T.C
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİCLE ÜNİVERSİTESİ GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİNİN PERFORMANS ANALİZİ

Cem HAYDAROĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR
Haziran-2017

T.C

DİCLE UNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

DİYARBAKIR

Cem HAYDAROĞLU tarafından yapılan "Dicle Üniversitesi Güneş Enerjisi Santralinin Performans Analizi" konulu bu çalışma, jürimiz tarafından Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyesinin

Ünvanı Adı Soyadı

Başkan: Prof. Dr. İbrahim KAYA

Üye : Yrd. Doç. Dr. M. Bilal GÜMÜŞ

Üye : Yrd. Doç. Dr. M. Temel ÖZDEMİR

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 19/06/2017

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../...../20

Doç.Dr.Sevtap SÜMER EKER

ENSTİTÜ MÜDÜR V.

(MÜHÜR)

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması süresince her anlamda yardımını hiçbir zaman esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Bu tez çalışması süresince her anlamda yardımını, bilimsel katkılarını ve tecrübelerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Bilal GÜMÜŞ'e teşekkür ederim

Bu tez çalışması süresince her anlamda yardımını ve tecrübelerini hiçbir zaman esirgemeyen Arş. Gör. Dr. Hüseyin ERDOĞAN'a, Arş. Gör. Hüseyin ACAR'a, Arş. Gör. Gökmen ÖZTÜRKMEN'e ve Yüksek Mühendis Ertuğrul GÜL'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

		Sayfa
TEŞEKKÜR……		I
İÇİNDEKİLER…….....		II
ÖZET…….....		IV
ABSTRACT…….....		V
ÇİZELGE LİSTESİ…….....		VI
ŞEKİL LİSTESİ…….....		VII
KISALTMA VE SİMGELER……		X
1.	**GİRİŞ**…….....	1
1.1.	Genel Bilgi……...	1
1.2.	Dünyada Güneş Enerjisi……...	6
1.3.	Türkiye'de Güneş Enerjisi……...	11
1.4.	Diyarbakır İlinin Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanımı…...	14
1.5.	Tezin Amacı……	17
1.6.	Tezin Yapısı……	19
2.	**KAYNAK ÖZETLERİ**……..	21
3.	**MATERYAL ve METOT**……..	33
3.1.	Güneş Enerjisi……..	33
3.2.	Güneş Açıları……...	34
3.3.	Fotovoltaik Güneş Panelleri……	40
3.3.1.	Kristal Silisyum Fotovoltaik Güneş Panelleri……	41
3.3.2.	İnce Film Fotovoltaik Güneş Panelleri……	42
3.3.3.	Yeni Nesil Fotovoltaik Güneş Panelleri……	42
3.4.	Güneş Enerji Santrallerinde Kullanılan İnverterler……	43
3.5.	IEC 61724 Standart Performans Parametreleri……	44
3.6.	Güneş Simülasyon Programları……	45
3.6.1.	HOMER……...	46

3.6. 2. PVsyst..... 46
3.6.3. PV*SOL..... 47
3.6.4. BLUESOL..... 47
3.6.5. PVGIS..... 47
3.6.6. Solar Advisor Model (SAM)..... 48
3.7. Dicle Üniversitesi Güneş Enerji Santrali..... 48
3.8. Dicle Üniversitesi Güneş Enerji Santrali İzleme Programı..... 50
4. BULGULAR VE TARTIŞMA..... 53
4.1. PVsyst Simülasyon Programları Sonuçları..... 53
4.2. Deneysel Analiz Sonuçları..... 59
4.3. Üretim Sonuçları ile Farklı Simülasyon Programlarından Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması..... 78
4.4 Dicle Üniversitesi Güneş Enerji Santrali Maliyet Analizi..... 79
5. SONUÇ VE ÖNERİLER..... 83
6. KAYNAKLAR..... 85
ÖZGEÇMİŞ..... 95

ÖZET

DİCLE ÜNİVERSİTESİ GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİNİN PERFORMANS ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cem HAYDAROĞLU

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2017

Fosil yakıtların çevresel zararlı etkileri nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, özellikle elektrik üretiminde hızla artmaktadır. 2015 yılının Aralık ayında Paris'te yapılan Birleşmiş Milletler İklim Zirvesinde küresel ısınmanın 2°C'nin altında tutulması için eylem palanının uygulanması kabul edilmiştir. Bu eylem planı içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı önemli bir yer tutmaktadır. Lisansız elektrik üretim yönetmeliğinin yürürlüğe girmesinden sonra Türkiye'de de özellikle güneş enerjisinden fotovoltaik yolla elektrik üreten sistemlerin kurulumu hızla artmaktadır.

Güneş enerjisinden elektrik üretim analizlerinin sağlıklı yapılabilmesi için, kurulu ve işletmede olan güneş enerjisi santrallerinden alınan veriler büyük bir öneme sahiptir. Kurulumu yapılmış, gerçek atmosferik koşullar altında çalışan santrallerden alınan bu verilerinin analizi ile elde edilecek enerji ve santral performansı hakkında bilgi sahibi olunabilecektir. Bu veriler ışığında güneş enerjisi santralleri için kurulacak bölgeye özgü tasarım kriterlerinin elde edilmesi mümkün olabilecektir. Fotovoltaik güneş enerji santrallerinin tasarımında ve analizinde simülasyon programlarının kullanımı oldukça önemlidir. PVsyst simülasyon programı, fotovoltaik sistem simülasyonu için sunduğu araçlar ile detaylı analiz için bu programlar içerisinde öne çıkmaktadır.

Bu çalışmada Dicle Üniversitesi bünyesinde tanıtım, eğitim, üretim ve analiz yapabilmek amacıyla kurulmuş olan 250 kWp'lik güneş enerji santralinin simülasyonu PVsyst V6.39 simülasyon programı ile yapılmış ve IEC 61724 standardında belirtilen performans kriterlerine uygun olarak performansı analiz edilmiştir. Yapılan bu analizle, Güneşten elektrik enerjisi üretiminde etkili olan gölgelenme, kurulum açısı, panel verimliliği gibi parametrelerin üretilen enerji miktarına etkisi de belirlenmiştir. Aynı zamanda santralin bir yıllık üretim değerleri simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Global güneş ışınımı, Fotovoltaik güneş enerji santralleri, IEC 61274

ABSTRACT

PERFORMANCE ANALYSIS OF DICLE UNIVERSITY SOLAR POWER PLANT

MsC THESIS

Cem HAYDAROĞLU

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF DICLE

2017

Due to the environmental harmful effects of fossil fuels, the use of renewable energy sources is increasing rapidly, especially in electricity generation. At the United Nations Climate Summit in Paris in December 2015, it was agreed that the action plan should be implemented to keep global warming below 2 ° C. The use of renewable energy resources is an important part of this action plan. After the licensed power generation regulations come into effect, the installation of systems that generate electricity from solar energy, especially solar energy, is increasing rapidly in Turkey.

In order to make the analysis of electricity generation from solar energy correctly, the data from the solar power plants installed and operated has a great precaution. It will be possible to have information about the energy and plant performance to be obtained by analyzing these data obtained from plants that have been installed and operated under real atmospheric conditions. It may be possible to obtain site-specific design criteria for solar energy power plants in this data light. The use of simulation programs is very important in the design and analysis of photovoltaic solar power plants. The PVsyst simulation program stands out among these programs for detailed analysis with tools for photovoltaic system simulation.

In this study, simulation of a 250 kWp solar power plant established for the purpose of presentation, training, production and analysis within the Dicle University was carried out by simulation program of PVsyst V6.39 and its performance was analyzed in accordance with the performance criteria specified in IEC 61724 standard. With this analysis, parameters such as shadows, angle of installation and panel efficiency, which are effective in the production of electricity from the sun, have been determined to have an effect on the amount of energy produced. At the same time, the annual production values of the plant are compared with the simulation results.

Keywords: Global solar radiation, sunshine duration, PV power plant, IEC 61724

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No		Sayfa
Çizelge 1.1.	2016 Yılı Temmuz Ayı Sonu İtibariyle Lisanslı Elektrik Kurulu Gücünün Kaynak Bazında Değişimi	5
Çizelge 1.2.	2016 Yılı Elektrik Tüketimin Tüketici Türü Bazında Dağılımı	6
Çizelge 1.3.	Türkiye Yıllık Güneş Enerjisi ve Güneşlenme Süreleri Değişimi	12
Çizelge 1.4.	Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerji Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı	15
Çizelge 1.5.	Diyarbakır'da Kurulan Güneş Enerji Santralleri	17
Çizelge 3.1.	Viessman Vitovolt 300 Panel Etiket Değerleri	49
Çizelge 4.1.	Simülasyondan elde edilen Aylara göre ışıma, enerji ve ortalama sıcaklık değerleri	54
Çizelge 4.2.	Performans oranının aylara göre değişimi	58
Çizelge 4.3.	Ölçülen meteorolojik verilerin aylara göre değişimi	59
Çizelge 4.4.	PV ekipmanlarının yatırım tutarı içindeki oranları	79
Çizelge 4.5.	Yenilenebilir enerji sistemleri için teşvikler	80
Çizelge 4.6.	Mali analiz hesaplamalarında kullanılan kısaltmaların listesi	80

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No		Sayfa
Şekil 1.1.	2015 Yılı Dünya Enerjisinin Karşılanma Kaynakları	1
Şekil 1.2.	2015 Yılı Sonu İtibariyle Dünya Yenilenebilir Enerji Kapasitesi	4
Şekil 1.3.	Dünya Güneş Işınım Haritası	6
Şekil 1.4.	2005-2015 Yılları İtibariyle Ülkelerin Solar PV Kapasiteleri Değişimi	7
Şekil 1.5.	2015 Yılı İtibariyle Solar PV Kapasitesi ve İlavesinde 10 Ülke	8
Şekil 1.6.	2015 Yılında solar PV kapasitelerini en çok arttıran ülkeler ve kapasite artış miktarları	9
Şekil 1.7.	Ülkelerin Kollektör Tiplerine Bağlı Olarak Solar Termal Kapasiteleri ve 2014/2015 yılı Büyüme Karşılaştırılması	10
Şekil 1.8.	Güneş Enerjisi Isıtıcı Kollektörleri Küresel Kapasite, İlk 12 Ülkenin Payları ve Dünyadaki Diğer Bölgeler, 2014	11
Şekil 1.9.	Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli Atlası	12
Şekil 1.10.	Türkiye'nin Ortalama Global Radyasyon ve Güneşlenme Süresinin Aylara Göre Değişimi	12
Şekil 1.11.	Türkiye'de farklı PV Tipleri ile Farklı Alan Büyüklüklülerinde Üretilebilecek Enerji Miktarı (kWh-yıl)	13
Şekil 1.12.	2016 Yılı Temmuz Ayı Sonu İtibariyle Lisanssız Elektrik Kurulu Gücünün Kaynaklara Göre Dağılımı	14
Şekil 1.13.	Diyarbakır İçin Güneş Radyasyonu Atlası	15
Şekil 1.14.	Diyarbakır İli Ortalama Global Radyasyon Değerleri ve Güneşlenme Süreleri	16
Şekil 1.15.	Diyarbakır Üniversitesi Güneş Enerji Santrali	18
Şekil 3.1.	Dünyamızın Şekli	35
Şekil 3.2.	Saat Açıları	36
Şekil 3.3.	Zenit Açısı	36
Şekil 3.4.	Diyarbakır Üniversitesi Güneş Enerji Santrali Genel Bağlantı Konfigürasyonu	50
Şekil 3.5.	Aurora Vision programında günlük olarak üretilen enerji gösterimine bir örnek	51

Şekil 3.6. Aurora Vision programında aylık üretim değerlerinin gösterilmesi 51

Şekil 3.7. İnverter Bazlı Üretilen Günlük Enerjilerin izlenmesi 55

Şekil 3.8. Güneş Ölçüm İstasyonun Yandan Görünüşü 52

Şekil 4.1. PVsyst Sisteme Ait Kayıp Diyagramı 53

Şekil 4.2. Referans Verimin Aylara Göre Değişimi 55

Şekil 4.3. Dize Verimin Aylara Göre Değişimi 55

Şekil 4.4. Nihai Verimin Aylara Göre Değişimi 56

Şekil 4.5. Günlük nihai verim, dize ve sistem kayıplarının aylara göre değişimi 56

Şekil 4.6. Performans oranının aylara göre değişimi 57

Şekil 4.7. 2015 Aralık ayı için toplam ışıma ve üretilen güç değerlerinin gün içerisindeki değişimi 60

Şekil 4.8. 2015 Aralık ayı için üretilen enerjinin global ışıma ve sıcaklığa göre değişimi 61

Şekil 4.9. 2016 Ocak ayı için toplam ışıma ve üretilen güç değerlerinin gün içerisindeki değişimi 61

Şekil 4.10. 2016 Ocak ayı için üretilen enerjinin global ışıma ve sıcaklığa göre değişimi 62

Şekil 4.11. 2016 Şubat ayı için toplam ışıma ve üretilen güç değerlerinin gün içeresindeki değişimi 63

Şekil 4.12. 2016 Şubat ayı için üretilen enerjinin global ışıma ve sıcaklığa göre değişimi 64

Şekil 4.13. 2016 Mart ayı için toplam ışıma ve üretilen güç değerlerinin gün içerisindeki değişimi 64

Şekil 4.14. 2016 Mart ayı için üretilen enerjinin global ışıma ve sıcaklığa göre değişimi 65

Şekil 4.15. 2016 Nisan ayı için toplam ışıma ve üretilen güç değerlerinin gün içerisindeki değişimi 66

Şekil 4.16. 2016 Nisan ayı için üretilen enerjinin global ışıma ve sıcaklığa göre değişimi 67

Şekil 4.17. 2016 Mayıs ayı için toplam ışıma ve üretilen güç değerlerinin gün içerisindeki değişimi 67

Şekil 4.18. 2016 Mayıs ayı için üretilen enerjinin global ışıma ve sıcaklığa göre değişimi 68

Şekil 4.19. 2016 Haziran ayı için toplam ışıma ve üretilen güç değerlerinin gün içerisindeki değişimi 69

Şekil 4.20. 2016 Haziran ayı için üretilen enerjinin global ışıma ve sıcaklığa göre değişimi 69

Şekil 4.21. 2016 Temmuz ayı için toplam ışıma ve üretilen güç değerlerinin gün içerisindeki değişimi 70

Şekil 4.22. 2016 Temmuz ayı için üretilen enerjinin global ışıma ve sıcaklığa göre değişimi 71

Şekil 4.23. 2016 Ağustos ayı için toplam ışıma ve üretilen güç değerlerinin gün içerisindeki değişimi 71

Şekil 4.24. 2016 Ağustos ayı için üretilen enerjinin global ışıma ve sıcaklığa göre değişimi 72

Şekil 4.25. 2016 Eylül ayı için toplam ışıma ve üretilen güç değerlerinin gün içerisindeki değişimi 73

Şekil 4.26. 2016 Eylül ayı için üretilen enerjinin global ışıma ve sıcaklığa göre değişimi 74

Şekil 4.27. 2016 Ekim ayı için toplam ışıma ve üretilen güç değerlerinin gün içerisindeki değişimi 74

Şekil 4.28. 2016 Ekim ayı için üretilen enerjinin global ışıma ve sıcaklığa göre değişimi 75

Şekil 4.29. 2016 Kasım ayı için toplam ışıma ve üretilen güç değerlerinin gün içerisindeki değişimi 76

Şekil 4.30. 2016 Kasım ayı için üretilen enerjinin global ışıma ve sıcaklığa göre değişimi 76

Şekil 4.31. 2016 Aralık ayı için toplam ışıma ve üretilen güç değerlerinin gün içerisindeki değişimi 77

Şekil 4.32. 2016 Aralık ayı için üretilen enerjinin global ışıma ve sıcaklığa göre değişimi 77

Şekil 4.33. Dicle Üniversitesi Güneş Enerji Santrali Üretim Değerleri ile Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması 78

KISALTMA VE SİMGELER

YEK : Yenilenebilir Enerji Kaynakları

SAM : Solar Advisor Model

CSP : Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi

EİE : Elektrik İşleri Etüt İdaresi

DMI : Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü

EPDK : Elektrik Piyasaları Denetleme Kurumu

EIC : Uluslararası Elektroteknik Komisyonu

I : Akım

V : Gerilim

P : Aktif Güç

Φ : Enlem Açısı

δ : Deklinasyon Açısı

ω : Saat Açısı

ψ : Zenit Açısı

α : Yükseklik Açısı

θ : Güneş Geliş Açısı

γ_s : Güneş Azimut Açısı

β : Enlem Açısı

H : Yataydaki Günlük Radyasonun Aylık Ortalması

H_D : Yataydaki Dağılan Radyasyonun Aylık Ortalması

R_b : Işın Radyasonun Aylık Ortalaması

H_T : Eğimli Yüzeydeki Günlük Radyasyonun Aylık Ortalaması

H_0 : Yatay Yüzeyde Aylık Ortalama Günlük Atmosfer Dışı Işınım

G_{SC} : Güneş Sabiti (=1367 W/m^2)

ρ : Yansıma Katsayısı

K_T : Aylık Ortalama Açıklık İndeksi

Y_R : Referans Verim

Y_A : Dize Verim

Y_F : Nihai Verim

PR : Performans Oranı

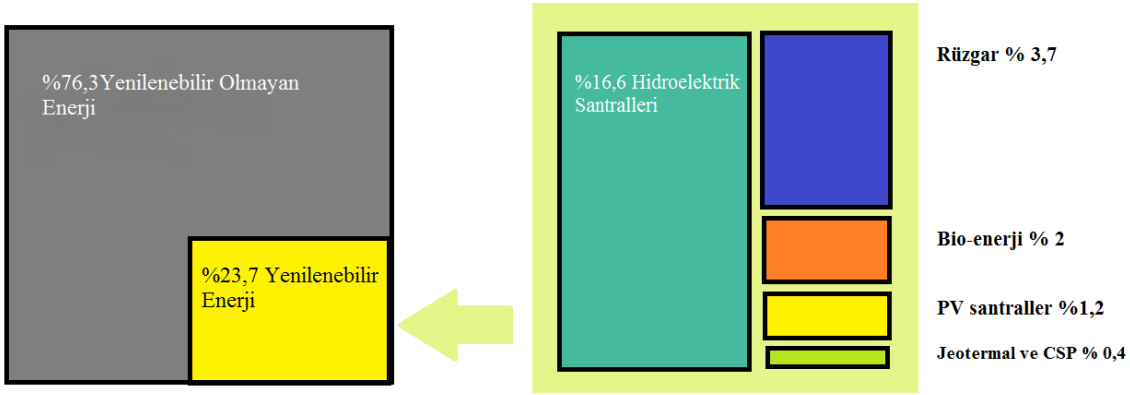
CF : Kapasite Faktörü

1. GİRİŞ

1.1. Genel Bilgi

Günümüzde gelişen teknolojiyle birlikte her alanda enerjiye duyulan bağımlılık giderek artmaktadır. Enerji, uygarlığımızın temel girdisi olup üretim ve tüketimi, kalkınma ve gelişmişlik düzeylerini ölçmede kullanılan en önemli parametrelerden biridir.

