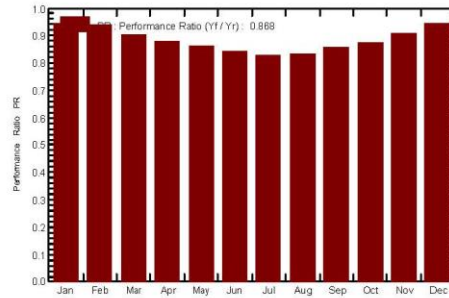
Main system parameters		System type	Sheds on ground	
Near Shadings	Linear shadings			
PV Field Orientation	tilt	29°	azimuth	16°
PV modules	Model	Sunmodule SW 285 mono	Pnom	285 Wp
PV Array	Nb. of modules	160	Pnom total	45.6 kWp
Inverter	Model	RefuSol 40K (840P)	Pnom	40.0 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Main simulation results		Produced Energy	59.99 MWh/year	Specific prod.	1316 kWh/kWp/year
System Production	Performance Ratio PR	86.79 %			

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 45.6 kWp



Performance Ratio PR



**New simulation variant
Balances and main results**

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
January	43.9	27.04	5.01	61.9	59.8	2.719	2.663	0.943
February	55.1	35.28	5.71	69.8	67.5	3.037	2.973	0.935
March	95.3	52.35	8.79	112.1	108.7	4.714	4.614	0.903
April	135.5	57.94	11.74	145.9	141.7	5.955	5.829	0.876
May	181.1	83.33	16.93	177.2	171.3	7.106	6.959	0.861
June	191.0	87.00	21.58	181.1	174.7	7.098	6.952	0.842
July	201.2	86.70	24.87	195.5	189.3	7.530	7.373	0.827
August	174.1	80.50	24.91	182.9	177.4	7.090	6.943	0.832
September	128.3	62.02	20.08	147.6	143.3	5.892	5.770	0.857
October	83.4	39.14	16.14	108.8	105.6	4.425	4.332	0.874
November	55.6	26.91	10.31	82.3	79.8	3.477	3.404	0.907
December	38.1	28.20	6.99	50.7	48.9	2.223	2.176	0.942
Year	1382.8	666.42	14.48	1515.7	1468.1	61.265	59.987	0.868

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

Şekil E.2: Aydın Dülger GES tesisi 29° eğim ve 16° azimut açısındaki benzetim raporu

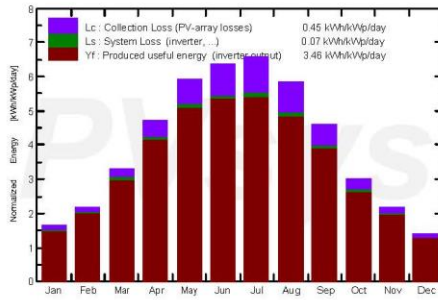
Grid-Connected System: Main results

Project : Aydin Dülger
Simulation variant : aydindulger

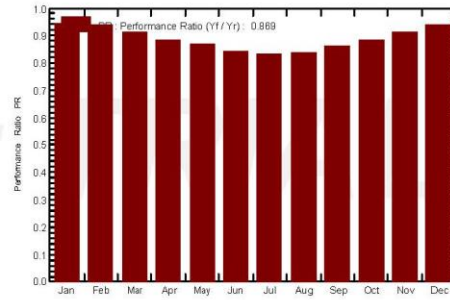
Main system parameters		System type	Sheds on ground	
Near Shadings		Detailed electrical calculation (acc. to module layout)		
PV Field Orientation	tilt	9°	azimuth	16°
PV modules	Model	Sunmodule SW 285 mono	Pnom	285 Wp
PV Array	Nb. of modules	160	Pnom total	45.6 kWp
Inverter	Model	RefuSol 40K (840P)	Pnom	40.0 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Main simulation results		System Production	Produced Energy	57.59 MWh/year	Specific prod.	1263 kWh/kWp/year
			Performance Ratio PR	86.91 %		

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 45.6 kWp



Performance Ratio PR



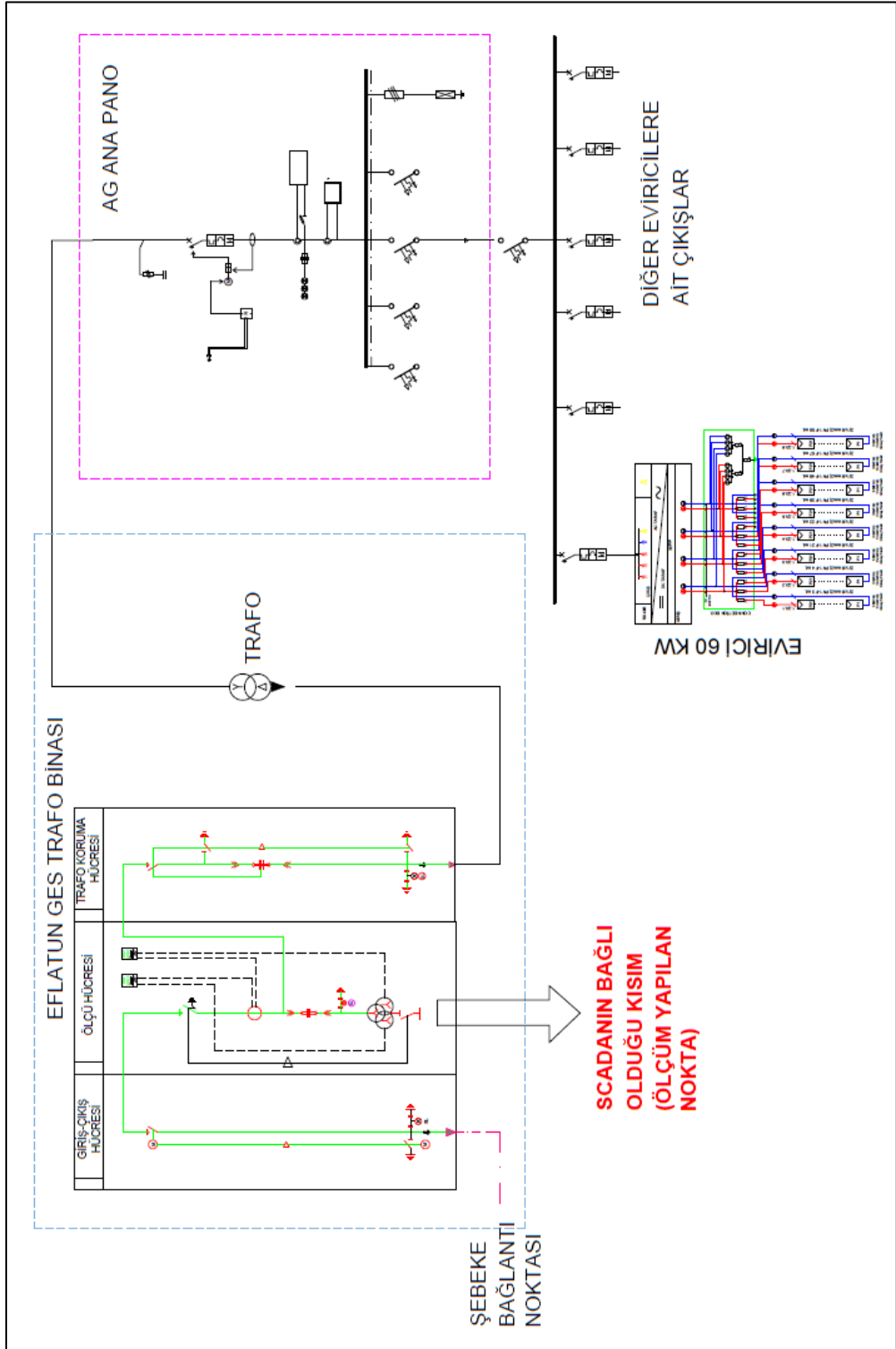
aydindulger
Balances and main results

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m²	kWh/m²	°C	kWh/m²	kWh/m²	MWh	MWh	
January	43.9	27.04	5.01	50.5	47.8	2.213	2.165	0.940
February	55.1	35.28	5.71	60.8	58.1	2.657	2.602	0.938
March	95.3	52.35	8.79	102.6	98.5	4.346	4.257	0.910
April	135.5	57.94	11.74	141.7	136.8	5.827	5.705	0.883
May	181.1	83.33	16.93	183.4	177.1	7.375	7.223	0.864
June	191.0	87.00	21.58	191.4	184.7	7.513	7.359	0.843
July	201.2	86.70	24.87	203.4	196.8	7.849	7.686	0.829
August	174.1	80.50	24.91	180.7	174.4	7.032	6.888	0.836
September	128.3	62.02	20.08	137.2	132.0	5.511	5.399	0.863
October	83.4	39.14	16.14	93.3	89.4	3.833	3.754	0.882
November	55.6	26.91	10.31	65.3	62.1	2.776	2.718	0.913
December	38.1	28.20	6.99	42.8	40.5	1.869	1.829	0.937
Year	1382.8	666.42	14.48	1453.1	1398.2	58.803	57.585	0.869