20. yüzyılın başından itibaren hızla gelişen teknoloji, enerji üretim ve tüketiminin hızlı bir şekilde artmasına neden olmuştur. Şekil 1.1 de görüldüğü gibi, dünya enerji talebinin %76,3'u yenilebilir olmayan fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Fosil kaynaklı enerji kaynaklarının tükenir olmasına ve çevre kirliliği oluşturmasına rağmen fiyatının ucuz olması, bu enerji kaynaklarının kullanılmasına öncelik tanımıştır. 2015 yılının Aralık ayında Paris'te yapılan Birleşmiş Milletler İklim Zirvesinde, küresel ısınmanın 2°C'nin altında tutulması için eylem planının uygulanması kabul edilmiştir (COP 2015).



Şekil 1.1. 2015 Yılı Dünya Enerjisinin Karşılanma Kaynakları

Bu eylem planı içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı önemli bir yer tutmaktadır. 2015 yılı boyunca G7, G20, Uluslararası çevre kuruluşları, dini liderlerin açıklamaları sonucunda yenilenebilir enerjiye, 2014 yılına göre büyük bir yatırım olmuştur. 2014 yılında yenilenebilir enerjiye 273 milyon dolar yatırım yapılırken 2015 yılında 285,9 milyon dolar yatırım yapılmıştır. Hidroelektrik enerji santralleri hariç dünyada 2014 yılında 665 GW olan kurulu yenilebilir enerji santralleri 2015 yılı sonu itibariyle 785 GW'a ulaşmıştır.

1. GİRİŞ

Paris'te yapılan Birleşmiş Milletler İklim Zirvesinde alınan kararlardan sonra 173 ülke yenilebilir enerji ile ilgili hedefler belirlemiş, bu ülkelerin 146'sı yenilebilir enerjiyi destekleyici politikaları benimsemiştir. Ayrıca Şehirler ve Belediyeler de Paris'te COP21 iklim müzakerelerinden sonra, mevcut enerjiyi verimli kullanmak ve yenilebilir enerji potansiyellerini değerlendirmek adına teşvikler belirlemişlerdir.

Dünya'da bu gelişmeler olurken, açıklanan verilere bağlı olarak 2015 yılı sonu itibari ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında yaşanan gelişmeler, farklı enerji türlerine göre aşağıda verilmiştir.

Biokütle enerjisi alanında gelişmeler incelendiğinde, 2015 yılında petrol fiyatlarındaki düşüşlere rağmen bazı ülkelerde, enerji talebini karşılamak için santral kurulumlarında düşük de olsa artış gözlenmiştir. Özellikle binalarda ve endüstriyel alanlarda kullanılan bio-ısıtma, 2014 yılında %3'ler seviyesindeyken, 2015 yılında özellikle Baltık denizi ve Doğu Avrupa'da, bu oran az da olsa artmıştır. Bio-enerji santral kapasiteleri, özellikle Çin, Japonya, Almanya ve ABD'de yıllık %8'lere kadar artmıştır (REN21 Global Status Report 2015).

2015 yılında Jeotermal Enerji santralleri ele alındığında, yaklaşık 315 MW'lık yeni kurulu güç ilavesiyle dünya toplamındaki kurulu güç 13,2 GW'a ulaşmıştır. Düşük petrol fiyatları ve diğer risklerden dolayı, jeotermal enerjiye destekler azalmıştır. Türkiye bu alanda yaklaşık dünya kapasitesinin yarısına sahiptir. Ancak yatırım yapan ülkeler arasında ilk beşte bile bulunmamaktadır (REN21 Global Status Report 2015).

2015 yılında yaklaşık olarak 28 GW gücünde yeni hidroelektrik santrali kurulmuştur. Toplam hidrolik güç kapasitesi 1064 GW'a ve yıllık üretim, 3940 TWh'e ulaşmıştır. En önemli kapasite artışı 16 GW ile Çin'de olmuştur. Ayrıca Brezilya, Türkiye, Hindistan, Vietnam, Malezya, Kanada ve Kolombiya'da da önemli kapasite artışları gözlenmiştir (REN21 Global Status Report 2015).

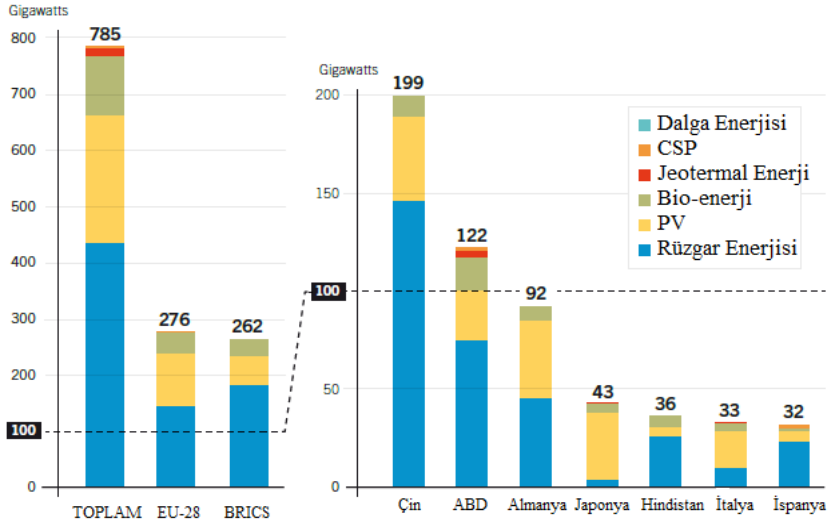
Okyanus enerji kapasitesi, çoğunlukla gelgit enerjisinden faydalanma üzerine kurulmuştur. 2015 yılında, bu alandaki kurulu güç yaklaşık 530 MW'a ulaşmıştır. Özellikle Avrupa sularında yapılan bir dizi başarılı çalışmalardan sonra 2015 yılında okyanus enerjisi teknolojisi, dalga enerjisi dönüşüm cihazlarının geliştirilmesinin ardından büyük bir aktivite kazanmıştır (REN21 Global Status Report 2015).

Rüzgâr enerjisi alanında, 2015 yılında Avrupa ve ABD başta olmak üzere yeni üretim tesisleri kurulmuştur. Bunlardan sonra en büyük gelişmeyi Çin sağlamıştır. Dünya genelinde 63 GW'lık yeni üretim tesisinin eklenmesiyle 2015 yılı sonunda kurulu güç 433 GW'a ulaşmıştır. OECD'ye üye olmayan ülkelerin de bu enerji üretim kaynağını kullanmasıyla, başta Çin olmak üzere Afrika, Asya ve Latin Amerika'da yeni pazarlar ortaya çıkmıştır. Ayrıca deniz üzerine kurulan rüzgâr santrallerinde, başlıcaları Avrupa'da olmak üzere dünya genelinde 3,4 GW'lık yeni üretim tesisinin işletmeye alınmasıyla kapasite 12 GW'a ulaşmıştır. Ayrıca 2015 yılında yenilenebilir enerji talebinin Danimarka %42'sini, Almanya %60'ını, Uruguay %15,5'ini rüzgâr enerjisi santrallerinden karşılamaktadır.(REN21 Global Status Report 2015).

Güneş enerji santralleri 2014 yılına göre %25 büyüme ile en çok gelişen yenilebilir enerji kaynağı olmuştur. 50 GW'lık yeni üretim tesisinin kurulmasıyla toplam kapasitesi 227 GW'a ulaşmıştır. Çin, ABD ve Japonya yıl içinde mevcut kapasitelerini en çok arttıran ülkeler olarak kayda geçmiştir. İtalya %7,8, Yunanistan %6,5, ve Almanya %6,4 ile mevcut enerji talebini, güneşten karşılayan ülkeler olarak dikkat çekmektedir. Ayrıca Hindistan başta olmak üzere Latin Amerika ve Ortadoğu da güneş santralleri bakımından büyük yatırımlar olmuştur (REN21 Global Status Report 2015).

CSP'de (Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi) 2015 yılında %10 büyüme görülmüştür. Fas (160 MW), Güney Afrika (150 MW) ve ABD'de (110 MW) yeni tesislerin devreye alınmasıyla mevcut kapasitesi 4,8 GW'a ulaşmıştır. CSP kapasitesi 2015 yılı sonunda, Fas'ta 350 MW, Güney Afrika'da 200 MW, İsrail'de 121 MW, Şili'de 110 MW, Suudi Arabistan'da 100 MW, Çin'de 50 MW ve Hindistan'da yapım aşamasında olmak üzere 25 MW'a ulaşmıştır. Ar-ge çalışmalarıyla CSP teknolojisinde gelişmeler meydana gelmiştir (REN21 Global Status Report 2015).

Güneş enerjisinden yararlanmanın başka bir yolu da termal ısıtma ve soğutma sistemlerinde kullanılmasıdır. 2014 yılına göre bu alanda, %6'lık bir artış olmuştur. Çin birçok sıcak su ısıtma tesisini devreye alarak, 2015 yılı içinde bu alanda %77 büyüme sağlamıştır. Türkiye, Brezilya, Hindistan ve ABD'nin yeni sıcak su ısıtma sistemlerini devreye almasıyla 2015 yılı içinde bu alanda 435 GW_{th} güç kapasitesiyle, 357 TWh ısı enerjisi sağlamak mümkün olmaktadır (REN21 Global Status Report 2015).



Şekil 1.2. 2015 sonu itibariyle Dünya Yenilenebilir Enerji Kapasitesi

Şekil 1.2'de gösterildiği üzere, 2015 yılı sonu itibariyle dünya yenilebilir enerji kurulu güç toplamı 147 GW'lık yeni santralin devreye alınmasıyla, 2014 yılına göre %9 artış ile 1849 GW'a (785 GW'lık YEK kurulu gücü, 1064 GW da hidroelektrik kurulu gücü) ulaşmıştır. Yeni kurulan rüzgâr ve güneş enerjisi santralleri, 2015 yılında kurulan tüm enerji santrallerinin % 77'sini oluşturmuştur. 2014 yılına göre hidroelektrik enerji santrallerinin kurulu gücü, %2,7'lik artış ile 1064 GW'a ulaşmıştır. Teknolojik gelişmeler, yeni kaynakların kullanılması, rekabet artışı ve finansman koşulları, özellikle rüzgâr ve güneş enerjisi santralleri için, maliyetleri azaltmıştır. Örneğin, rüzgâr enerjisi kullanımı, Kanada, Meksika, Yeni Zelanda, Güney Afrika, Türkiye, Avustralya, Çin ve ABD gibi ülkelerde 2015 yılında gelişmeye başlamış ve yeni pazarlar oluşmuştur. 2015 yılı itibariyle en büyük gelişme Çin'de olmuştur. Şekil 1.2'de görüldüğü üzere, 200 GW'lık YEK kurulu gücüne 296 GW'lık hidroelektrik enerjisi santrali kurulu gücü eklendiğinde, Çin'in toplam yenilenebilir enerji kapasitesi 496 GW'a ulaşmaktadır.

Dünya da yenilebilir enerji sistemlerinde bu geçişler olurken, EPDK'nın 2016 Ocak ayı elektrik piyasası raporuna göre; Türkiye'nin 2016 yılı Temmuz ayı sonu itibariyle, elektrik üretiminde kullanılan kurulu gücün, kaynaklara göre dağılımı, Çizelge 1.1'de gösterilmiştir. Bu çizelge incelendiğinde ülkemizde elektrik üretiminin büyük kısmında enerji kaynağı olarak fosil yakıtlar kullanıldığı görülmektedir.

Çizelge 1.1. 2016 Yılı Temmuz Ayı Sonu İtibariyle Lisanslı Elektrik Kurulu Gücünün Kaynak Bazında Dağılımı (MW)

Kaynak Türü	Kurulu Güç (MW)	Oran (%)
DOĞALGAZ	26 156.44	34.2
BARAJLI	19 385.89	25.35
LİNYİT	9 266.90	12.12
AKARSU	6 888.26	9.01
İTHAL KÖMÜR	6 779.85	8.87
RÜZGAR	5 064.10	6.62
FUEL OİL	779.49	1.02
JEOTERMAL	712.36	0.93
TAŞ KÖMÜRÜ	643.57	0.84
ASFALTİT	405	0.53
BİYOKÜTLE	360.57	0.47
NAFTA	16.87	0.02
LNG	11.95	0.02
MOTORİN	1.04	0
Genel Toplam	**76 472.29**	**100**

Türkiye'de birincil enerji tüketimi 2015 yılı verilerine göre 114 mtep (milyon ton petrol eşdeğeri) iken, artan nüfus ve gelişime bağlı olarak bu miktarın artacağı öngörülmektedir. EPDK'nın 2016 Temmuz ayı elektrik piyasası raporuna göre Çizelge 1.2 'de görüldüğü gibi tüketici türlerine bakıldığında, ilk sırada sanayi, ikinci sırada ise sanayiye oldukça yakın tüketim oranıyla, meskenler yer almaktadır. İkincil enerji kaynağı olan ve yıllar itibariyle düzenli olarak artış gösteren elektrik enerjisi tüketimi de, 2016 yılında 19.181.465,77 MWh'e ulaşmıştır. TMMOB Makine Mühendisleri Odası'nın hazırladığı 2015 Enerji Raporu'na göre son yıllarda enerji sektöründe sera gazı emisyonlarından en çok sorumlu olan sektör, elektrik enerjisi sektörüdür (Türkyılmaz 2015). Bu durum elektrik enerjisi üretiminde, tüm dünyada gittikçe artan oranda kullanılan, yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının, ülkemizde de hızla yaygınlaşması ve enerji politikası haline getirilmesindeki gerekliliği ortaya çıkarmaktadır.

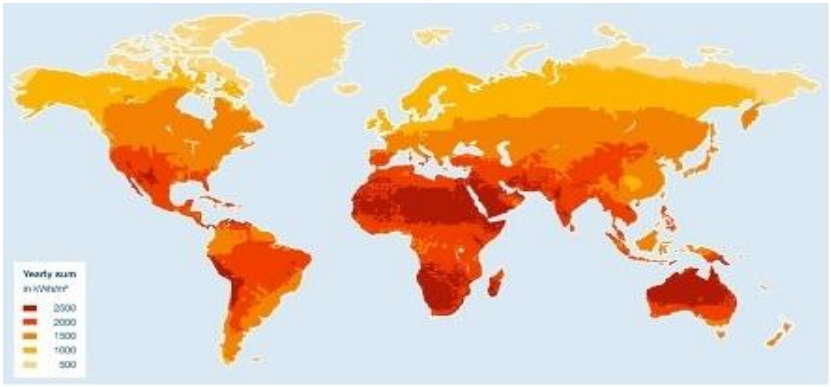
Çizelge 1.2. 2016 Yılı Elektrik Tüketiminin Tüketici Türü Bazında Dağılımı

Tüketici Türü	Tüketim Miktarı (MWh)	Oran (%)
Sanayi	6 994 818.45	36.47
Ticarethane	5 575 367.65	29.07
Mesken	4 585 973.32	23.91
Tarımsal Sulama	1 666 146.26	8.69
Aydınlatma	359 160.09	1.87
Genel Toplam	**19 181 465.77**	**100**

Türkiye ciddi oranda değerlendirilebilir, yenilenebilir enerji kaynaklarına sahiptir. Bu kaynaklar arasında, özellikle güneş ve rüzgâr enerjisi, öne çıkmaktadır. Güneş enerjisi; potansiyeli kullanım kolaylığı, temizliği, yenilenebilirliği ve çevre dostu olması gibi nedenler ile diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha kolay bir şekilde yaygınlaşabilecek durumdadır. Türkiye güneş enerjisi konusunda son derece elverişli bir konumda olmasına rağmen, sahip olduğu potansiyeli yeterince kullanmamaktadır.

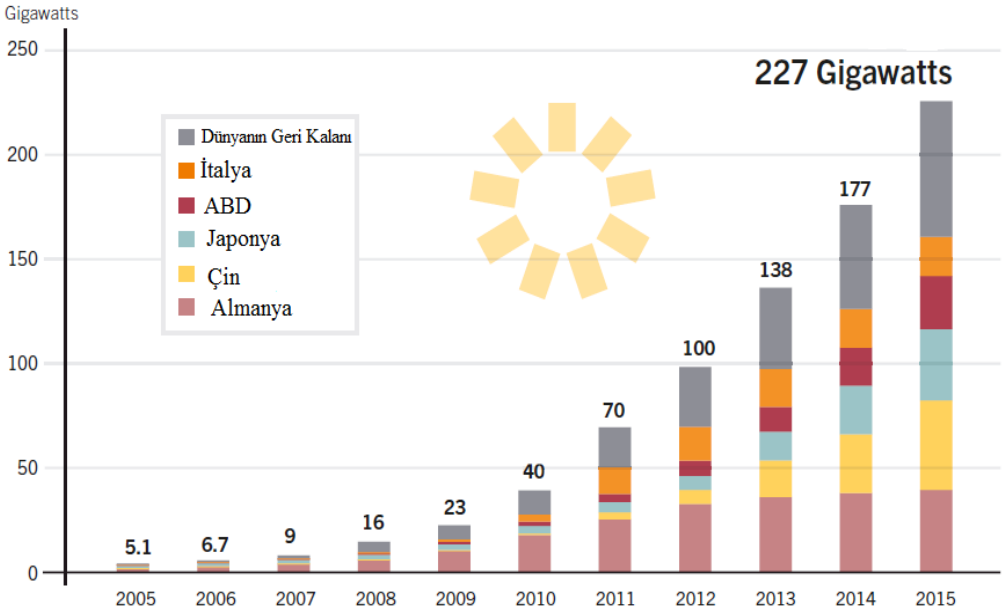
1.2. Dünyada Güneş Enerjisinin Durumu

Dünya'nın ana enerji kaynağı güneştir. Dünyaya bir günde güneşten gelen enerji miktarı, dünyanın günlük enerji tüketimin yaklaşık 15.000 katıdır. Dünya atmosferinin dışında global güneş ışınım değeri 1.367 Watt/m^2'dir. Dünyanın dönüşünden, güneş yörüngesinin asimetrik oluşundan ve atmosferin yapısından dolayı bu büyük miktardaki enerjinin tamamı yeryüzüne ulaşamamaktadır. Güneş enerjisinin göstergelerinden biri olan global güneş ışınım değerinin bir bölgedeki miktar ve kalitesi oraya yapılacak güneş enerjisi sistemleri için büyük önem taşımaktadır. Dünya'daki global güneş ışınımının (insolation) bölgelere göre dağılımı Şekil 1.3'de verilmektedir.