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

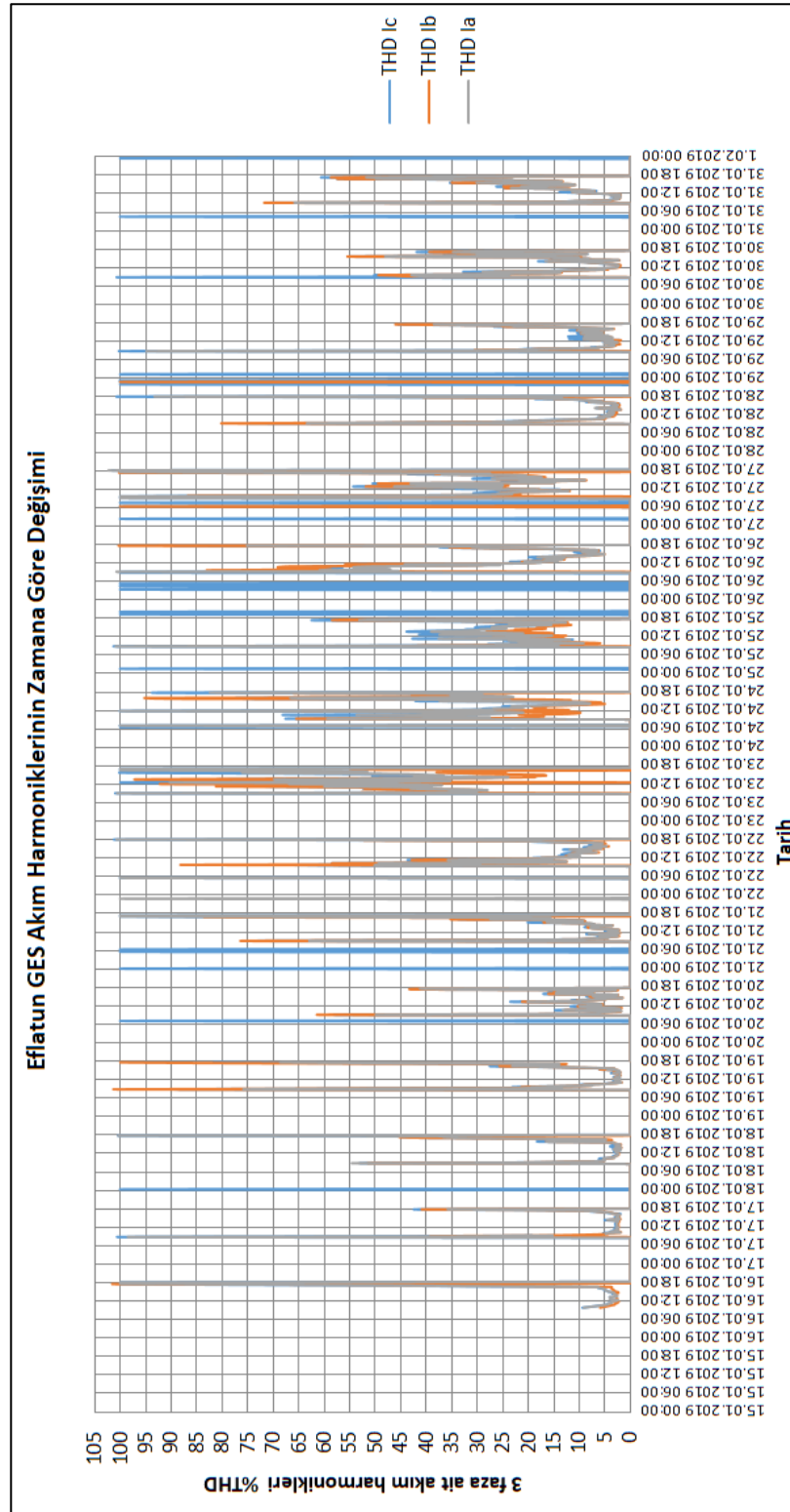
Şekil E.3: Aydın Dülger GES tesisi 9° eğim ve 16° azimut açısındaki benzetim raporu