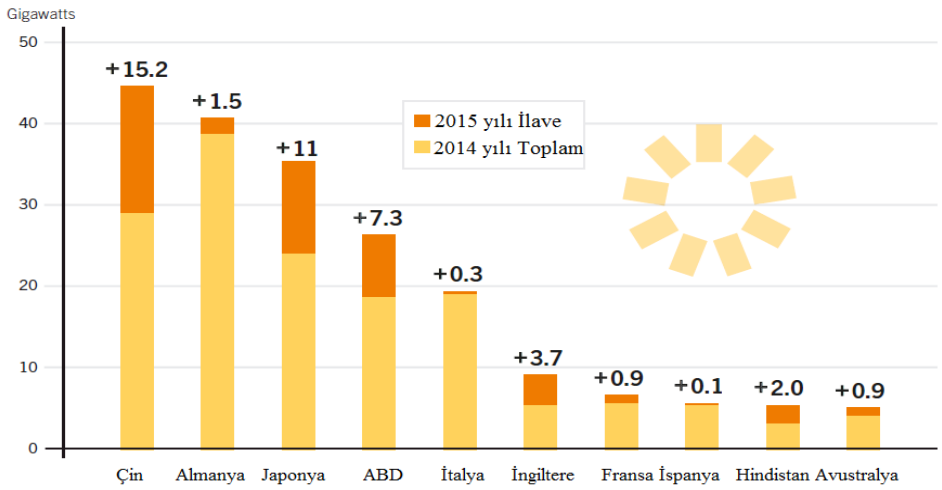
Şekil 1.3. Dünya Güneş Işınım Haritası

2015 yılı boyunca diğer sektörlerde olduğu gibi güneş enerji sektöründe de birçok gelişme, girişim ve yenilikle karşılaşılmıştır. Yıl boyunca 50 GW'dan daha fazla santral devreye alınmıştır. Buda dünya genelinde 185 milyon güneş panel kullanılması anlamına gelmektedir. Yıllara göre güneş PV sistemlerin kurulu güç kapasitesinin gelişimi ve bu gücün ülkelere göre dağılımı Şekil 1.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 1.4. 2005-2015 Yılları İtibariyle Ülkelerin Solar PV Kapasitesi Değişimi

Yakın zamana kadar sadece zengin ülkelerde kullanılan güneş enerji santralleri şimdilerde, tüm dünyada enerji talebini karşılamak için önemli katkılar sağlamaktadır. Yeni hükümet programları ve teşvikleri, elektriğe artan talep, ülkelerin güneş santralleri potansiyellerini keşfetmeleri, artan rekabet ve fiyatların düşmesi bu enerji sektörüne yatırımları arttırmıştır. 2015 yılında dünya da devreye alınan güneş santrallerinin %60'ı sadece Asya kıtasında kurulmuştur. Şekil 1.4'den görüleceği gibi Çin, Almanya, Japonya ve ABD en çok kurulum yapan üç ülke konumundadır. Bu ülkeleri İtalya takip etmektedir. Ayrıca 2015 yılı itibariyle, Çin, Almanya, Japonya, ABD, İtalya, İngiltere, Fransa, İspanya, Hindistan ve Avustralya en çok kurulu güce sahip olan ülkelerdir.

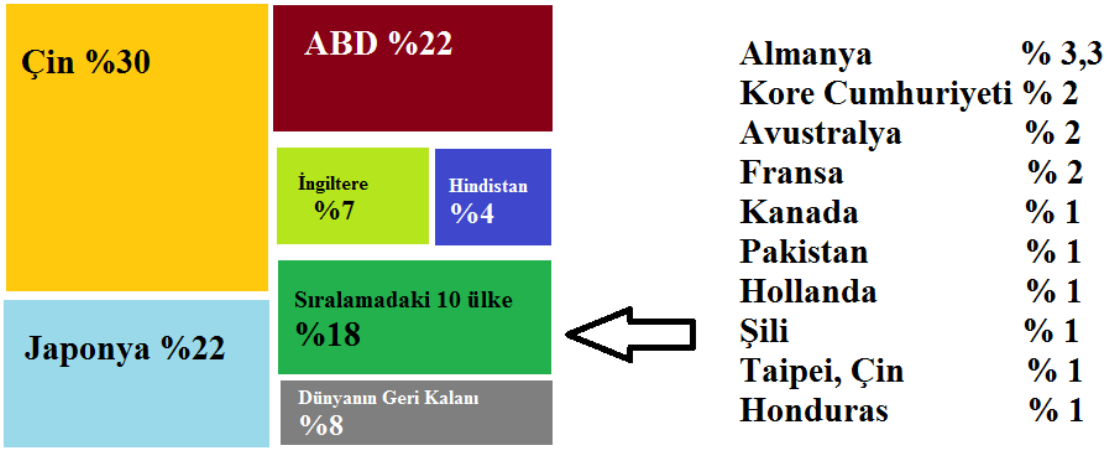


Şekil 1.5. 2015 Yılı İtibariyle Solar PV kapasitesi ve İlavesindeki İlk 10 Ülke

Çin hükümeti, çevre kirlenmesini azaltmak, yerli solar güneş panel üretimini arttırmak ve yenilebilir enerji potansiyelini maksimum değerlendirmek için 2015 yılında büyük bir atılım yapmıştır. Şekil 1.5'den de görüleceği itibariyle mevcut potansiyeline 15,2 GW yeni tesis daha ilave etmiş ve toplam kurulu gücü 44 GW'a ulaşmıştır. Japonya da 2015 yılında 11 GW yeni tesis daha ilave edilmesiyle mevcut kurulu gücünü 34,4 GW'a çıkarmıştır. Japonya elektrik tüketimin %10'unu güneş enerjisinden karşılamaktadır (REN21 Global Status Report 2015).

2015 yılında Asya kıtasında büyük gelişmeler olmuştur. 2 GW kurulu gücü olan Hindistan, yıl sonu itibariyle Rajastan'da 1264 MW, Gujarat'da 1024 MW, Madhya Prades'de 679 MW'lık yeni güneş santrallerini devreye alarak, yıl sonuna kadar kurulu gücünü 5 GW'a çıkarmıştır. Hindistan hükümetinin asıl hedefi 2022 yılında 100 GW kurulu güce ulaşmaktır. Hindistan'ı 1 GW yeni güneş santralinin ilave edilmesiyle mevcut kurulu gücünü 3,4 GW'a çıkaran Kore Cumhuriyeti takip etmektedir. Ayrıca Asya kıtasında Pakistan 500 MW'a ulaşmıştır, Tayland ve Filipinler'de de 100 MW'dan daha fazla yeni tesis kurulmuştur (REN21 Global Status Report 2015).

2015 yılında 20 GW'lık yeni güneş enerjisi santrallerini devreye almasıyla Kuzey Amerika, Avrupa'dan daha fazla gelişme göstermiştir. Kuzey Amerika'da 2015 yılında 7,9 GW yeni tesis kurulmuştur.



Şekil 1.6. 2015 yılında solar PV kapasitelerini en çok artıran ülkeler ve kapasite artış miktarları

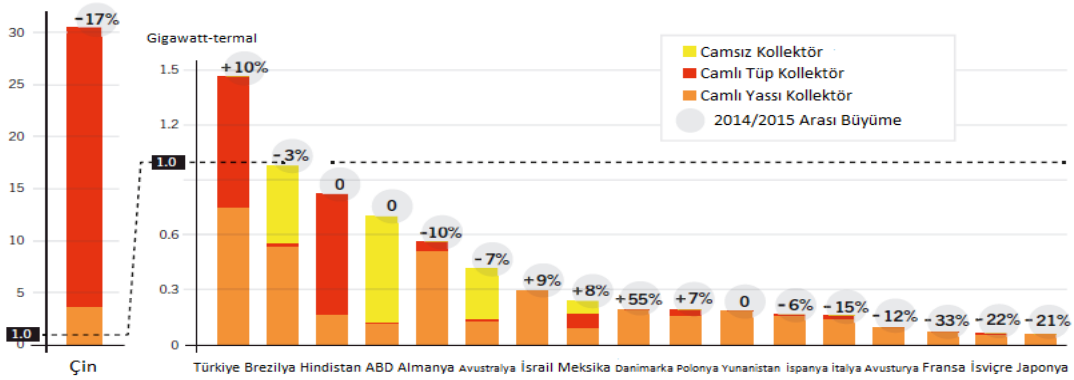
Amerika Birleşik Devletleri 2015 yılında 7,3 GW lik yeni tesisin ilavesiyle toplam kapasitesini 25,6 GW'a çıkarmıştır. Şekil 1.6 'dan da 2015 yılı itibariyle güneş enerji santralleri kapasite artış oranları gösterilmiştir. Bu şekilden de anlaşılacağı gibi 2015 yılında en büyük gelişimi Asya kıtası göstermiştir (REN21 Global Status Report 2015).

Avrupa birliğine üye olan ülkeler, 2011 yılında 22 GW kurulu güç ilavesiyle en büyük güç artışını gerçekleştirmiş, sonraki yıllarda devreye alınan tesislerin kurulu gücü düşmüştür. 2015 yılında yaklaşık 7,5 GW güç eklenerek toplam kapasitesi, 95 GW'a ulaşmıştır. 2015 yılı içinde İngiltere'de 3,7 GW, Almanya'da 1,5 GW ve Fransa'da 0,9 GW yeni solar PV santral devreye alınırken bu değer Avrupa Birliğine üye olan ülkelerin 2015 yılı içinde kurulan santrallerin % 75'ini kapsamaktadır. Ayrıca 2015 yılında İtalya 300 MW ve Hollanda'da 450 MW yeni santral devreye almıştır (REN21 Global Status Report 2015).

2015 yılında CSP (Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi) teknolojisinin daha önceki yıllara göre ilerlemesinde yavaşlama görülmüştür. 2015 yılında, 420 MW'lık bir artışla toplam kapasitesi 4,8 GW'a ulaşmıştır. Yeni kurulan CSP santrallerin % 90'ı İspanya ve ABD'de kurulmuştur. 2017 yılı başlarında birkaç yeni proje devreye gireceği öngörülmektedir. Fas'ın 160 MW olan kurulu CSP gücünü, 2018 sonuna kadar 500 MW'a ulaştırma planları vardır. Güney Afrika'da 2015 yılında Kaxu'da 150 MW'lık ve Bokpoort'da 50 MW'lık bir CSP tesisi kurulmuştur. ABD'nin Crescent Dunes'da 110

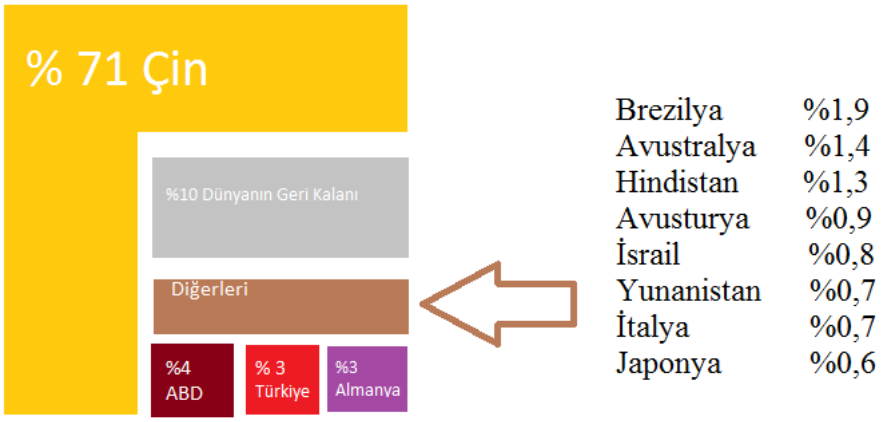
MW gücünde yeni kurulan tesis ile birlikte, toplam kapasitesi 1,7 GW'a ulaşmıştır. İspanya'nın mevcut kapasitesi 2015 yılı sonuna kadar 2,3 GW'a ulaşmıştır.

Ayrıca güneşten sadece elektrik üretmek için değil ısıtma ve soğutma içinde faydalanılır. Bu alan solar termal ısıtma ve soğutma olarak adlandırılır. Solar termal teknolojilerinden, sıcak su temininde, iklimlendirme sistemlerinde ve endüstriyel işlemlerde yüksek sıcaklık sağlamak için dünyanın tüm bölgelerinde kullanılır.



Şekil 1.7. Ülkelerin Kollektör Tiplerine Bağlı Olarak Solar Termal Kapasiteleri ve 2014/2015 yılı Büyüme Karşılaştırılması

2015 yılında camlı ve camsız solar termal kolektörlerin kapasitesinde dünya genelinde artışlar meydana gelmiştir. Şekil 1.7'den de görüldüğü üzere, Türkiye, solar termal ısıtma kapasitesinde büyük bir artış göstermiş ve Avrupa'da birinci konuma ulaşmıştır. Solar termal alanında, 2014 yılında 43,4 GW_{th} yeni tesis kurulmuşken, 2015 yılında sadece 37,2 GW_{th} yeni tesis kurulmuş ve 2014 yılının gerisinde kalmıştır. 2015 yılında kapasitesi en çok büyüyen ülkeler Avrupa Birliği ve Çin'dir. 2015 yılında bu alana en çok yatırım yapan ilk beş ülke Çin, Türkiye, Brezilya, Hindistan ve ABD'dir. Türkiye de yeterli destekleyici politika olmamasına rağmen 2015 yılında %10'un üzerinde bir büyüme sağlamıştır. Özellikle vakum tipi kolektör kullanımında bir önceki yıla göre % 49'luk bir artış göstererek 2015 yılının sonunda Türkiye'nin kapasitesi 1,47 GW 'a ulaşılmıştır (REN21 Global Status Report 2015).



Şekil 1.8. Güneş Enerjisi Isıtıcı Kollektörleri Küresel Kapasite, İlk 12 Ülkenin Payları ve Dünyadaki Diğer Bölgeler, 2014

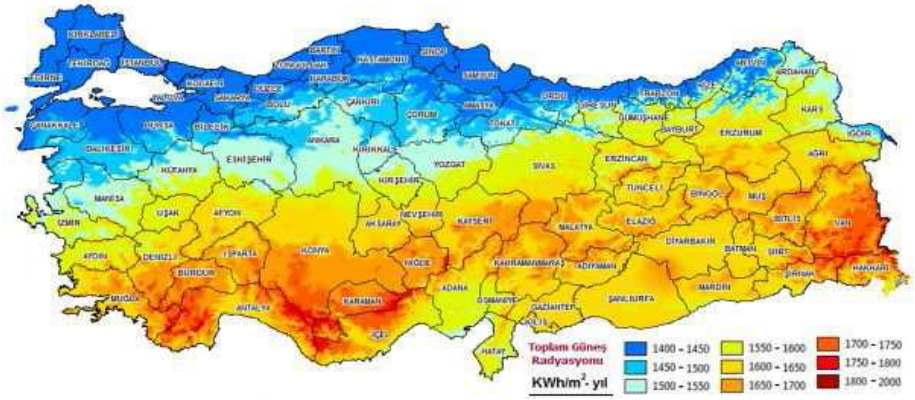
Şekil 1.8'de görüldüğü üzere solar termal ısıtma ve soğutmada Çin dünya kapasitesinin %71'ine sahip olarak birinci sıradadır. Daha sonra %4 ile ABD gelmektedir. Türkiye toplam kapasitenin %3'ü ile dünyada ilk beş ülke arasındadır. Solar termal ısıtma soğutma sistemlerinde dünyada evsel sıcak su sistemleri (tek evin), büyük evsel sıcak su sistemleri (çok sayıda evin, turizm ve kamu sektörü), güneş kombi sistemleri (tek ve çok sayıda evler için sıcak su ve yerden ısıtma), yüzme havuzu ısıtma, güneşle ısıtma, güneşten proses ısısı sağlama ve güneşle soğutma alanlarında kullanılmaktadır. Türkiye'de bu alanlardan sadece tek ailelik evlerin ısıtması ve büyük evsel sıcak su sistemlerinde alanları için faydalanılmaktadır (REN21 Global Status Report 2015).

1.3. Türkiye'de Güneş Enerjisi

Ülkemiz 781.000 km^2 yüzey alanıyla, 36° - 42° kuzey enlemleri arasında güneşli bir kuşakta yer almakta ve güneş enerjisi potansiyeli bakımından coğrafi olarak son derece iyi bir konumda bulunmaktadır. Elektrik İşleri Etüt İdaresi resmi raporlarına göre Türkiye'nin ortalama yıllık güneşlenme süresi 2.640 saat ve yıllık ortalama yatay güneş ışınım şiddeti 1.311 kWh/m^2'dir.

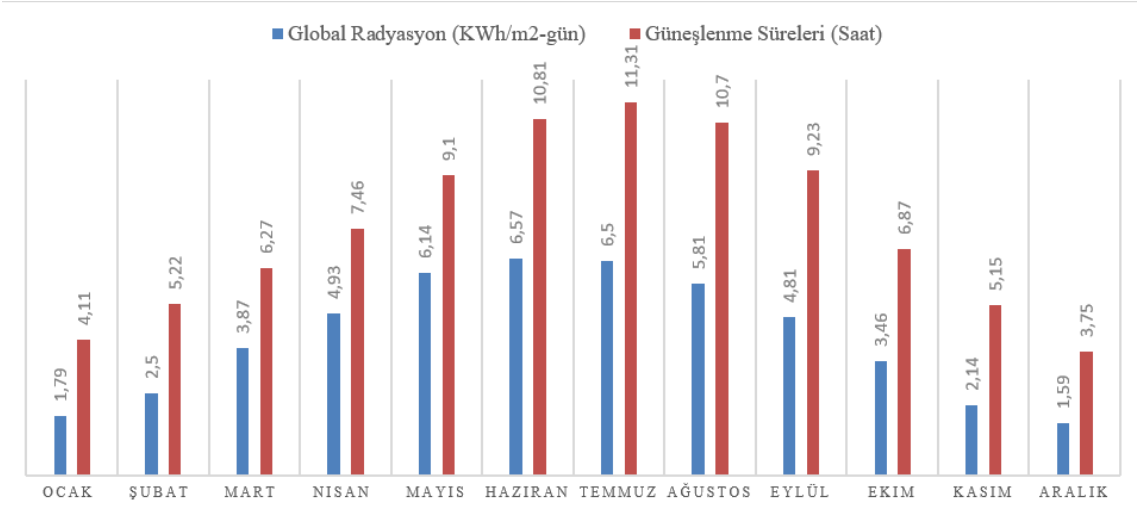
Ülkemiz, Şekil 1.9'da görülen coğrafi konumu nedeniyle, sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nde (DMİ) mevcut bulunan 1966–1982 yılları arasında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak EİE (Elektrik İşleri Etüt İdaresi) tarafından yapılan çalışmaya göre, Türkiye'nin ortalama güneşlenme süresinin

günlük toplam 7,2 saat, ışınım şiddetinin günlük toplam 3,6 kWh/m² olduğu tespit edilmiştir.



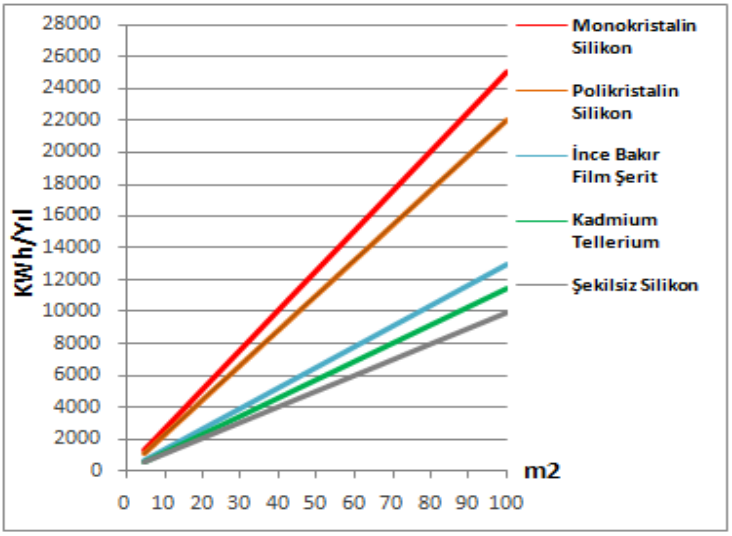
Şekil 1.9. Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli Atlası

Yenilenebilir Enerji Müdürlüğünden alınan verilere göre, Şekil 1.9'da Türkiye için bir yıl boyunca aylara göre ortalama global radyasyon ve ortalama güneşlenme süreleri değerleri verilmiştir. Şekil 1.10'dan da görüldüğü üzere Ağustos ayında ortalama güneşlenme süresi en büyük değerde olmasına rağmen ortalama güneşlenme radyasyonu Temmuz ayındakine göre düşüktür.



Şekil 1.10. Türkiye'nin Ortalama Global Radyasyon ve Güneşlenme Süresinin Aylara Göre Değişimi.

Ayrıca Şekil 1.11'de Türkiye de kurulumu yapılacak santral için PV tipi türüne göre üretilecek enerji değerleri gösterilmiştir. Çizelge 1.3'de ise Türkiye'nin aylara göre global güneş ışınım değerleri ve güneşlenme süreleri verilmiştir (http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx).



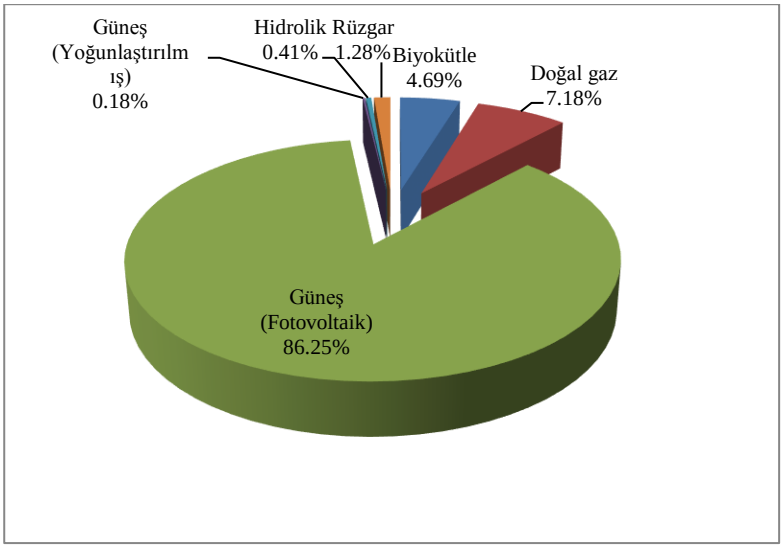
Şekil 1.11. Türkiye'de farklı PV Tipleri ile Farklı Alan Büyüklüklerinde Üretilebilecek Enerji Miktarı(kWh-yıl)

Şekil 1.11'de Türkiye'de kullanılan farklı PV tipleri ile kullanılması düşünülen bölge büyüklüklerine göre bir yılda üretilmesi düşünülen enerji miktarları verilmiştir. Yatırımcı kurmayı düşündüğü arazi büyüklüğüne göre ilgili PV türünü şeçebilmektedir.

Çizelge 1.3. Türkiye'nin Yıllık Güneş Enerjisi ve Güneşlenme Sürelerinin Aylara Göre Değişimi

AYLAR	**AYLIK TOPLAM GLOBAL GÜNEŞ IŞINIMI**		**GÜNEŞLENME SÜRESİ**
	(Kcal/cm2-ay)	(kWh/m2-ay)	(Saat/ay)
OCAK	4,45	51,75	103
ŞUBAT	5,44	63,27	115
MART	8,31	96,65	165
NİSAN	10,51	122,23	197
MAYIS	13,23	153,86	273
HAZİRAN	14,51	168,75	325
TEMMUZ	15,08	175,38	365
AĞUSTOS	13,62	158,4	343
EYLÜL	10,6	123,28	280
EKİM	7,73	89,9	214
KASIM	5,23	60,82	157
ARALIK	4,03	46,87	103
TOPLAM	112,74	1311	2640
ORTALAMA	308,0 cal/cm2-gün	3,6 kWh/m2-gün	7,2 saat/gün

Son yıllarda Türkiye'de güneş enerjisinden etkin bir şekilde yararlanmak ve fotovoltaik sistemlerin kullanımını yaygınlaştırmak amacıyla 5346 sayılı "Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanunu" 29.12.2010 tarihinde revize edilmiş ve 2013'te mevzuat çalışmaları tamamlanmıştır. Bu yasal düzenlemelerden biri olan "Elektrik Piyasasında Lisansız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmeliğin" yürürlüğe girmesinden sonra kurulan üretim tesisleri içerisinde güneş enerji santralleri büyük bir orana sahiptir.



Şekil 1.12. 2016 Yılı Temmuz Ayı Sonu İtibariyle Lisanssız Elektrik Kurulu Gücünün Kaynaklara Göre Dağılım Oranları

Şekil 1.12'de görüldüğü üzere, lisanssız elektrik üretimine ilişkin yönetmelik çıktıktan sonra Türkiye de lisanssız güneş enerji santralinin kurulmasında bir artış olmuştur. 2016 yılı Temmuz ayı itibariyle 582,04 MW kurulu güce ulaşmıştır.

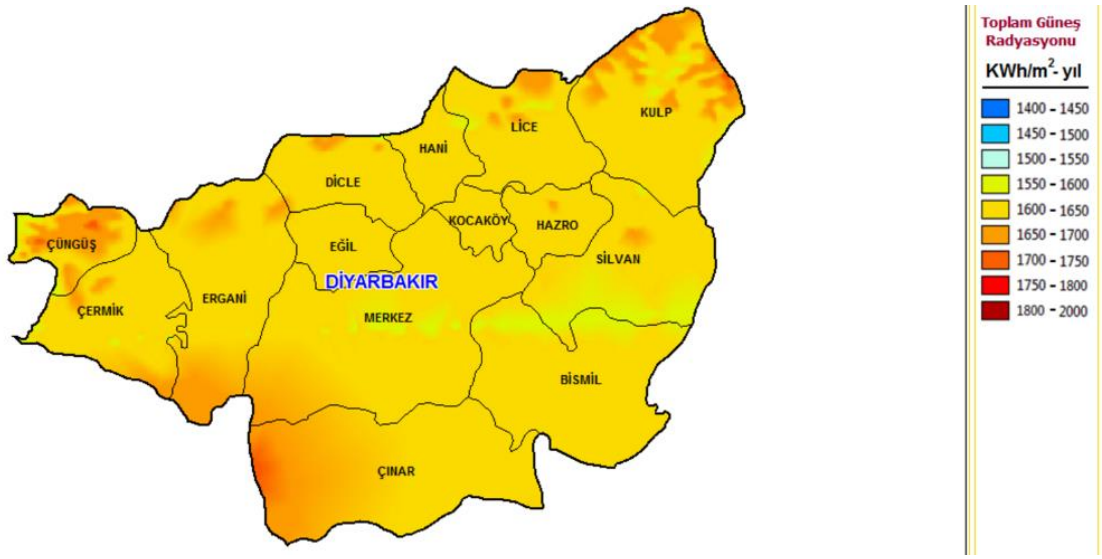
1.4. Diyarbakır İlinin Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanımı

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından yapılan güneş haritalama çalışmalarında, çizelge 1.4'de görüldüğü gibi Türkiye ve özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin önemli oranda değerlendirilebilir güneş enerjisi potansiyeline sahip olduğu görülebilir. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü verilerine göre, Güneydoğu Anadolu Bölgesi 1460 kWh/m^2-yıl'lık güneş ışınımı ve ortalama 2993 saat/yıl'lık güneşlenme süresi ile Türkiye'de toplam global güneş ışınımı açısından zengin bir bölgedir(Varınca & Gönüllü 2006).

Çizelge 1.4. Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı

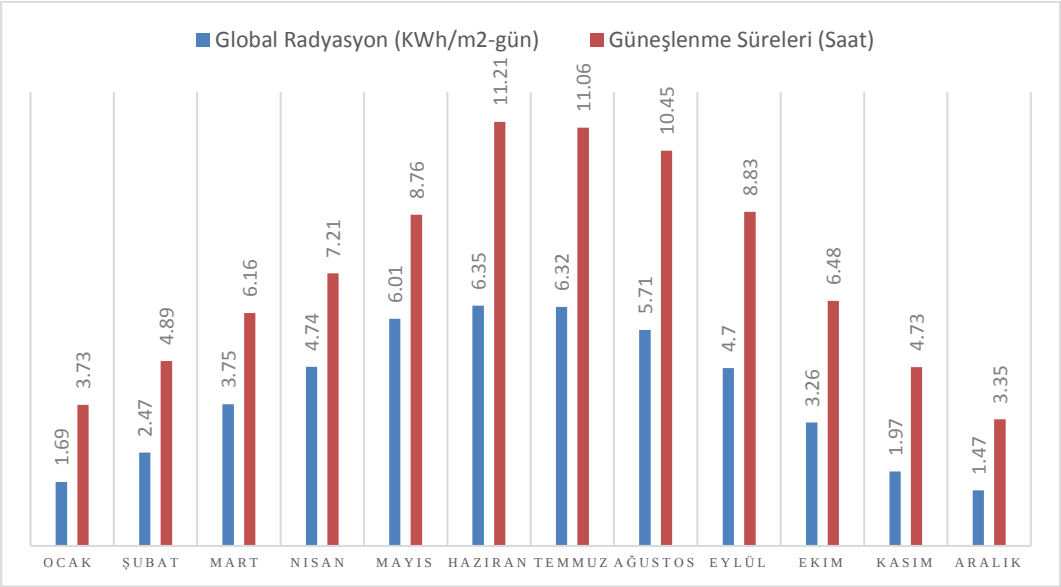
BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ	GÜNEŞLENME SÜRESİ
	(kWh/m2-yıl)	(Saat/yıl)
G.DOĞU ANADOLU	1460	2993
AKDENİZ	1390	2956
DOĞU ANADOLU	1365	2664
İÇ ANADOLU	1314	2628
EGE	1304	2738
MARMARA	1168	2409
KARADENİZ	1120	1971

Özellikle lisansız elektrik üretim yönetmeliği çerçevesinde güneş enerjisinden elektrik üreten santrallerin sayısının hızla arttığı görülmektedir. Güneş enerjisine gösterilen yoğun ilgi bu alanda yapılacak yatırımların dikkatli bir şekilde planlanması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle Şekil 1.13'de görüldüğü gibi Diyarbakır ili toplam güneş radyasyonu bakımından büyük potansiyele sahiptir.



Şekil 1.13. Diyarbakır İçin Güneş Radyasyonu Atlası

Yenilenebilir Enerji Müdürlüğü tarafından hazırlanan güneş enerjisi potansiyeli atlası ışığında Şekil 1.14' de Diyarbakır ili için global ışınım değerlerinin aylara göre değişimi verilmiştir.



Şekil 1.14. Diyarbakır İli Ortalama Global Işınım Değerleri ve Güneşlenme Süreleri

Bu değerlerin incelenmesinden Diyarbakır İlinin yıl boyunca ortalama 8 saat güneş aldığı görülmektedir. Diyarbakır ili Türkiye ortalamasının üzerinde güneş alması bu enerjiden etkili bir şekilde yararlanmak için önemli bir gerekçedir. Teşvikler ve lisansız elektrik üretim yönetmeliğindeki düzenlemelerden sonra Diyarbakır'da güneş enerji santralleri kurulmaya başlanmıştır. Çizelge 1.5'te de görüldüğü üzere 2016 yılı temmuz ayı itibariyle Diyarbakır'da kurulumu tamamlanan ve TEDAŞ tarafından onaylanıp kurulumu yapılarak geçici kabulü yapılmayan güneş enerji santralleri kurulu güçleriyle gösterilmiştir. Bu santraller arasında bulunan Dicle Üniversitesi Güneş Enerji Santralinin kurulumu yapılıp, geçici kabulü henüz yapılmamıştır.

Çizelge 1.5. Diyarbakır'da Kurulan ve Projesi Onaylanan Güneş Enerjisi Santralleri

Kabulü Yapılan Güneş Enerjisi Santralleri				**kWp**
Dimer GES	DİCLE EDAŞ	GES	DİYARBAKIR	1000
DİSKİ GES	DİCLE EDAŞ	GES	DİYARBAKIR	600
GAPUTAEM GAP	DİCLE EDAŞ	GES	DİYARBAKIR	240
Sümerpark GES	DİCLE EDAŞ	GES	DİYARBAKIR	461,6

Tedaş Tarafından Onaylanan Güneş Enerjisi Santral Projeleri				**kWp**
ARFEM İNŞ.METAL TAŞ SAN.	DİYARBAKIR OSB	GES	DİYARBAKIR	986
DİCLE ÜNİVERSİTESİ GES	DİCLE EDAŞ	GES	DİYARBAKIR	250
Dİ MER GES	DİYARBAKIR OSB	GES	DİYARBAKIR	1000
DİYARBAKIR KARLİS GES	DİYARBAKIR OSB	GES	DİYARBAKIR	640
KEMAL ÖZDAL GES	DİCLE EDAŞ	GES	DİYARBAKIR	990
DİYOR GES	DİYARBAKIR OSB	GES	DİYARBAKIR	900
BESS DİYARBAKIR GES	DİCLE EDAŞ	GES	DİYARBAKIR	980
CABA DİYARBAKIR GES	DİCLE EDAŞ	GES	DİYARBAKIR	980
İBRAHİM AYTEKİN GES	DİCLE EDAŞ	GES	DİYARBAKIR	970
Gökkuşağı GES	DİCLE EDAŞ	GES	DİYARBAKIR	68

1.5. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasındaki temel amaç, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde üretim, tanıtım ve analiz için kurulmuş olan 250 kWp'lik Fotovoltaik Güneş Santralinin performans analizinin yapılmasıdır. Yapılan analiz ile santralin ihtiyaca cevap verebilme kapasitesi test edilebilecek, muhtemel eksikler ve hatalar araştırılabilecektir. Bunun yanında, kurulan sistemin, çeşitli simülasyon programları ile modellenmesi ile elde edilen verilerin, gerçek üretim verileriyle karşılaştırılmasıyla simülasyon programlarının doğruluk oranları da test edilebilecektir.



Şekil 1.15. Dicle Üniversitesi Güneş Enerji Santrali

Güneş enerjisinden elektrik üretim analizlerinin sağlıklı yapılabilmesi için, kurulu ve işletmede olan güneş enerjisi santrallerinden, alınan veriler büyük bir öneme sahiptir. Kurulumu yapılmış, gerçek atmosferik koşullar altında çalışan santrallerden alınan bu verilerinin analizi ile elde edilecek enerji ve santral performansı hakkında bilgi sahibi olunabilecektir. Bu veriler ışığında güneş enerjisi santralleri için kurulacak bölgeye özgü tasarım kriterlerinin elde edilmesi mümkün olabilecektir. Fotovoltaik güneş enerji santrallerinin tasarımında ve analizinde simülasyon programlarının kullanımı oldukça önemlidir. PVsyst simülasyon programı, fotovoltaik sistem simülasyonu için sunduğu araçlar ile detaylı analiz yapabilme kapasitesi bakımından bu programlar içerisinde öne çıkmaktadır.

Bu çalışmada Dicle Üniversitesi bünyesinde tanıtım, eğitim, üretim ve analiz yapabilmek amacıyla kurulmuş olan 250 kWp'lik güneş enerji santralinin simülayonu PVsyst V6.39 simülasyon programı ile yapılmış ve santralin üretim verileri kullanılarak, IEC 61724 standardında belirtilen performans kriterlerine uygun olarak, performansı analiz edilmiştir. Yapılan bu analizle, güneşten elektrik enerjisi üretiminde etkili olan gölgelenme, kurulum açısı, panel verimliliği gibi parametrelerin üretilen enerji

miktarına etkisi de belirlenmiştir. Ayrıca birbirinden farklı simülasyon programlarının sonuçları ile gerçek üretim değerleri karşılaştırılmıştır.

1.6 Tezin Yapısı

Bu Tez, Giriş, Kaynak Özetleri, Materyal Metot, Araştırma ve Bulgular, Tartışma ve Sonuç, Kaynaklar olarak altı bölümden meydana gelmektedir..

Giriş olarak adlandırılan birinci bölümde Dünyada ve Türkiye'de güneş enerji santrallerin gelişimi hakkında bilgiler verilmiştir.

Kaynak Özetleri olarak adlandırılan ikinci bölümde bu yüksek lisans tezi ile ilgili yapılan literatür araştırması yer almaktadır.

Materyal Metot olarak adlandırılan üçüncü bölümde, bir fotovoltaik güneş enerji santrali kurulumunda yer alan temel malzemeler ve kullanılan simülasyon programları hakkında bilgi verilmiştir.

Araştırma ve Bulgular olarak adlandırılan dördüncü bölümde simülasyon sonuçları ile ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Santralin performansı ilgili standartlara göre analiz edilmiştir.

Bulgular ve Tartışma olarak adlandırılan beşinci bölümde ise elde edilen sonuçlar tartışılıp önerilerde bulunulmuştur.

Kaynak olarak adlandırılan altıncı bölümde tezin içinde kaynak olarak gösterilen çalışmalar bu bölümde sıralanmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Yenilenebilir enerji kaynaklarının (YEK), fosil yakıtlara kıyasla birçok üstünlüğü vardır. Hidrolik, rüzgâr, güneş ve biyogaz gibi kaynaklar küresel enerji ihtiyaçlarını karşılamak için potansiyel YEK adaylarıdır. Enerji üretiminde, çevreye etki bakımından fosil yakıtlı santrallere göre olumlu etkilere sahip olan YEK'in kullanılması, çevresel olumsuz etkilerin azalmasına neden olmuştur. YEK sadece Türkiye için değil, aynı zamanda Dünyanın geleceği için önemli bir kaynak olarak kabul edilmektedir. Güneş enerji santralleri yenilenebilir enerji teknolojileri alanında önemli bir yer tutmaktadır. Bu nedenle günümüzde Güneş enerji santrallerine yönelik çalışmalar popülerlik kazanmıştır. Bu kapsamda yapılan bilimsel çalışmaların önemli bir kısmı aşağıda verilmiştir:

Lughi ve arkadaşları (2008) İtalya'da PV santraller için kullanılan PV modül teknolojilerin ekonomik analizini yaparak maliyetlerini karşılaştırmış ve yeni kullanılacak teknolojilerden kısmen bahsetmişlerdir (Lughi et al. 2008).