EK F GES Tesislerine Ait Tek Hat Şeması

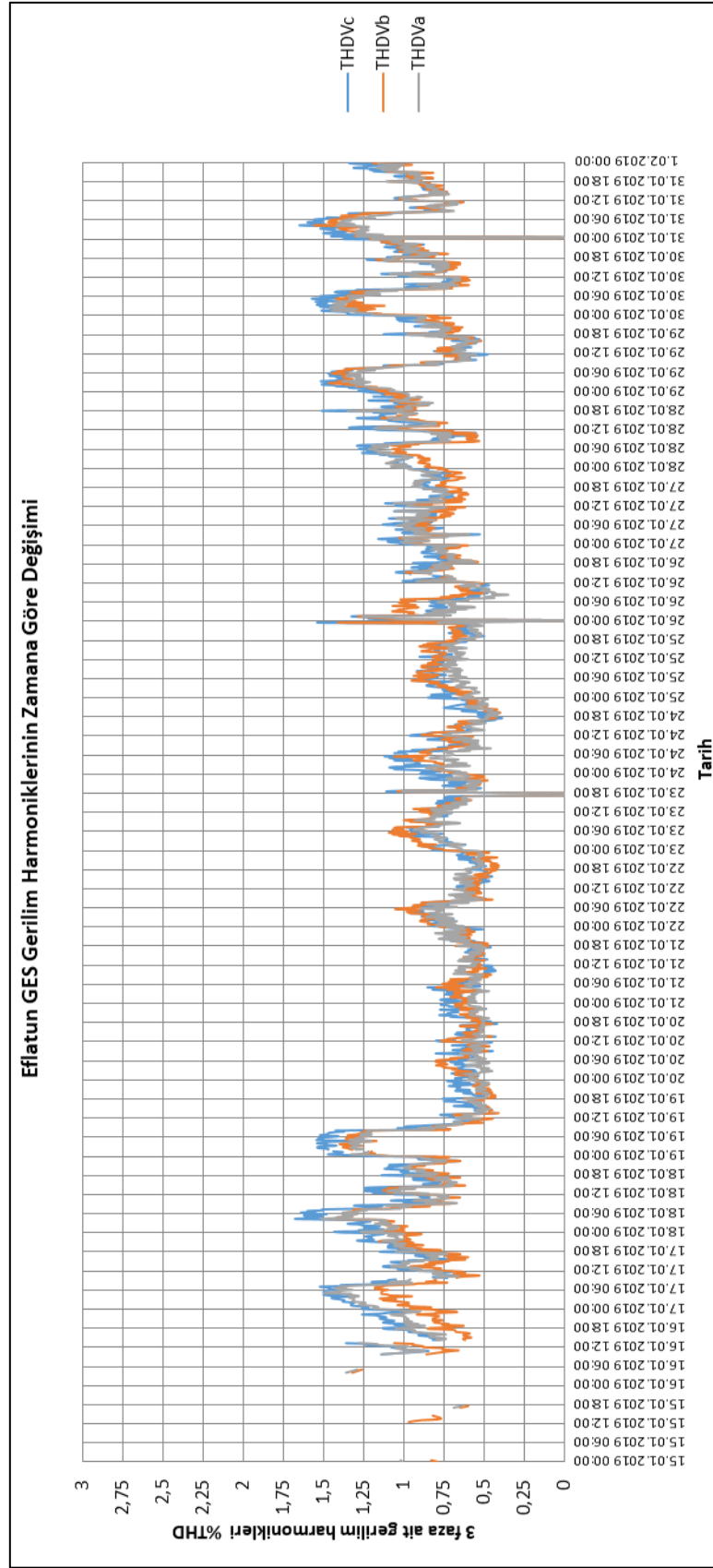


Şekil F.1: Eflatun GES tesisinin örnek tek hat şeması

EK G Eflatun GES Tesisinde 3 Faza Ait Harmonikler



Şekil G.1: Eflatun GES tesisinde 3 faza ait (I_A, I_B, I_C) akım harmoniklerinin zamana göre değişim grafiği



Şekil G.2: Eflatun GES tesisinde 3 faza ait (V_A, V_B, V_C) gerilim harmoniklerinin zamana göre değişim grafiği

EK H Eflatun GES Tesisinde Işınım ve Üretim Değerleri

Çizelge H.1: Eflatun GES tesisine ait saatlik ölçülen ışınım miktarı ve saatlik üretilen enerji miktarını gösterir tablo