Bellini ve arkadaşları (2009) herhangi bir sayısal yöntem kullanımı gerektirmeden, üreticilerin veri sayfaları tarafından sağlanan parametrelerle fotovoltaik modüller için geliştirilmiş bir matematiksel model sunmaktadır. Model, güneş ışınımının bir fonksiyonu olarak, gerilim değişimini hesaba katarak, elverişli bir düzeltme terimi ile çeşitli iyileştirmeler uygulanmasıyla elde edilir. Ancak, modüllerin elektriksel parametreleri, yani açık devre gerilim ve kısa devre akımı, üretici tarafından sağlanandan farklı olabilmektedir (Bellini & Bifaretti 2009).

Cambpell ve arkadaşları (2009) PV güç santralleri için LCOE denklemi yardımıyla maliyet hesabı yapılmasına yardımcı olmuş ve ayrıca LCOE ile bir tesisin kapasite faktörünü inceleyerek, hareketli Güneş santralleri ile sabit Güneş santralleri arasında karşılaştırma yapmıştır. Bu çalışmanın sonucu olarak hareketli sistemlerin yüksek bir kapasite faktörü için zorlayıcı bir çözüm olduğunu söylemişlerdir (Campbell 2009).

Doolla ve Banerjee (2010) Hindistan Hükümeti tarafından açılan Ulusal Güneş Misyonu çerçevesinde Güneş PV difüzyon kapasite faktörünü analiz etmişlerdir.

Hindistan'ın farklı bölgelerinde 1 MWp 'lık PV tesisi için Güneş ışınımı ve ortam sıcaklığı baz alınarak gerçekleştirdikleri simülasyon sonuçlarına göre belirlenen hedeflere ulaşıldığı ve kademeli olarak şebekeye bağlı PV teknolojisi geliştirilmesinin gerekli olduğu vurgulanmıştır (Doolla & Banerjee 2010).

Cristaldi ve arkadaşları (2012) basit bir PV panel modelini bir diyot, bir direnç ve bir gerilim kaynağı olarak kabul etmiştir. Bu çalışmanın temel amacı ölçüm değerleri yerine, üreticiden alınan değerlerle yapılan simülasyonda, sonuçların kolaylıkla maksimum güç noktasının yakınında çalışma imkânı sunmasıdır (Cristaldi et al. 2012).

Lofaro ve arkadaşları (2012) Brookhaven Ulusal Laboratuvarı'nda (BNL) ABD'nin kuzey doğusundaki kurulmuş ve kurulacak PV santraller için IEC' in 61724 standartını baz alarak, analizler yapmışlardır (Lofaro et al. 2012).

Bength Stridh (2012)'e göre kirlenmenin PV ömrünü ve verimini etkilemiş olabileceği belirtilmiştir. Soğuk iklime sahip ülkelerde kar örtüsü özel bir kirlenmeye neden olabilir. Kirlenmeden kaynaklanan temizlik maliyeti, enerji kaybı ve verim arasında analiz yapmışlardır. Murcia, Münih, Helsinki gibi soğuk iklime sahip 3 farklı şehir karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, neredeyse temizlik maliyeti ve kaybedilen enerji maliyetinin başa baş olduklarını göstermiştir (Stridh 2012).

Shriram ve arkadaşları (2013) güneş santralini 24 saat inceleyerek ortaya çıkan hat kayıplarını azaltmaya çalışmışlardır. Bu çalışma gerçek generatör ve reaktif güç düzenleyici olarak 24 saat esasına göre faaliyet gösteren PV Güneş santralinin şebeke entegrasyonu için yeni bir uygulama sunarak, hat kayıplarını azaltmayı amaçlamaktadır.

Fthenakis ve Yuanhao Yu (2013) büyük solar çiftliklerin etrafında büyük ısı adaları meydana getirip getirmediklerini analiz etmişlerdir. Analiz sonucunda gece vakitlerinde paneller yeterince soğuduğu için bölge de sıcaklığının artmadığı sonucuna varmışlardır (Fthenakis & Yu 2013).

Fezzani ve arkadaşları (2014) bir PV sistem üzerinde kısmi gölgelenme olması durumunda I-V ve P durumu hakkında, uygun MATLAB tabanlı bir modelleme ile simülasyon sunmaktadır. Bu çalışmada, kısmen Bishop tarafından önerilen modele dayalı olarak gölgeli çalışan güneş hücreleri için bir yaklaşım sunmuşlardır ve gölge

etkisin ihmal edilemeyecek derecede bir PV sistemini etkilediğini göstermişlerdir (Fezzani et al. 2014).

Lurwan ve arkadaşları (2014) Malezya'daki bir yer için, herhangi bir zamanda Güneş radyasyon tahmini için gelişmiş bir modeli MATLAB ortamında önermiştir. Önerilen tahmin modeli sırasıyla 0.97, 0.96 ve 0.75 korelasyon katsayıları ile Hottel ve Ashrae modelleri ile ölçülen veriler ile örtüşmüştür. Ancak, önerilen modelin doğruluğu geliştirilebilir. Bu nedenle önerilen model minimum hata ile saatlik radyasyon ve güç tahmini için uygulabilir (Lurwan et al. 2014).

Chu ve arkadaşları (2014) akıllı ve gerçek zamanlı yeniden tahmin yöntemi kullanarak, 48 MW'lık fotovoltaik (PV) santral tarafından üretilen gücü tahmin etmişlerdir. Bu öngörü yöntemi, yapay sinir ağı (YSA) optimizasyon programlarına dayalı olarak geliştirilen ve üç temel öngörü modelinin performansını artırmak için kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında temel tahmin modelleriyle, tahmin hatalarını azaltmışlardır(Chu et al. 2014).

Irwanto ve arkadaşları (2014) oluşturdukları PV modülü ile PV modülünün ortam sıcaklığı ve ışımadan nasıl etkilendiğini araştırdıkları çalışmalarında sıcaklığın artmasıyla PV modülün veriminin düştüğü, ışınım artmasıyla da modül veriminin arttığı gözlenmiştir (Irwanto et al. 2014).

Gostein ve arkadaşları (2014) PV enerji santralleri için giderek önemli hale gelen toz, kir ve diğer kirleticiler gibi çevresel nedenlerden dolayı ortaya çıkan kirlenme kayıplarını incelemişlerdir. Kirlenme kayıplarının ölçülmesinin santral performansının belirlenmesinde önemli bir parametre olduğu vurgulanmıştır. Bu çalışmada bağımsız kirlilik ölçüm sistemlerini kullanarak PV santrallerinde kirlenmeden kaynaklı güç kayıplarını hesaplama yeteneği gösterilmiştir (Gostein et al. 2014).

Bayeh ve Moubayed (2014) Güneş Baca, CSP Kulesi ve Lübnan' da kurulacak olan PV Çiftliği gibi farklı Güneş enerji teknolojilerinin karşılaştırmasını yapmıştır. Aynı radyasyon kaynağından beslenen bu teknolojiler arasında verim-maliyet analizi yapılmıştır. Lübnan için PV çiftlikler, hem verim hem de maliyet açısından önerilmiştir (Bayeh 2014).

Sowe arkadaşları (2014) Gambiya kırsal elektrifikasyonu için PV güç santrallerinin teknik ve ekonomik kapasitesini değerlendirmişlerdir. Bu çalışmada, Farafenni kasabası Gambiya'nın diğer şehirlere oranla daha yüksek güneşe maruz kalma değerine (4,5-7 kWh / m² / gün) sahip olduğu için seçilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre verimler oldukça yüksektir. (Sowe et al. 2014).

Thomas ve Nisar (2015) bir PV sistemin davranışını tanımlamak için matematiksel modeller kullanarak MATLAB simulink kütüphanesinde bir simülasyon modeli oluşturmuştur. Sıcaklık ve ışıma değerleri kullanılarak elde edilen akım ve gerilim değerleri gerçek değerlerle karşılaştırılmıştır (Thomas 2015).

Guo ve arkadaşları (2015) çöl ortamları, toz ve yüzey kirlenmelerinden dolayı Doha, Katar'da PV performansı üzerine incelemelerde bulunmuşlardır. Toz konsantrasyonu, rüzgar hızı, bağıl nem ve yüzey kirlenmesinin PV performansını etkileyen en önemli etkenler olduğu ve önemli derece de PV güç kaybına neden olduğunu göstermişlerdir (Guo et al. 2015).

Parrado ve arkadaşları (2015) çalışmalarında güneş enerjisi ile ilgili ana endişe, bu sistemlerin devamsızlığıdır önermesini ileri sürmüşlerdir. Elektrik üretiminin sürekli olması için modellenmiş hibrid PV-CSP karışımı sistemi bu soruna bir çözüm olarak üretmişlerdir. Atacama Çölü'nde hibrid PV-CSP siteminin sürdürülebilir enerji üretimi için uygun olduğu görülmüştür (Parrado et. Al 2015).

Remon ve arkadaşları (2015) farklı kıtalar dikkate alınarak 1 MW ve 5 MW olarak kurulması düşünülen PV santrallerinin en iyi yatırım yerini farklı senaryolar için bulmuşlardır (Remon et al. 2015).

Giglmayr ve arkadaşları (2015) Güney Afrika için kurulabilecek PV santraller üzerine bir araştırma yapılmıştır. Güney Afrika'nın Güneş potansiyeli bakımından mükemmel bir konumda olduğu ve bu sektörde daha fazla yatırım yapılmasının gerekli olduğu sonucuna varılmıştır. (Giglmayr et al. 2015).

Güneş enerjisinden elektrik üretim analizlerinin sağlıklı yapılabilmesi için, kurulu ve işletmede olan güneş enerjisi santrallerinden alınan veriler büyük bir öneme sahiptir. Kurulumu yapılmış, gerçek atmosferik koşullar altında çalışan santrallerden alınan bu verilerinin analizi ile elde edilecek enerji ve santral performansı hakkında bilgi sahibi olunabilecektir. Bu veriler ışığında güneş enerjisi santralleri için kurulacak bölgeye özgü tasarım kriterlerinin elde edilmesi mümkün olabilecektir. Bu kapsamda güneş enerji santrallerinin performans analizi ile ilgili yapılan bilimsel çalışmaların önemli bir kısmı aşağıda verilmiştir:

Wenger ve arkadaşları (1990) 1984-1989 yılları arasında çalışan en büyük PV santralin performansını bu çalışmalarında özetlemişlerdir. Enerji üretim verimliliğinin 1986 yılından sonra azaldığını ortaya çıkararak, aynalı-aynasız olan PV panellerin performanslarını karşılaştırmışlardır (Wenger & Jennings 1990).

Hun So ve arkadaşları (2006) çalışmalarında Kore'de yenilenebilir enerji kaynakları için hükümet destek programlarından dolayı Daegu City Sinchon kanalizasyon bertaraf tesisi için monte edilen PV sistemlerin toplam kapasitesinin 479 kW olduğunu göstermişlerdir. Bunlardan biri olan 80 kWp lik PV santralin performans analizi izlemesi gerçek koşullar altında yapılmıştır.(Hun So et.al 2006)

Gonzales ve arkadaşları (2006) şebekeye bağlı fotovoltaik (PV) tesisin toplam performansını, güç oranı (invertör maksimum giriş gücü / generatör pik güç) ve inverterlerin (giriş ve çıkış operasyonel gerilimlerinin) analiziyle, sunmuştur (González et al. n.d.).

Aste ve arkadaşları (2007) Politecnico di Milano da bir referans oluşturması için kurulan PV tesisi ile kentsel bağlamda çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma sırasında 5 yıllık veriler ile kullanışlı bir veri tabanı oluşturulmuştur. Ayrıca, değerlendirme modeli, tasarım ve tahmin aracı olarak etkin bir şekilde kullanılan verilere dayalı olarak geliştirilmiştir. (Aste et. Al. 2007)

Pietruszko ve arkadaşları (2009) sekiz yıl boyunca Polonya'da bir dil okulunun çatısındaki şebekeye bağlı 1 kWp'lik bir PV sistemin performansını IEC 61724 standardına göre izleyip performansını açıklamışlardır. Üretilen enerjinin yıl boyunca

sabit olduğu gösterilmiştir. Polonya çok iyi ışınım koşullarına sahip olmamasına rağmen PV teknolojisi için başarılı bir uygulama olarak önerilmiştir (Pietruszko 2009).

Hasimah ve arkadaşları (2009) güneş modül teknolojilerini optimal verimde kullanmak amacıyla Malezya'da dört farklı (monokristal, polikristalin, amorf silikon ve kadmiyum tellür) PV teknolojisi üzerine RETSCREEN ve PVSYST programları kullanarak simülasyon çalışması yapmıştır. Mono kristal ve polikristal teknolojilerin yüksek yatırım maliyetine, buna karşın yıllık enerji veriminin daha yüksek olduğu, amorf silikon ve kadmiyum tellür teknolojilerinin daha düşük yatırım maliyetine sahip olduğu ve kWh başına enerji üretim maliyetinin düşük olmasına rağmen yıllık getirisinin az olduğu sonucuna varılmıştır (Hasimah & M.N.Khalid 2009).

Schwabe ve Jansson (2009) Amerika Birleşik Devletleri'nin Kuzeydoğu'sunda bir mono-kristal silisyum (c-Si) fotovoltaik (PV) sistemi ile bir amorf silisyum (a-Si), ince film sistemini değişik ortam sıcaklıkları için karşılaştırmıştır (Schwabe & Jansson 2009).

Kyprianou ve arkadaşları (2010) AB yönergesine göre 2020 yılına kadar yenilenebilir enerji payını arttırmak temelinde 150 kWp lik bir PV park uygulamasının PVSYST programını kullanarak performans analizini yapmıştır. Ekonomik analiz kapsamında yatırımla ilgili değişik senaryolar ele alıp incelemişlerdir (Kyprianou et al. 2010).

Cronin ve arkadaşları (2011) Tuscon Electric Power güneş deney bahçesinde bulunan 1-2 kWp'lik değişen güçlerde Sunpower, Sharp, BP, Uni-solar Sanyo, Shell, Astropower, Solarex ve Evergreen Solar düz plaka PV modüllerini içeren 20 farklı PV sistemini test etmişlerdir. Nihai verimleri PVWATS ve PVSYST simülasyon programlarının sonuçları ile karşılaştırmıştır (Cronin et al. 2011).

Panchula ve arkadaşları (2012) Ontario'da kurulmuş olan 20 MWp lik bir PV santralin bir yıl sonunda alınan ölçüm sonuçları ile, yapılan tahminin, performans analizini karşılaştırmıştır. Elde edilen sonuçlara hataların yağmurlu günler gibi çeşitli çevresel faktörlerden kaynaklanabileceğine değinmişlerdir (Panchula et al. 2012).

Jonhson ve arkadaşları (2012) tarafından Lanai, Hawaii'de kurulan 1.2 MWp'lik bir PV santralin performans analizini yapmışlardır. Küçük bir adadaki 5 MWp bir yüke bağlanan sistem de frekans hatalarının olduğu gözlemlenmiş ve bunun için çözümler önerilmiştir.

Kumara ve arkadaşları (2013) 6.800 kilometrekarelik yüzölçümü ile ve yaklaşık dört milyon kişilik nüfusa sahip Endonezya'da küçük adalardan biri olan Bali'ye kurulacak olan 1MWp'lik şebekeye bağlı PV santralin sıcaklık, Güneş radyasyonu, hava koşulları ve enerji üretimi üzerine araştırmalar ve analizler yapmıştır. (Kumara et. Al. 2013)

Kim Gan ve arkadaşları (2013) kristal ve ince film tipi fotovoltaik (PV) modül teknolojilerinin çatı ve zemine monte edilen PV sistemlerin performansları arasında bir karşılaştırma sunmuşlardır. İlgili sistem performansları toplam üretilen enerji, enerji verimi ve Değere Getirilmiş Maliyet hesaplama yöntemiyle maliyetleri açısından karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, ince film PV sistemin performansı, enerji verimi ve geri ödeme süresi bakımından Malezya gibi tropikal ülkelerde, kristal sistemden daha iyi performans sağladığı gösterilmiştir(Gan et al. 2013).

Del Pero ve arkadaşları (2013) İtalya'da Çevre Bakanlığı Ulusal PV birliği tarafından Politecnico di Milano Çatı tipi pilot PV tesisi santral kurulumu kapsamında ilk kurulan sistemde inceleme yapmışlardır. Bu sistemin sadece, sistem üretkenliği ve verimliliği artırmak için değil, aynı zamanda binaların içine fotovoltaik entegrasyonu açısından iyi bir örnek olduğunu göstermek için, detaylı bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma faaliyete geçtikten sonra on bir yıl içinde alınan veriler ile yapılan uzun süreli bir performans analizi olduğu için önemlidir(Aste et al. 2013).

Raygani ve arkadaşları (2013) Queensland Üniversitesi'nde 1.2 MW PV santral performansını değerlendirmiştir. 21 aylık verileri baz alarak 1 dakikalık sıklıkla çok gerçekçi sonuçlara ulaşmışlardır (Raygani et al. 2013).

Padmavathi ve Daniel (2013) Hindistan'da yer alan 3 MW'lık şebekeye bağlı PV santralin performans analizini sunmuşlardır. Uluslararası Elektroteknik Komisyonu

(IEC) Standardı 61724 uyarınca performans parametrelerini incelemişlerdir (Padmavathi & Daniel 2013).

Ilaiyaraja ve Gopi (2014) Hindistan'ın Bangalore bölgesi için poli kristal, mono kristal, mikro-morpy teknolojisi olan PV dizileri için performans analizi yapmışlardır. Elde edilen sonuçları da PVSYST programında elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır (Ilaiyaraja & Gopi 2014).

Singh ve arkadaşları (2014) yaptıkları çalışmada, çatı tipi 43 kWp şebekeye bağlı amorf silisyum sistemin performans analizini Temmuz 2011- Temmuz 2014 arası 3 yıllık veriye göre yapılmıştır. Bu sürede ortaya çıkan işletme ve bakım sorunlarına yayında yer verilmiştir. (Singh 2014).

Protogeropoulos ve arkadaşları (2014) Güney Akdeniz iklim şartlarında dört farklı PV teknolojisin gerçek performansını, IEC 61724 uluslararası standartlar tarafından önerilen performans indeksleri kullanarak incelemişlerdir. Kullanılan dört farklı PV teknolojisin performansların yakın olduğunu göstermişlerdir (UNE-EN et al. 2014).

Fisher ve arkadaşları (2014) PVSYST simülasyon programı ve Semprius Performans Modeli (SPM) kullanarak hazırlanan iki farklı modelin performans analizlerini yapmışlardır (Fisher et al. 2014).

Singh ve arkadaşları (2014) Yaptıkları çalışmada çatı tipi 43 kWp şebekeye bağlı amorf silisyum sistemi ile 58 kWp lik multi kristal silisyum sisteminin performanslarını karşılaştırmışlardır (Singh 2014).

Anto ve Jose (2014) 100 kWp PV enerji santralinin teknik performansını, çevre ve iklim koşulları altında incelemiştir. Sistemde oluşan harmoniklerin modül çalışma sıcaklığına, güneşlenme, gölgelenme ve toz gibi PV işletim şartlarına bağlı olduğunu söylemiştir (Anto et al. 2014).

Omar ve arkadaşları (2014) Shri Vishnu Eğitim Derneği çatısına kurulan 50kWp lik PV santralin performans analizini IEC 61724 standartlarına uygun olarak

yapmışlardır. Çalışma sonucunda bu santralin daha da büyüyüp farklı yönlere yayılabileceğini öngörmüşlerdir (Mohammed et al. 2014).

Fathi ve arkadaşları (2014) Fas'ta bulunan Theremote kırsal köyünde kurulan bir 7.2 kWp fotovoltaik enerji santralinin ayrıntılı analizini yapmışlardır. Böyle yük eğrisi, verim ve performans oranı gibi santral parametreleri sunulmuş ve tartışılmıştır. PV tesisin performans oranı %33 ve %70,2 arasında değişmektedir. Uzak kırsal köylere enerji sağlamak için tasarlanmış bir PV-santralini tarif etmişlerdir. Verim ve dolayısıyla tesislerin performans oranının hem enerji ihtiyacı hem de pilin şarj durumuna kuvvetle bağlı olduğu görülmektedir (El Fathi et al. 2014).

Bukhari ve arkadaşları (2015) Pakistan da kurulan 178 kWp lik Güneş enerji santralin performans analizini sunmuşlardır. Yıllık performans oranının diğer ülkeler ile karşılaştırıldığında iyi durumda olduğu sonucuna varılmıştır (Mehwish et al. 2015).

Yılmaz ve Özçalık (2015) Karamanmaraş ili içinde bulan bir tekstil fabrikası için 500 kWp'lik PV santralinde MATLAB ortamında bir modelleme yaparak performans ve maliyet analizini yapmıştır (Yılmaz & Özçalık 2015).

Plangklang ve arkadaşları (2015) Samut Songkhram, Tayland'da bulunan büyük ölçekli PV çatı santralinin güç kalitesi ve enerji verimi analizini sunmuştur. Ölçülen verilerin belirli parametreleri, Homer programı ile yapılan simülasyon ile karşılaştırıldıktan sonra dağıtılan güç verimini hesaplamak için kullanılmıştır. İncelenen PV çatı sistemi 987,84 kWp kurulu kapasiteye sahiptir. İzleme sonuçlarından, simülasyon sonucu 783 kW iken en yüksek güç veriminin 778,125 kW olduğu ortaya konmuştur. Ayrıca, PV çatı santralin ölçüm verileri, %95 kümülatif yüzdelik 50160 EN PEA standardına göre, santralin güç kalitesi, dağıtım ağı bağlantı sistemi için PEA düzenlemeleri geçtiğini göstermiştir (Plangklang et al. 2016).

Bianchini ve arkadaşları (2016) İtalya'da HEnergia laboratuvarında küçük boyutlu polikristal, kadmiyum tellür, mikrokristalin silisyum ile amorf silisyum, silisyum üç eklemli hücreler, çok eklemli Galyum arsenit hücrelerinden oluşan 8 farklı (3 kWp'in altında) fotovoltaik teknolojilerinin performans analizi ve ekonomik değerlendirmelerini incelemişlerdir (Bianchini et al. 2016).

Fotovoltaik güneş panellerin eğim açısını belirlemek güneşin geliş açışı sürekli değiştiği ve arazi coğrafi konumuna göre de farklılık gösterdiği için fotovoltaik güneş enerji santrallerde maksimum verimde üretim yapmak bir kez yere sabit olarak kurulması, için bu açıların bilinmesi gerekmektedir. Eğim açısını belirlemeye yönelik yapılan çalışmalar aşağıdaki gibidir:

Tang ve Liu (2010) matematiksel formül ile hesaplanan aylık yatay radyasyon eğim açısına dayalı, farklı açılara ayarlanabilir güneş panelleri ile yıllık toplam ışımayı tahmin etmek için yöntem geliştirmiştir. Hesaplama sonuçları güneş panelleri için eğim açılarının mevsimsel ayarlama ile, optimum değerlerinin $23\text{-}25^0$ arasında olduğunu göstermiştir (Tang & Liu 2010).

Zhao ve arkadaşları (2010)'na göre PV santral verimi için panel konumu ve güneş radyasyonu önemli iki faktördür ve optimum eğim açısı için matematiksel bir formül kullanarak hesaplama yapmışlardır (Zhao et al. 2010).

Best ve arkadaşları (2011) çatı tipi ve yer tipi olmak üzere iki farklı PV dizesi için PVSYST , Desing Pro-G ve PV Watts gibi üç farklı program kullanarak, optimum eğim açısını açısını hesaplayıp, simülasyon sonuçlarını karşılaştırmışlardır (Best et al. 2011).

Chatterjee ve Keyhani (2012) birbirinden farklı 5 bölge için optimum eğim açısını hem analitik yönden, hem de yapay sinir ağı modelini kullanarak hesaplamış ve bunların sonuçlarını karşılaştırmıştır (Chatterjee & Keyhani 2012).

George ve Anto (2012) PV panelinin performansının, yatay düzleme göre panelin eğim açısına bağlı olduğunu ifade etmiş ve Kerala, Hindistan'daki (9.55°K, 76.81ºE) bir PV panel için, ay boyunca optimum eğim açısı değerleri teorik, coğrafi faktör yöntemi, netlik indeks yöntemi ve sapma açısı yöntemi kullanılarak tahmin etmişlerdir. Deneysel araştırma üç ay için yapılmış ve coğrafi faktör yönteminin üç yöntem arasında en iyi yöntem olduğu bulmuşlardır (George & Anto 2012).

Quinn ve Lehman (2013) fotovoltaik (PV) panellerin optimum eğim açısını hesaplamak için yeni bir matematiksel yaklaşım sunmuşlardır. Ayrıca eğim açısına bulutlu koşulların etkisini araştırmışlardır (Quinn & Lehman 2013).

Siraki ve Pillay (2012) fotovoltaik (PV) panellerden maksimum yıllık ve sezonluk verim almak için optimum eğim açısını hesaplamanın önemli olduğunu vurgulamış ve bundan dolayı HDKR matemetiksel modelini kullanarak çeşitli çevresel koşulları göz önüne alıp hesaplama yapmışlardır (Gharakhani Siraki & Pillay 2012).

Yadav ve arkadaşları (2015) Hindistan'daki 26 farklı bölge için optimum eğim açısını Homer programını kullanarak hesaplamışlar ve simülasyon sonuçları ile karşılaştırmışlardır (Yadav 2015).

Simülasyon programları ile güneş enerji santralinin simülasyonun yapılarak performans parametrelerinin elde edilmesi, santralin değerlendirilmesi açısından önemlidir. Böylelikle performansı arttırma yönünde çalışmalara ışık tutacak veriler elde edilmektedir. Bu kapsamda yapılan bilimsel çalışmaların önemli bir kısmı aşağıda verilmiştir:

Sun Jianping (2011) PVSYST kullanarak tek eksenli fotovoltaik sistemler için basit optimal yerleşim şeması önermiştir. İlk olarak, kuzey-güney ve doğu-batı yönünde fotovoltaik dizi referans alanlarda PVSYST yazılım tabanlı hücre dizileri düzeni ile optimizasyon şeması hesaplanıp, paneller arasındaki mesafeyi bulmuştur (Sun 2011).

Moniruzaman ve arkadaşı (2012) optimizasyon için birkaç hibrit enerji sistemi modelinin tekno-ekonomik analizini yapmışlardır. Hibrid sistemlerin analizinde, ABD Colorado'daki Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL), tarafından geliştirilen yazılım paketi HOMER'de (Elektrikli Yenilenebilir Hibrit Optimizasyon Modeli) bulunan lojistik tip sayısal modeli kullanmışlardır. Bu yazılım paketini Bandarban'daki rüzgar ve, güneş verilerini analiz etmek için kullanmışlardır. Hibrid enerji sistemlerini karşılaştırmışlardır. (Moniruzaman et.al 2012)

Lakshmi ve arkadaşları (2012) bağımsız hibrit rüzgâr-PV üretim sistemlerinin genel performansını değerlendirmek için HOMER yazılımı kullanmışlar ve ekonomik yönden sonuçları analiz etmişlerdir (Prasad et al. 2012).

Iqbal ve arkadaşları (2014) CSEM-BAE de bulunan güneş açık hava laboratuarı araştırma merkezi (SOLAB)'ın mini hibrit PV sistem tasarımını Homer kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Iqbal et al. 2014).

Bouzguenda ve arkadaşları (2014) PVsyst v6.12 yazılım paketi kullanarak Kral Faysal Üniversitesinin 2 kW değerindeki Fotovoltaik güneş enerji sisteminin tasarımını yapmışlar ve enerji depolama tesisi ile önerilen sistemin teknik ve ekonomik analizi için bir metodoloji sunmuşlardır (Bouzguenda et al. 2014).

Abbas ve Qadeer (2014) hibrit enerji (PV-dizel-rüzgar) sisteminin ekonomik ve performans yönünden analizini Homer programı kullanarak yapmışlardır (Abbas & Qadeer-ul-Hasan 2015).

Freeman ve arkadaşları (2014) PV santral tasarımı İçin kullanılan PVsyst, PVWatts, PV*SOL, System Advisor Model gibi programların performanslarını karşılaştırmışlardır (Freeman et al. 2014).

Morshed ve arkadaşları (2015) Bangladeş'de kurulacak 2kW'lık güneş enerjisi sistemini, MATLAB programı yanında SolarMAT ve iki popüler yazılım olan PVsyst v5.06 ve Homer ile dizayn etmiş, sistemin performans-ekonomiklik açısından analizini yapmışlardır (Morshed et al. 2015).

Kumar ve arkadaşları (2015) dört farklı PV teknolojilerini (mono, poli, a-Si ve CIS) çeşitli parametreler kullanılarak karşılaştırmışlardır. Simülasyon PVsyst yazılımı (versiyon 5.14) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Simülasyonda farklı modüller için hesaplanan değerler ile, 2013 yılı için Hamirpur'da ölçülen santral verilerinden elde edilen yıllık ve aylık performans oranı (PR) değerleri ile karşılaştırma yapmışlardır (Kumar 2015).

3. MATERYAL ve METOT

3.1. Güneş Enerjisi

Güneş, 2.10^{27} ton kütleye sahip ve 7.10^{5} km yarıçaplı sıcak bir gaz kütlesidir. Bu kütle, dünyanın yaklaşık 330.000 katından daha büyüktür. Güneşten çıkan enerji miktarı 386.000.000 EJ (Eksa joule) civarındadır. Dünyamıza olan uzaklığı 149 milyon km dir. Güneşin etkili yüzey sıcaklığı 5800 ^{0}K civarındadır. Güneş merkezi bölgelerinde bu sıcaklığın 8.10^{6}-40.10^{6} ^{0}K arasında değiştiği tahmin edilmektedir. Güneş enerjisi, en önemli yenilenebilir enerji kaynağıdır. Güneşten füzyon yolu ile elde edilen enerji, genellikle güneş ışığı yada güneş enerjisi olarak adlandırılan elektromanyetik ışıma yoluyla dünyaya iletilir. Güneşten gelen ışımalar farklı dalga boylarına sahiptir. Gama, ultraviyole, infrared ve görünür ışınlar bu ışımaların bir kısmını oluşturur.

Güneş ışınları ile ilgilenen uzmanlar, yer küresi tarafından kesilen ışımanın yaklaşık 1/3'ü kadarının yansıma, dağılma ve kırılma yoluyla uzay boşluğuna gönderildiğini kabul ederler. Geriye kalan 2/3 kadarı ise yer küresi tarafından emilir ve farklı termodinamik dönüşümlerden sonra büyük bir kısmı kızıl ötesi ışınlar halinde uzaya gönderilir. Yeryüzüne gelen ışınlar, ısı ve ışık getirirler. Isı suyun denizlerden, göllerden ve ıslak topraklardan buharlaşmasına sebep olur. Atmosfer içindeki ısı değişikliği sonucunda su buharı, yağmur ve kar yağışı olur. Bu suretle güneşi termik enerjisinden türeyen hidrolik enerji ortaya çıkar.

Güneş ışığı, dünya atmosferine girdiği zaman, bir kısmı emilir bir kısmı dağıtılır, bir kısmı atmosfer içinde moleküller tarafından etkilenmeden geçer ve bir kısmı da zemindeki nesneler tarafından ya emilir ya da yansıtılır. Emilen güneş ışığı emilen moleküllerin enerjisini artttırır, bu yüzden onların sıcaklığı da artar. Dağılan güneş ışığı gerçekte gökyüzünü mavi yapan şeydir.

Güneş ışığı dünyanın yer yüzeyine dağılmadan ve hiçbir engele takılmadan ulaşırsa buna direkt veya doğrudan ışıma adı verilir. Güneşten alınan ışımanın atmosfer tabakasından geçip dağıldıktan sonra yönünün değişmesi sonucundaki ışımaya yayılan ışıma denilir. Bir yüzey üzerindeki direkt ve yayılan güneş ışımasının toplamındaki ışımaya ise toplam veya global ışıma denilir. Güneş ışımasının en yaygın ölçüsü, çoğunlukla yüzey üstündeki toplam (global) ışıma olarak temsil edilen yatay yüzey

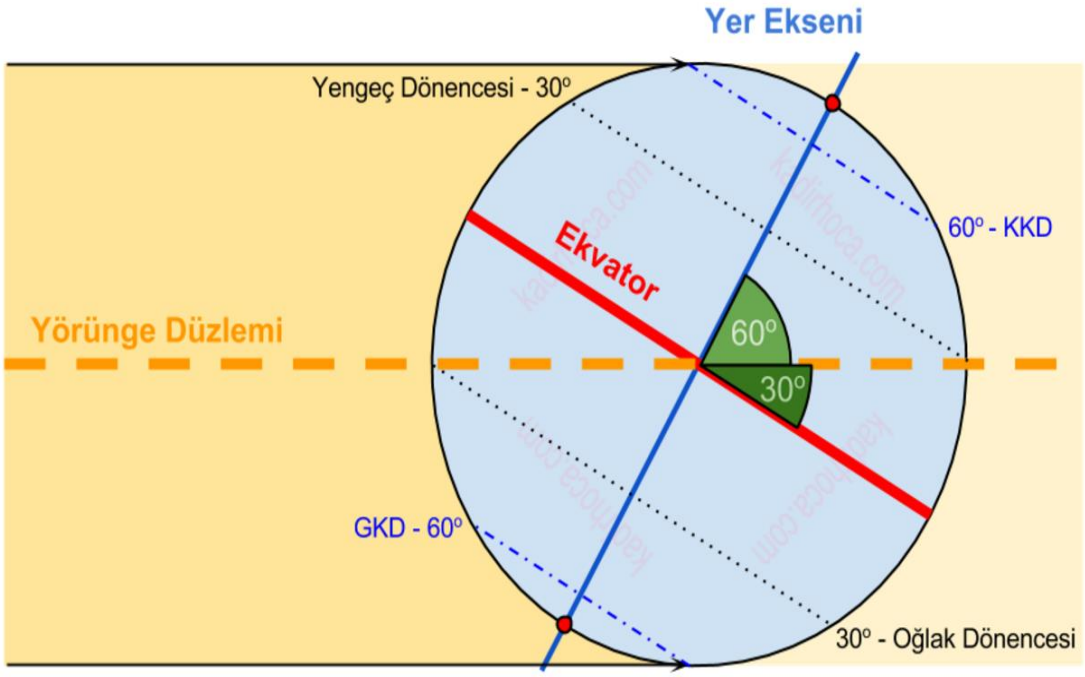
üzerindeki toplam ışımadır. Emilen yada dağılan güneş ışığının miktarı, atmosfer içerisindeki yolun uzunluğuna bağlıdır. Bu yol uzunluğu, deniz seviyesinde bir hava kütlesi olarak ifade edilir.

3.2. Güneş Açıları

Yeryüzünde, ışınımın en önemli özellikleri, dünyanın kendi ekseni etrafında dönmesi ve güneş çevresinde eliptik yörüngesi tarafından belirlenmektedir. Güneşten gelen ışınlar ile dünya üzerindeki yüzeyler arasında belirli açılar meydana gelmektedir. Herhangi bir zaman diliminde güneşin konumunu hesaplamak için bazı açıların bilinmesi son derece önemlidir. Herhangi sabit ya da hareketli bir düzlemdeki yüzeye gelen güneş ışımalarının değeri düzlemin bulunduğu yerleşim yerinin enlemiyle, boylamıyla, o güne ait olan tarih ve gün içindeki zaman dilimine göre değişiklikler gösterir. Düzlemin konumu, eğimi gibi hesaplamalar yüzey üzerindeki ışıma miktarını değiştirir. Bu yüzden direkt gelen güneş ışımalarını kapsayan, güneşin pozisyonunu belirlemek gerekmektedir.

Enlem Açısı (Φ): Ekvatorun kuzeyinde veya güneyinde bulunduğu açışal yerleşim yeridir. Enlem açısı, $-90° \leq \Phi \leq 90°$ arasında değişim gösterir.

Deklinasyon Açısı (δ): Güneşin doğrultusu ile ekvator arasındaki açı miktarıdır. Deklinasyon açısı, $-23{,}45° \leq \delta \leq +23{,}45°$ arasında değişmektedir. Ekinoks tarihlerinde deklinasyon açısının değeri, güneş ışığı ekvatora paralel olduğu için sıfırdır.



Şekil 3.1. Dünyanın Şekli

Bu açıların arasında yer almasının nedeni dünyanın etrafında döndüğü kutupsal eksen ve uzayda kendi yörünge düzlemine 66,55°'lik bir açıyla sabitlenmesinden kaynaklanmaktadır(90°-66,55° = 23,45°). Açıklamak gerekirse; yörünge düzlemi ile dünyanın ekvator düzlemi arasındaki bu açı 21 Haziran da en yüksek yani 23,45°, 21 Aralık da ise en düşük -23,45°'dir. Ekinoks noktalarında 21 Mart ile 22 Eylül deklinasyon açısı "sıfır" olmaktadır.