Tarih-Saat	Işınım (W/m2)	Enerji (kWh)	Tarih-Saat	Işınım (W/m2)	Enerji (kWh)	Tarih-Saat	Işınım (W/m2)	Enerji (kWh)	Tarih-Saat	Işınım (W/m2)	Enerji (kWh)
15.01.2019 00:00	0	0	16.01.2019 00:00	0	0	17.01.2019 00:00	0	0	18.01.2019 00:00	0	0
15.01.2019 01:00	0	0	16.01.2019 01:00	0	0	17.01.2019 01:00	0	0	18.01.2019 01:00	0	0
15.01.2019 02:00	0	0	16.01.2019 02:00	0	0	17.01.2019 02:00	0	0	18.01.2019 02:00	0	0
15.01.2019 03:00	0	0	16.01.2019 03:00	0	0	17.01.2019 03:00	0	0	18.01.2019 03:00	0	0
15.01.2019 04:00	0	0	16.01.2019 04:00	0	0	17.01.2019 04:00	0	0	18.01.2019 04:00	0	0
15.01.2019 05:00	0	0	16.01.2019 05:00	0	0	17.01.2019 05:00	0	0	18.01.2019 05:00	0	0
15.01.2019 06:00	0	0	16.01.2019 06:00	0	0	17.01.2019 06:00	0	0	18.01.2019 06:00	0	0
15.01.2019 07:00	0	0	16.01.2019 07:00	0	0	17.01.2019 07:00	0	0	18.01.2019 07:00	0	0
15.01.2019 08:00	0	0	16.01.2019 08:00	0	0	17.01.2019 08:00	0	0	18.01.2019 08:00	0	0
15.01.2019 09:00	0,726	0	16.01.2019 09:00	66,494	7	17.01.2019 09:00	89,196	9	18.01.2019 09:00	98,033	12
15.01.2019 10:00	17,966	6	16.01.2019 10:00	377,589	209	17.01.2019 10:00	356,648	207	18.01.2019 10:00	362,444	216
15.01.2019 11:00	11,983	28	16.01.2019 11:00	594,011	522	17.01.2019 11:00	435,944	475	18.01.2019 11:00	582,511	526
15.01.2019 12:00	29,145	15	16.01.2019 12:00	743,38	724	17.01.2019 12:00	735,41	691	18.01.2019 12:00	734,922	730
15.01.2019 13:00	52,146	32	16.01.2019 13:00	822,05	834	17.01.2019 13:00	810,551	835	18.01.2019 13:00	816,394	837
15.01.2019 14:00	32,374	26	16.01.2019 14:00	822,922	861	17.01.2019 14:00	815,989	861	18.01.2019 14:00	822,256	861
15.01.2019 15:00	27,506	32	16.01.2019 15:00	717,994	800	17.01.2019 15:00	730,18	801	18.01.2019 15:00	743,367	807
15.01.2019 16:00	24,626	22	16.01.2019 16:00	573,547	647	17.01.2019 16:00	573,449	665	18.01.2019 16:00	167,6	387
15.01.2019 17:00	14,433	16	16.01.2019 17:00	79,567	305	17.01.2019 17:00	348,36	427	18.01.2019 17:00	60,278	209
15.01.2019 18:00	0,128	1	16.01.2019 18:00	19,324	23	17.01.2019 18:00	56,605	111	18.01.2019 18:00	10,711	24
15.01.2019 19:00	0	0	16.01.2019 19:00	0	1	17.01.2019 19:00	0	0	18.01.2019 19:00	0	0
15.01.2019 20:00	0	0	16.01.2019 20:00	0	0	17.01.2019 20:00	0	0	18.01.2019 20:00	0	0
15.01.2019 21:00	0	0	16.01.2019 21:00	0	0	17.01.2019 21:00	0	0	18.01.2019 21:00	0	0
15.01.2019 22:00	0	0	16.01.2019 22:00	0	0	17.01.2019 22:00	0	0	18.01.2019 22:00	0	0
15.01.2019 23:00	0	0	16.01.2019 23:00	0	0	17.01.2019 23:00	0	0	18.01.2019 23:00	0	0

Tarih-Saat	Işınım (W/m2)	Enerji (kWh)	Tarih-Saat	Işınım (W/m2)	Enerji (kWh)	Tarih-Saat	Işınım (W/m2)	Enerji (kWh)	Tarih-Saat	Işınım (W/m2)	Enerji (kWh)
19.01.2019 00:00	0	0	20.01.2019 00:00	0	0	21.01.2019 00:00	0	0	22.01.2019 00:00	0	0
19.01.2019 01:00	0	0	20.01.2019 01:00	0	0	21.01.2019 01:00	0	0	22.01.2019 01:00	0	0
19.01.2019 02:00	0	0	20.01.2019 02:00	0	0	21.01.2019 02:00	0	0	22.01.2019 02:00	0	0
19.01.2019 03:00	0	0	20.01.2019 03:00	0	0	21.01.2019 03:00	0	0	22.01.2019 03:00	0	0
19.01.2019 04:00	0	0	20.01.2019 04:00	0	0	21.01.2019 04:00	0	0	22.01.2019 04:00	0	0
19.01.2019 05:00	0	0	20.01.2019 05:00	0	0	21.01.2019 05:00	0	0	22.01.2019 05:00	0	0
19.01.2019 06:00	0	0	20.01.2019 06:00	0	0	21.01.2019 06:00	0	0	22.01.2019 06:00	0	0
19.01.2019 07:00	0	0	20.01.2019 07:00	0	0	21.01.2019 07:00	0	0	22.01.2019 07:00	0	0
19.01.2019 08:00	0	0	20.01.2019 08:00	0	0	21.01.2019 08:00	0	0	22.01.2019 08:00	0	0
19.01.2019 09:00	47,667	10	20.01.2019 09:00	34,5	6	21.01.2019 09:00	20,151	4	22.01.2019 09:00	7,402	0
19.01.2019 10:00	261,933	167	20.01.2019 10:00	340,961	196	21.01.2019 10:00	214,173	115	22.01.2019 10:00	30,083	15
19.01.2019 11:00	537,189	356	20.01.2019 11:00	433,656	344	21.01.2019 11:00	200,883	272	22.01.2019 11:00	55,633	45
19.01.2019 12:00	396,567	565	20.01.2019 12:00	189,244	359	21.01.2019 12:00	592,777	415	22.01.2019 12:00	138,467	84
19.01.2019 13:00	773,928	724	20.01.2019 13:00	160,806	208	21.01.2019 13:00	204,469	347	22.01.2019 13:00	164,878	196
19.01.2019 14:00	758,078	777	20.01.2019 14:00	244,168	182	21.01.2019 14:00	199,888	187	22.01.2019 14:00	184,183	214
19.01.2019 15:00	781,95	617	20.01.2019 15:00	205,744	393	21.01.2019 15:00	123,611	159	22.01.2019 15:00	182,889	212
19.01.2019 16:00	165,011	384	20.01.2019 16:00	175,356	229	21.01.2019 16:00	95,592	119	22.01.2019 16:00	325,944	274
19.01.2019 17:00	84,617	111	20.01.2019 17:00	282,517	178	21.01.2019 17:00	25,339	76	22.01.2019 17:00	276,639	298
19.01.2019 18:00	7,272	19	20.01.2019 18:00	5,828	29	21.01.2019 18:00	4,376	4	22.01.2019 18:00	44,778	86
19.01.2019 19:00	0	0	20.01.2019 19:00	0	0	21.01.2019 19:00	0	0	22.01.2019 19:00	0	1
19.01.2019 20:00	0	0	20.01.2019 20:00	0	0	21.01.2019 20:00	0	0	22.01.2019 20:00	0	0
19.01.2019 21:00	0	0	20.01.2019 21:00	0	0	21.01.2019 21:00	0	0	22.01.2019 21:00	0	0
19.01.2019 22:00	0	0	20.01.2019 22:00	0	0	21.01.2019 22:00	0	0	22.01.2019 22:00	0	0
19.01.2019 23:00	0	0	20.01.2019 23:00	0	0	21.01.2019 23:00	0	0	22.01.2019 23:00	0	0

Çizelge H.1: Eflatun GES tesisine ait saatlik ölçülen ışınım miktarı ve saatlik üretilen enerji miktarını gösterir tablo (devam)