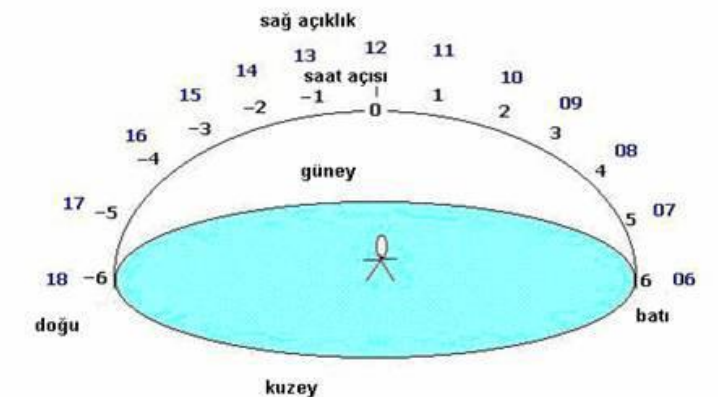
Deklinasyon açısının yaklaşık değerini Cooper denkleminden hesaplanabilmektedir:

$$\delta = 23{,}45 \times sin(360 \times \frac{(284+n)}{365}) \quad (3.1)$$

$$\delta = -23{,}45 \times \cos(0{,}986 \times (n + 10{,}5)) \quad (3.2)$$

denklemlerde yer alan "n" = bir Ocaktan itibaren gün sayısıdır.

Saat Açısı (ω): Öğle saatinde göre (12:00), bulunan zaman diliminin oluşturduğu açı miktarıdır. Her saat 15° ye karşılık gelir. Öğle öncesi ve öğle sonrası pozitif olarak kabul edilir. Gün içerisindeki değişim -180° ≤ ω ≤ +180° arasındadır.



Şekil 3.2 Saat Açısı

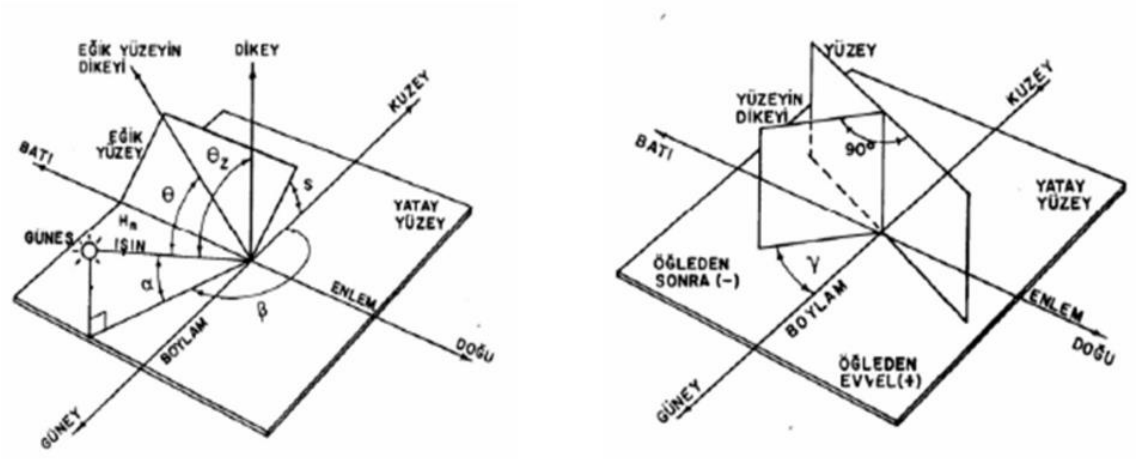
$$\omega = 15 \times (GS - 12) \tag{3.3}$$

Güneşin batış derecesi (GB°) zamanı aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilmektedir.

$$GB = cos^{-1}[-(\tan(\delta) \times \tan(\phi))] \tag{3.4}$$

$$\text{GBS} = \frac{\text{GB}}{15}$$

Zenit Açısı (ψ) : Güneşin doğrultusu ile dikey eksen arasındaki açı miktarıdır. Yatay düzlemde, güneşin doğuşu ve batışı sırasında zenit açısı 90° ve öğle saatinde (12:00) ise zenit açısı 0°'dir.



Şekil 3.3. Zenit Açisi

Zenit açısı, güneşin doğuşu ile güneşin batışı sırasında 90° iken, güneş ışınlarının dik geldiği durumda sıfıra eşittr. Zenit açısı diğer açılara bağlı olarak hesaplanabilmektedir;

$$\text{Cos}(\psi) = (\sin(\phi) \times \sin(\delta)) + \cos(\delta) \times \cos(\omega) \tag{3.5}$$

$$\psi = 90 - \alpha$$

Burada ψ zenit açısı, Φ enlem açısı, δ deklinasyon açısı, α güneş yükseklik açısı, ω saat açısını ifade eder.

Yükseklik Açısı (α): Güneşin doğrultusu ile yatayın oluşturduğu açı miktarıdır. Zenit açısını 90°'ye tamamlar. Zenit açısıyla arasında trigonometrik ilişki vardır

$$\alpha = 90 - \psi$$

α = Güneş yükseklik açısı ψ = Zenit açısı

Güneş yükseklik açısı, en yüksek değerini her mevsimde öğle vaktinde alıyorken, güneşin doğuşu ve güneşin batışı sırasında güneş yükseklik açısı sıfıra eşit olmaktadır. Güneş yüksekliği 21 Aralık'ta 26,5° ile en küçük, 21 Haziran'da 73,5° ile en büyük değerine ulaşmaktadır. Güneş yükseklik açısı hesaplanması ise aşağıdaki denklem ile yapılmaktadır;

$$\alpha=\sin^{-1}[(\cos(\delta)\times\cos(\phi)\times\cos(\omega))+(\sin(\delta)\times\sin(\phi))] \quad (3.6)$$

Burada α Yükseklik açısı, δ Deklinasyon açısı, Φ Enlem açısı, ω Saat açısını ifade eder.

Güneş Azimut Açısı (γ_s): Güneş ve dünya doğrultusunun yatay düzlemdeki izdüşümünün, kuzey-güney doğrultusu ile yapmış olduğu açıya güneş azimut açısı denir. Ayrıca güneş azimut açısı, kuzeye göre saat dönüş yönünde sapmasını belirtmektedir. Güneyden doğuya doğru (-), batıya doğru (+) olarak kabul edilmektedir. Saat 12:00'da γs = 180°'dir. Gelen doğrudan ışınım ile yüzeyin diki arasındaki açı, yüzey-güneş azimut açısı (β) olarak adlandırılmaktadır. Azimut açısı, gün uzunluğunun 12 saatten fazla olması durumunda, günün bazı saatlerinde 90°'den fazla olmaktadır. Güneye doğru azimut açısı aşağıdaki gibi belirlenmektedir;

$$\sin\ \gamma = -\frac{(\cos\ \delta\times\sin\ \omega)}{\sin\ \psi} \quad (3.7)$$

Ve ya

$$\gamma=\sin^{-1}\left[\frac{(\cos(\delta)\times\sin(\omega))}{(\cos(\alpha))}\right] \quad (3.8)$$

Yüzey Azimut Açısı: Eğik bir yüzeyin normalinin oluşturmuş olduğu izdüşüme yüzey azimut açisi denir. Güney referans alınarak (sıfır) , doğuya doğru negatif ve batıya doğru pozitif kabul edilmektedir. Bu açı $180° \leq \gamma \leq 180°$ arasında değişim göstermektedir.

Güneş Geliş Açısı (θ): Yüzeye gelen direkt güneş ışınımı ile yüzeyin normali arasındaki açıya güneş geliş açısı denir. Yüzey güneş ışınlarına dik ise, geliş açısı sıfır (, paralel ise 90° eşit olmaktadır. Geliş açısı aşağıdaki denklem ile hesaplanabilmektedir;

$$\cos(\theta) = [(\sin(\delta)\sin(\phi)\cos(\beta)) - (\sin(\delta)\cos(\phi)\sin(\beta)\cos(\gamma)) + (\cos(\delta)\cos(\phi)\cos(\beta)\cos(\omega)) + (\cos(\delta)\sin(\phi)\sin(\beta)\cos(\gamma)\cos(\omega)) + (\cos(\delta)\sin(\beta)\sin(\gamma)\sin(\omega))] \quad (3.9)$$

veya

$$\text{Geliş açısı: } \theta = \cos^{-1}[(\cos(\delta)\times\cos(\phi-\beta)\times\cos(\omega)) + (\sin(\delta)\times\sin(\phi-\beta))] \quad (3.10)$$

Burada β dikkate alınan yüzeyin yatay düzlemle yaptığı eğim açısı, δ=Deklinasyon açısı, γ =Azimut açısı, ω =Saat açısı, φ =Enlem açısını ifade eder.

Eğim Açısı (β): Yatay ile verilen yüzey düzleminin oluşturduğu açı miktarıdır. Kuzey yarım kürede güneye eğimli düşünülür. Eğim açısı $0° \leq \beta \leq 180°$ arasında değişmektedir.

Gün Doğumu ve Gün Batımı Açısı: Bazı durumlarda belirli bir bölgedeki gün doğumu ve gün batımı açılarının bilinmesi gerekli olabilmektedir. Güneşin doğduğu zamanda veya gün battığı zamanda solar yükseklik sıfıra eşit olmaktadır. Güneşin doğduğu zamanda zirve açısı 90° iken gün battığı zamanda ise -90°'ye eşit olmaktadır. Yüzeyin düz olduğu varsaylırsa gün doğumu ve gün batımı açısı aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanabilmektedir;

Gün doğumu açısı:

$$\omega_{sr} = \cos^{-1}(-\tan\phi \times \tan\delta) \quad (3.11)$$

Gün batımı açısı :

$$\omega_{ss} = \cos^{-1}(-\tan\phi \times \tan\delta) \quad (3.12)$$

Gün ışığı saati ise genelde aşağıdaki formüller hesaplanır;

$$S_{max} = \frac{2}{15}\cos^{-1}(-\tan\phi \times \tan\delta) \quad (3.13)$$

Burada S_{max} saat cinsindedir.

Meteorolojik bilgiler genellikle, yatay bir yüzeye düşen toplam radyasyon miktarını belirtmektedir. Ancak PV panelleri genellikle verimlerini artıracak şekilde yatay ile belirli miktar eğim açısı yapacak şekilde yerleştirilirler. Eğim açısı genellikle günlere ve arazinin coğrafi konumuna göre farklılık göstermektedir. Bu farklılıktan ötürü eğimli yüzeye gelen solar radyasyon miktarının belirlenmesi tasarımlar için oldukça önemlidir. Bu nedenle günlük, haftalık, aylık veya mevsimlere göre eğim açısının belirlenebilmesi için hesaplamalar yapmak gerekmektedir. Eğimli bir yüzeye düşen günlük radyasyonun aylık ortalamasının hesaplanması birçok güneş enerjisi sisteminin tasarımı için oldukça önemlidir.

$$H_0 = \frac{24}{\pi} G_{sc}(1 + 0.333\cos(\frac{360n}{365})(cos\phi\, cos\delta\, sin\omega + \frac{\pi\omega}{180} sin\phi\, sin\delta)) \quad (3.14)$$

Yukarıdaki eşitlikte yatay yüzeye düşen günlük radyasyonun hesaplanır.

$$H_T = (H - H_D)R_b + \frac{H_D}{2}(1 + cos\beta) + \frac{H\rho}{2}(1 - cos\beta) \quad (3.15)$$

Burada Liu ve Jordan tarafından yatay bir yüzeydeki günlük radyasonun hesaplanması için verilen formül sunulmuştur. Formülde, H_T eğimli yüzeydeki günlük radyasyonun aylık ortalamasını, H yataydaki günlük radyasonun aylık ortalamasını, H_D yataydaki dagılan radyasyonun aylık ortalamasını, R_b ışın radyasyonun aylık ortalamasını göstermektedir.

Burada tam olarak R_b:

$$R_b = \frac{\cos(\phi-\beta)cos\delta\, sin\omega' + (\frac{\pi}{180})\omega' \sin(\phi-\beta)sin\delta}{cos\phi\, cos\delta\, sin\omega + (\frac{\pi}{180})\omega\, sin\phi\varphi\, sin\delta} \quad (3.16)$$

$$\omega' = [\begin{matrix}\omega = \cos^{-1}(-tan\phi\, tan\delta) \\ \cos^{-1}(-\tan(\phi - \delta)\, tan\delta)\end{matrix}] \quad (3.17)$$

formülleri ile hesaplanmaktadır.

Güneş ışıması için önemli parametrelerden biride aylık ortalama açıklık indeksidir. Aylık ortalama açıklık indeksi K_T, dünya dışı radyasyonun aylık ortalama değeri ile günlük ortalama değerinin oranına eşittir.

$$K_T = \frac{H}{H_o} \tag{3.18}$$

Burada H_0 ayın ortasındaki günde hesaplanmalıdır. Aylık ortalama günlük dağılan radyasyon ile ortalama günlük radyasyon değerleri Erbs bağıntısı ile hesaplanır.

$\omega_s \leq 81.4°$ için

$$\frac{H_D}{H} = 1{,}391 - 3{,}560K_T + 4{,}189K_T^2 - 2{,}137K_T^3 \tag{3.19}$$

$\omega_s > 81.4°$

$$\frac{H_D}{H} = 1{,}311 - 3{,}022K_T + 3{,}427K_T^2 - 1{,}821K_T^3 \tag{3.20}$$

ile hesaplanmaktadır.

3.3. Fotovoltaik Güneş Panelleri

Fotovoltaik (PV) güneş panelleri güneş enerji santrallerin en önemli parçalarından biridir. Fotovolaik güneş panelleri güneşten aldıkları enerjiyi yapıldıkları yarıiletken malzeme sayesinde elektrik enerjisine çeviren elemanlara denmektedir. Tek bir fotovoltaik hücre mikrometreyle ölçülecek kadar ince olup, genelde kare, dikdörtgen veya dairesel şekillerde üretilmektedir. Tek bir PV hücreden elde edilen enerji oldukça az olduğu için, hücreler seri veya paralel bağlanarak güneş panelleri meydana getirilmiştir. Büyük miktarlarda elektrik üretmek için paneller de birbirine seri ya da paralel bağlanarak fotovoltaik dizisini oluştururlar.

Günümüzde dünyada birçok firma fotovoltaik güneş panelleri üretmektedirler. Fotovoltaik paneller yapısına göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

1) **Alüminyum Çerçeveli ve Camlı Fotovoltaik Güneş Panelleri**

Fotovoltaik güneş enerjisi paneli alüminyum bir çerçeve içerisine yerleştirilmiştir. Bu tür güneş panelleri cam bir tabaka ve hücreleri çevresel etkilerden

koruyacak bir filmle kaplanmış şekilde fotovoltaik hücrelerden oluşturulmuştur. Piyasa da en çok tercih edilen panel türüdür.

2) Çerçevesiz Fotovoltaik Güneş Panelleri

Çerçevesiz fotovoltaik güneş panelleri yüksek verime sahiptir. Bu tür fotovoltaik güneş panelleri monokristal silikon hücrelerinden yapılmış olup iki tabaka optik filmle kaplanmışlardır. Panelin arka kısmında bir PET film, ortada fotovoltaik güneş hücresi ve ön kısmında bir PET film üretilmektedir. (www.intersolar.ru/photovoltaic/)

3) Metal Tabanlı Fotovoltaik Güneş Panelleri

Metal tabanlı fotovoltaik güneş paneli, optik film tabakaları arasında ince tabakalara ayrılmıştır. Ayrıca oldukça etkin monokristal silisyum güneş enerjisi hücrelerinden yapılmışlardır. Fotovoltaik güneş panelleri metal bir taban, PET film, ortada fotovoltaik hücreler, ön kısımda PET film ya da camdan üretilmektedir. (www.pvsolmecs.com/modules).

4) Çift Yüzeyli Fotovoltaik Güneş Panelleri

Yeni bir üretim türü olan bu sistem, hem ön hem arka yüzeyi ile enerji üreten yeni fotovoltaik güneş panelidir. Bu paneller birçok fotovoltaik güneş uygulamalarında kullanılabilirler. (www.pvsolmecs.com/modules.html).

Fotovoltaik panellerin, fotovoltaik hücrelerin bir araya gelmesiyle oluştuğuna daha önce de değinmiştik, ancak bu panellerin verimleri yapımında kullanıldıkları malzemenin türüne göre değişmektedir. Fotovoltaik paneller yapıldıkları malzeme türüne göre üç başlık altında sınıflandırılabilir.

3.3.1. Kristal Silisyum Fotovoltaik Hücreler

Dünyada fotovoltaik hücreler için en çok kullanılan malzeme kristal silisyum ve yarıiletken teknolojisidir. Dünya üzerinde en çok tercih edilen PV hücreler olmasının yanı sıra maliyeti diğer hücre türlerine göre daha yüksektir.

Bu tür fotovoltaik hücreler mono-kristal ve poli-kristal olmak üzere iki şekilde üretilirler. Mono- kristalin hücreleri, aynı gücü üreten poli-kristalin hücrelerine göre yüksek verimlilik göstermektedir ama üretim teknolojisinin uzun zaman alması ve bununla birlikte maliyetin artması mono-kristallerin dezavantajlarını oluşturmaktadır.

Poli-kristal fotovoltaik hücreler, tek bir kristalden meydana gelmediği için ve kristaller arasında damarların yapıları ve elektriksel özellikleri farklılık gösterdiği için

verimleri mono kristal panellere göre düşüktür. Poli-kristal hücre için günümüzde %18'lik verim ile yaklaşık olarak 25 yıl ömür biçilmiş üretimleri mevcuttur.

Mono-kristal fotovoltaik hücreler, tek bir kristalden meydana geldiği için içinde homojen dağılan atom yapısından dolayı verimlilik oranları % 15-20 arasında değişir. Günümüzde verimleri arasında çok yüksek farlılıklar olmadığı için fotovoltaik güneş enerji santrallerinde düşük maliyetinden dolayı poli-kristal fotovoltaik paneller kullanılmaktadır.

3.3.2. İnce Film Fotovoltik Güneş Panelleri

İnce film fotovoltaik hücreler, kristal silisyum fotovoltaik hücrelere göre oldukça ucuz olmasına karşın verimleri düşüktür. Bu dezavantaja sahip olmasına karşın, sıcaklıktan dolayı meydana gelen kayıplardan etkilenmemesi ve gölgelenme olmayan bölgelerin üretime devam etmesi avantajına da sahiptir.

İnce film fotovoltaik hücreleri, Amorf Silisyum (a-Si), kadmiyum tellür (Cd-Te), Bakır İndiyum Selenür (CIS) ve Bakır İndiyum Galyum Diselenür (CIGS) olmak üzere dört farklı şekilde üretilirler. Ayrıca Amorf Silisyum hücreler ile kristal silisyum hücrelerin bir araya getirilmesiyle yüksek verime sahip Hibrit hücreler günümüzde üretilmeye başlanmıştır.

a-Si fotovoltaik hücreler soğurma katsayısı çok yüksek olduğundan elektronik sektöründe az güç çıkışı ve düşük maliyet istenen durumlarda kullanılmaktadır. Verimliliği laboratuvar ortamında %15'lere kadar çıkarılmış olsa da güneş ışığı altında malzeme bu verimini kaybetmektedir.