Tarih-Saat	Işınım (W/m ²)	Enerji (kWh)	Tarih-Saat	Işınım (W/m ²)	Enerji (kWh)	Tarih-Saat	Işınım (W/m ²)	Enerji (kWh)	Tarih-Saat	Işınım (W/m ²)	Enerji (kWh)
23.01.2019 00:00	0	0	24.01.2019 00:00	0	0	25.01.2019 00:00	0	0	26.01.2019 00:00	0	0
23.01.2019 01:00	0	0	24.01.2019 01:00	0	0	25.01.2019 01:00	0	0	26.01.2019 01:00	0	0
23.01.2019 02:00	0	0	24.01.2019 02:00	0	0	25.01.2019 02:00	0	0	26.01.2019 02:00	0	0
23.01.2019 03:00	0	0	24.01.2019 03:00	0	0	25.01.2019 03:00	0	0	26.01.2019 03:00	0	0
23.01.2019 04:00	0	0	24.01.2019 04:00	0	0	25.01.2019 04:00	0	0	26.01.2019 04:00	0	0
23.01.2019 05:00	0	0	24.01.2019 05:00	0	0	25.01.2019 05:00	0	0	26.01.2019 05:00	0	0
23.01.2019 06:00	0	0	24.01.2019 06:00	0	0	25.01.2019 06:00	0	0	26.01.2019 06:00	0	0
23.01.2019 07:00	0	0	24.01.2019 07:00	0	0	25.01.2019 07:00	0	0	26.01.2019 07:00	0	0
23.01.2019 08:00	0	0	24.01.2019 08:00	0	0	25.01.2019 08:00	0	0	26.01.2019 08:00	0	0
23.01.2019 09:00	10,283	1	24.01.2019 09:00	5,514	0	25.01.2019 09:00	30,257	8	26.01.2019 09:00	12,378	2
23.01.2019 10:00	55,044	44	24.01.2019 10:00	75,48	56	25.01.2019 10:00	232,547	124	26.01.2019 10:00	33,928	29
23.01.2019 11:00	35,494	44	24.01.2019 11:00	92,939	83	25.01.2019 11:00	81	105	26.01.2019 11:00	31,67	32
23.01.2019 12:00	23,6	26	24.01.2019 12:00	35,279	92	25.01.2019 12:00	93,861	81	26.01.2019 12:00	87,905	64
23.01.2019 13:00	37,956	34	24.01.2019 13:00	98,553	99	25.01.2019 13:00	95,911	87	26.01.2019 13:00	130,849	132
23.01.2019 14:00	33,95	29	24.01.2019 14:00	214,728	157	25.01.2019 14:00	59,078	71	26.01.2019 14:00	82,989	108
23.01.2019 15:00	56,139	65	24.01.2019 15:00	72,15	174	25.01.2019 15:00	70,86	76	26.01.2019 15:00	297,883	263
23.01.2019 16:00	37,661	42	24.01.2019 16:00	25,178	62	25.01.2019 16:00	138,354	102	26.01.2019 16:00	288,095	275
23.01.2019 17:00	18,839	24	24.01.2019 17:00	47,378	50	25.01.2019 17:00	63,792	84	26.01.2019 17:00	73,828	138
23.01.2019 18:00	1,922	0	24.01.2019 18:00	17,772	32	25.01.2019 18:00	10,455	23	26.01.2019 18:00	7,694	28
23.01.2019 19:00	0	0	24.01.2019 19:00	0	0	25.01.2019 19:00	0	0	26.01.2019 19:00	0	0
23.01.2019 20:00	0	0	24.01.2019 20:00	0	0	25.01.2019 20:00	0	0	26.01.2019 20:00	0	0
23.01.2019 21:00	0	0	24.01.2019 21:00	0	0	25.01.2019 21:00	0	0	26.01.2019 21:00	0	0
23.01.2019 22:00	0	0	24.01.2019 22:00	0	0	25.01.2019 22:00	0	0	26.01.2019 22:00	0	0
23.01.2019 23:00	0	0	24.01.2019 23:00	0	0	25.01.2019 23:00	0	0	26.01.2019 23:00	0	0

Tarih-Saat	Işınım (W/m ²)	Enerji (kWh)	Tarih-Saat	Işınım (W/m ²)	Enerji (kWh)	Tarih-Saat	Işınım (W/m ²)	Enerji (kWh)	Tarih-Saat	Işınım (W/m ²)	Enerji (kWh)	Tarih-Saat	Işınım (W/m ²)	Enerji (kWh)
27.01.2019 00:00	0	0	28.01.2019 00:00	0	0	29.01.2019 00:00	0	0	30.01.2019 00:00	0	0	31.01.2019 00:00	0	0
27.01.2019 01:00	0	0	28.01.2019 01:00	0	0	29.01.2019 01:00	0	0	30.01.2019 01:00	0	0	31.01.2019 01:00	0	0
27.01.2019 02:00	0	0	28.01.2019 02:00	0	0	29.01.2019 02:00	0	0	30.01.2019 02:00	0	0	31.01.2019 02:00	0	0
27.01.2019 03:00	0	0	28.01.2019 03:00	0	0	29.01.2019 03:00	0	0	30.01.2019 03:00	0	0	31.01.2019 03:00	0	0
27.01.2019 04:00	0	0	28.01.2019 04:00	0	0	29.01.2019 04:00	0	0	30.01.2019 04:00	0	0	31.01.2019 04:00	0	0
27.01.2019 05:00	0	0	28.01.2019 05:00	0	0	29.01.2019 05:00	0	0	30.01.2019 05:00	0	0	31.01.2019 05:00	0	0
27.01.2019 06:00	0	0	28.01.2019 06:00	0	0	29.01.2019 06:00	0	0	30.01.2019 06:00	0	0	31.01.2019 06:00	0	0
27.01.2019 07:00	0	0	28.01.2019 07:00	0	0	29.01.2019 07:00	0	0	30.01.2019 07:00	0	0	31.01.2019 07:00	0	0
27.01.2019 08:00	0	0	28.01.2019 08:00	0	0	29.01.2019 08:00	0	0	30.01.2019 08:00	0	0	31.01.2019 08:00	0	0
27.01.2019 09:00	6,417	0	28.01.2019 09:00	8,905	1	29.01.2019 09:00	26,844	7	30.01.2019 09:00	19,044	4	31.01.2019 09:00	14,672	2
27.01.2019 10:00	46,572	25	28.01.2019 10:00	86,249	55	29.01.2019 10:00	223,022	137	30.01.2019 10:00	78,506	51	31.01.2019 10:00	350,162	167
27.01.2019 11:00	80,072	91	28.01.2019 11:00	276,25	208	29.01.2019 11:00	312,289	351	30.01.2019 11:00	120,196	105	31.01.2019 11:00	459,283	518
27.01.2019 12:00	84,944	122	28.01.2019 12:00	630,911	488	29.01.2019 12:00	322,106	427	30.01.2019 12:00	557,222	365	31.01.2019 12:00	379,48	430
27.01.2019 13:00	48,083	60	28.01.2019 13:00	864,3	801	29.01.2019 13:00	246,2	289	30.01.2019 13:00	851,311	846	31.01.2019 13:00	147,134	157
27.01.2019 14:00	53,739	62	28.01.2019 14:00	752,587	768	29.01.2019 14:00	202,811	287	30.01.2019 14:00	108,106	281	31.01.2019 14:00	46,676	90
27.01.2019 15:00	119,506	110	28.01.2019 15:00	610,539	580	29.01.2019 15:00	189,383	180	30.01.2019 15:00	251,756	236	31.01.2019 15:00	98,626	82
27.01.2019 16:00	119,14	103	28.01.2019 16:00	414,275	555	29.01.2019 16:00	292,022	236	30.01.2019 16:00	43,839	62	31.01.2019 16:00	51,017	65
27.01.2019 17:00	60,739	84	28.01.2019 17:00	170,478	221	29.01.2019 17:00	65,289	142	30.01.2019 17:00	38,728	55	31.01.2019 17:00	28,922	48
27.01.2019 18:00	29,694	23	28.01.2019 18:00	49,217	83	29.01.2019 18:00	6,733	24	30.01.2019 18:00	6,419	28	31.01.2019 18:00	6,197	13
27.01.2019 19:00	0	2	28.01.2019 19:00	0	1	29.01.2019 19:00	0	0	30.01.2019 19:00	0	0	31.01.2019 19:00	0	0
27.01.2019 20:00	0	0	28.01.2019 20:00	0	0	29.01.2019 20:00	0	0	30.01.2019 20:00	0	0	31.01.2019 20:00	0	0
27.01.2019 21:00	0	0	28.01.2019 21:00	0	0	29.01.2019 21:00	0	0	30.01.2019 21:00	0	0	31.01.2019 21:00	0	0
27.01.2019 22:00	0	0	28.01.2019 22:00	0	0	29.01.2019 22:00	0	0	30.01.2019 22:00	0	0	31.01.2019 22:00	0	0
27.01.2019 23:00	0	0	28.01.2019 23:00	0	0	29.01.2019 23:00	0	0	30.01.2019 23:00	0	0	31.01.2019 23:00	0	0