Periyodik tablonun ikinci grubunda yer alan Cd-Te fotovoltaik hücreler yüksek soğurma özelliğine sahiptir. 1μm kalınlığa sahip olmasına karşın üzerine düşen ışığın nerdeyse tamamına yakınını soğurma özelliğine sahiptir.

CIS ve CIGS fotovoltaik hücreler periyodik tablonun birinci, üçüncü ve altıncı grubunda yer alan bakır, indiyum ve selenyumdan üretilmektedir. Bu hücrelerin verimliliği de %18'lere sahiptir. Ancak panel ömrü olan 20 yıl süresince verimlilik düşmektedir.

3.3.3. Yeni Nesil Fotovoltaik Hücreler

1970 yılında başlayan araştırmalar sonucu üretilen günümüzde uzay uygulamalarında ve güneş arabalarında kullanılan maliyeti yüksek olan Galyum

Arsenür (GaAs) ile laboratuvar şartlarında üretilebilen güneş hücreleri, henüz araştırma ve geliştirilme aşamasında olan yeni nesil fotovoltaik hücredir. Verimleri %20-%30 arasında değişmektedir.

1988 yılında M. Graetzel ve Brian O'Regan tarafından keşfedilmiş ve geliştirilmiş olan boya duyarlaştırıcılı fotovoltaik güneş hücreleri (DSSC) düşük maliyeti ile önemli bir avantaja sahiptir.

Diğer yeni nesil fotovoltaik güneş hücresi, plastik güneş hücreleri (moleküler ve polimerik), yüksek verimli güneş hücreleri, sıcak elektron dönüştürücüleri olarak araştırma ve geliştirme aşamasındadır.

3.4. Güneş Enerji Santrallerinde Kullanılan İnverterler

İnverterler doğru akımı alternatif akıma çeviren DA-AA çeviricilerdir. İnverterler temel olarak girişindeki bir doğru gerilimi çıkışında istenen genlik ve frekansta simetrik bir alternatif gerilime çevirirler. Çıkışta elde edilen gerilim ve frekans değerleri sabit veya değişken bir şekilde üretilebilmektedir. İnverterleri genel olarak iki şekilde sınıflandırabiliriz.

a-)Şebekenin bulunmadığı durumlarda kullanılan şebeke bağlantısız (off-grid) inverterlerdir. Bu inverter türü daha çok depolamalı sistemlerde karşılaşılmaktadır. Panellerden üretilen elektrik doğrudan AA elektriğe dönüştürülüp bir yükü besleyebiliyor iken, bir akü de depolan DA enerji inverterde AA'ye dönüştürülerek de bir yük beslenebilmektedir.

b-)Şebekeye bağlı sistemler için kullanılan şebeke bağlantılı (on-grid) inverterlerdir. Bu sistemde fotovoltaik güneş panellerinde elde edilen DA elektrik doğrudan AA elektriğe dönüştürerek elektrik şebekesine verilmektedir. Şebeke bağlantılı inverterler ise merkezi, dizi (string) ve mikro inverterler olarak üç gruba ayrılmaktadır.:

- Merkezi inverterler büyük güçlerde santrallerde kullanıma uygun olarak imal edilmişlerdir. Bu inverter türünde tek bir inverterin gücü yüzlerce kW mertebelerinden başlayıp MW mertebelerine kadar ulaşabilmektedir.

- Dizi inverterler düşük güçlerde saha ve çatı uygulamalarında kullanılmaktadır. Tek bir santrali gruplara ayırarak her bir grubun ayrı enerji üretilmesi sağlanır.
- Mikro inverterler ise günümüzde çatı uygulamalarında karşımıza çıkar her bir panelin arkasına monte edilen küçük güçlü inverterdir.

3.5. IEC 61724 Standart Performans Parametreleri

IEC; merkezi Cenevre (İsviçre)'de bulunan, 82 ülkenin ulusal komitelerinin üyesi olduğu, 1906 yılında kurulmuş, elektrik, elektronik ile ilgili teknolojiler konusunda uluslararası standartları hazırlayan ve yayımlayan uluslararası standart organizasyonudur.

IEC 61724 standardı güneş enerji santrallerinin performansı incelemek için kullanılan bir standarttır (Kisan et al. 1998). Dicle Üniversitesi güneş enerjisi santralinin performans analizi IEC 61724 standart parametrelerine göre yapılmıştır. Bu standarda göre sistemin enerji ve performans değerleri belli bir periyod (τ) çerçevesinde izlenmektedir. Alınan verilerin analizi aşağıdaki tanımlar ve formüller yardımıyla gün, ay ve yıl olarak değerlendirilebilir (Padmavathi & Daniel 2013; Sharma & Chandel 2013).

Performans parametrelerinden ilki olan referans verim (YR) belli bir düzleme gelen toplam güneş ışınımının (Ht) referans ışınıma G (1 kW/m^2) oranıdır ve aşağıdaki eşitlikle tanımlanır:

$$Y_R = \frac{H_t\ (kWh/m^2)}{G(kW/m^2)} \tag{3.21}$$

Diğer bir performans parametresi dize verimdir. (YA) Dize verim, belli bir periyodda (gün/ay/yıl) sistemin PV dizelerden üretilen enerjinin kurulu güce oranıdır ve aşağıdaki eşitlikle ifade edilir:

$$Y_A = \frac{E_{A,d}\ (kWh)}{P_0\ (kW)} \tag{3.22}$$

Bu eşitlikte $E_{A,d}$ sistemin ürettiği enerji, P_0 ise kurulu güçtür

Kullanılan performans parametrelerinden bir diğeri de nihai verimdir. (YF) Nihai verim, belli bir periyotta (gün/ay/yıl) sisteme verilen enerjinin kurulu güce oranıdır ve aşağıdaki eşitlikle ifade edilir:

$$Y_F = \frac{E_{Use,PV}}{P_0} \tag{3.23}$$

Bu eşitlikte E_{Use}, PV sisteme verilen enerji, P_0 ise kurulu güçtür. IEC 61724 standardında tanımlanan performans kriterlerinden biri olan performans oranı (PR), nihai verimin referans verime oranı olarak tanımlanır(Aste et al. 2013).

$$PR = \frac{Y_F}{Y_R} \tag{3.24}$$

Bu parametre performansı ve uzun vadeli değişiklikleri değerlendirmek için kullanılır. Kapasite faktörü (CF), bir yıl borunca üretilen toplam enerjinin, yıllık PV panel potansiyel enerjisine oranına denir(Milosavljević et al. 2015).

$$CF = \frac{E_{AC,a}}{8760 \times P_{PV,rated}} \tag{3.25}$$

Bu eşitlikte $E_{AC,a}$ bir yıl boyunca üretilen toplam enerjinin kWh cinsinden değeri, $P_{PV,rated}$ kurulu PV gücünü, 8760 ise bir yıldaki saat sayısını ifade eder. İncelenen sistemin verimi aşağıdaki eşitlikle ifade edilir:

$$\eta_{sys,m} = \frac{E_{AC}}{H_t \times A_a} \tag{3.26}$$

Burada E_{AC} sistemin ürettiği AA gücü, H_t sisteme gelen ışınımı, A_a sistem yüzey alanını ifade eder. Ayrıca sistemde gerçekleşen enerji kayıpları da hesaplanabilir. Sistemin gerçek şartlar altında işletilmesinde santral yapısında bulunan çeşitli bileşenlerden dolayı kayıplar meydana gelir(Sharma & Chandel 2013). Bu kayıplar aşağıdaki gibi ifade edilir.

Dize kaybı (L_C): sistemin üretilen referans verim ile dize verim arasındaki farktır(Anto et al. 2014).

$$L_C = Y_R - Y_A \tag{3.27}$$

Sistem kaybı (L_S): Dize verim ile nihai verim arasındaki farktır.

$$L_S = Y_A - Y_F \tag{3.28}$$

3.6. Güneş Simülasyon Programları

Projeler için hazırlanan simülasyon raporları, projelerin yatırım statüsünü belirlediği için büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle simülasyon programına projeye

ilişkin dataların doğru girilmesi önemlidir. Simülasyon raporlarının doğruluk seviyesi programın özelliklerinin yanı sıra doğru mühendislik tecrübesi ile de ilişkilidir.

Simülasyon programları ile hazırlanan raporların sonuçlarının gerçek değerlerle karşılaştırılması, raporların doğruluk seviyeleri, uluslararası araştırmalarda her zaman önemli bir yer tutmuştur. Simülasyon programlarını hazırlayan ve kullanan ticari firmalar, üniversiteler, araştırma kurumları vb. kurumlar, bu raporların doğruluğunu değerlendirmek amacıyla çalışmalarına devam etmektedirler.

3.6.1. HOMER

HOMER enerji modelleme yazılımı, konvansiyonel jeneratörler, kojenerasyon üniteleri, rüzgar türbinleri, fotovoltaik, hidroelektrik, piller, yakıt hücreleri, biyokütle ve diğer bileşenlerden oluşan hibrit güç sistemlerinin, tasarımı ve analizi için kullanılan güçlü bir araçtır. Şu anda on binlerce insan tarafından tüm dünyada kullanılmaktadır. HOMER hem off-grid, hem de şebekeye bağlı elektrik sistemleri için tasarım seçeneklerini değerlendirebilen ve uygulamaları kolaylaştıran bir bilgisayar programıdır. Enerji verimliliği, enerji üretimi, sanayi ve ticari faaliyetlerin ve arazi kullanım uygulamalarından kaynaklanan çevre sorunlarına teknolojik ve ekonomik çözümler sunmaktadır.

3.6.2. PVSYST

PV sistemlerinin çalışması, boyutlandırması, simülasyon ve veri analizi için bir PC yazılım paketidir. Bu yazılım, şebekeye bağlı veya tek başına, DA-grid (toplu taşıma) sistemleri için, geniş bir meteorolojik ve PV-bileşenler altyapısıyla kullanabilecegimiz veri tabanı sunmaktadır. Bu yazılım mimarlar, mühendisler ve araştırmacılara yönelik olarak hazırlanmış ve eğitim için yararlı olabilecek bir üründür. Cenevre Üniversitesi tarafından geliştirilen en eski fotovoltaik yazılımlarından biridir. Ana özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Şebekeden bağımsız PV sistemlerinin tam tasarımı

- Şebekeye bağlı PV sistemlerinin Tam tasarımı

- PV paneller, inverterler ve meteorolojik verileriyle bütünleşik veri tabanı

- Faydalı 3D uygulaması ile yakın gölgelerin simüle edilebilmesi

- PVGIS NASA veri tabanlarından ışınlama verilerinin kullanılabilmesi

- Ekonomik değerlendirme ve geri ödeme hesaplarının yapılabilmesi

- CSV dosya formatında hesaplamaların aktarılabilmesi

3.6.3. PV*SOL

PV*SOL simülasyon programı, arazi üstü ve çatı tipi güneş enerji santralleri gerçeğe uygun olarak tasarımını yapıp bir yıllık simülasyonunun yapan güneş enerji santrali tasarım programıdır. Şebekeye bağlı veya şebekeye bağlı olmayan sistemlerim kurulumunu yapmaya yarayan çok yönlü tasarım programıdır.

PV * SOL Expert: 3D nesnelere dayanan gölge hesaplama özelliği ile PV sistemlerinin 3D görselleştirmesini yapar. Bu görselleştirme ile çatı alanında kurulacak PV santral için bir ön çalışma yapmamıza olanak sağlar. 3D modunda görüntüleme ile bir gün ya da bir yıl süre boyunca gölge seyrinde önemli bilgileri kullanıcıya sunar. 10 dakikalık aralıklarla gölgeleme simülasyonu ve verim simülasyonu her modül için yapılabilir.

3.6.4. BlueSol

BlueSol kullanımı çok kolay bir standart Microsoft ara yüzü ile dünyadaki her ülkede fotovoltaik sistemlerin tasarımı için kullanılan bir yazılımdır. Bu simülasyon programı ile, bir yere kurulacak sistemin ön değerlendirmesinin yapılmasına olanak sağlar. BlueSol programının başlıca özellikleri şunlardır:

- Fotovoltaik sistemin boyutlandırılması için doğrudan düzenleme kullanılması;
- Ekleme ve kabloların ve elektrik aksamlarının doğrulanması;
- Planimetri modülleri, dizeleri, kablolar, paneller ve inverterleri düzenlemek için bütünleşmiş CAD sistemi;
- Yakın engeller ve yüzeyler üzerinde ışın uygulaması değerlendirmelerinin, gölgeleme simülasyonları ile düzenin 3D görüntülenebilmesi.

3.6.5. PVGIS

PVGIS bir fotovoltaik (PV) sistemin üreteceği güneş enerjisini tahmin etmek için kullanılan ücretsiz online bir araçtır. Fotovoltaik panellerden elde edilebilecek yıllık çıkış enerjisini hesaplamaktadır. PVGIS Avrupa Komisyonu bünyesindeki bilim

hizmetleri merkezi olan JRC (ortak araştırma merkezi) tarafından yürütülen bir projedir. Bu proje kapsamında ücretsiz web tabanlı bir simülasyon programı hazırlanmıştır. Bu uygulama ile ortalama günlük ve aylık elektrik enerjisi üretimi, ayrıca santralin kurulduğu konuma gelen, metrekare başına ortalama aylık ve yıllık küresel ışınım miktarı grafik ve tablo olarak verilmektedir. Ayrıca sistemde yerel ortam sıcaklığı kullanılarak sıcaklık ve düşük ışınım nedeniyle oluşan tahmini kayıplar, açısal yansıma etkilerinden dolayı tahmini kayıplar, kablo kayıpları, inverter kayıpları ve kombine PV sistem kayıpları tablo olarak verilmektedir. İzleme seçenekleri ile yatay eksen, eğik eksen ve iki eksenli olarak sonuçları elde etmek mümkündür.

3.6.6. Solar Advisor Model (SAM)

SAM programı ar-ge çalışmaları yapan araştırmacılara, mühendislere ve yenilenebilir enerji sektöründe yer alan insanların çalışmalarını kolaylaştırmak için tasarlanmış bir performans ve ekonomik modeldir. SAM kullanıcıları güneş enerji santrallerinin sistemler üzerindeki fiziksel etkilerini anlamak için geliştirilen bir programdır. Ayrıca bu simülasyon programı yatırımcıya değişen maliyet şartlarına uygun arayüz sunarak daha doğru hesaplama yapmasını sağlar. Bu simülasyon programı finansal parametrelerin sistem maliyeti üzerindeki etkilerini araştırmak için de kullanılır. SAM simülayon programı yoğunlaştırılmış güneş enerjisi (CSP) parabolik çukur, çanak-stirling sistemleri ve fotovoltaik (PV) güneş enerji santrallerin kurulmasını ve bununla üzerine araştırma yapılmasını sağlayan arayüz yazılımına sahiptir. Bu simülasyon programı birbirini etkilemeyen kategoriler (modül, inverter, BOS, Tesisat) arasında nakliye ve diğer maliyetleri toplamını yada ayrı ayrı da verebilmektedir.

3.7. Dicle Üniversitesi Güneş Enerji Santrali

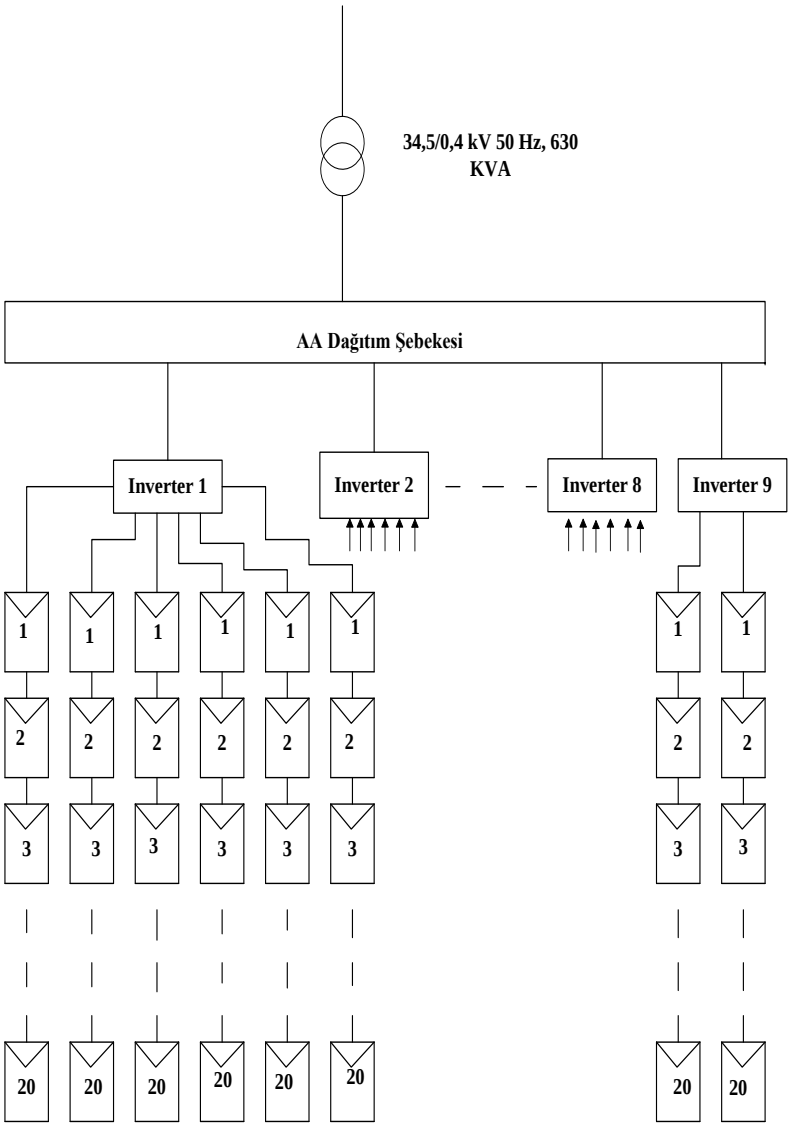
Dicle Üniversitesi Güneş Santrali 40016'E boylam, 37054'N enlem koordinatlarına kurulmuştur. Santral gücü 250 kWp'dir. Güneş enerji santralinin ortam hava sıcaklığı ortalaması bir yıl boyunca 31,1 °C - 1,7 °C arasında değişmektedir.

Santralde Viessmann Vitovolt 300 P250 polikristal modüller kullanılmıştır. Bu sistemde 250 Wp gücünde 1000 modül 30 derecelik bir eğim açısı ve 0^0lik azimut açısı ile güneye bakacak şekilde yerleştirilmiştir. Ayrıca her modülde 60 güneş hücresi vardır. Çizelge 3.1 'de kullanılan panelin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.1 Viessmann Vitovolt 300 Panel Etiket Değerleri

	Ölçülen Değerler	**Oran Değerler**
Nominal Güç	253,1438 W	250 W
Maksimum güçte gerilim	30,3639 V	30,38 V
Maksimum akım	8,337 A	8,29 A
Açık devre gerilimi	37,1664 V	37,12 V
Kısa devre akımı	8,796 A	8,76 A
Maksimum sistem gerilimi		1000 V

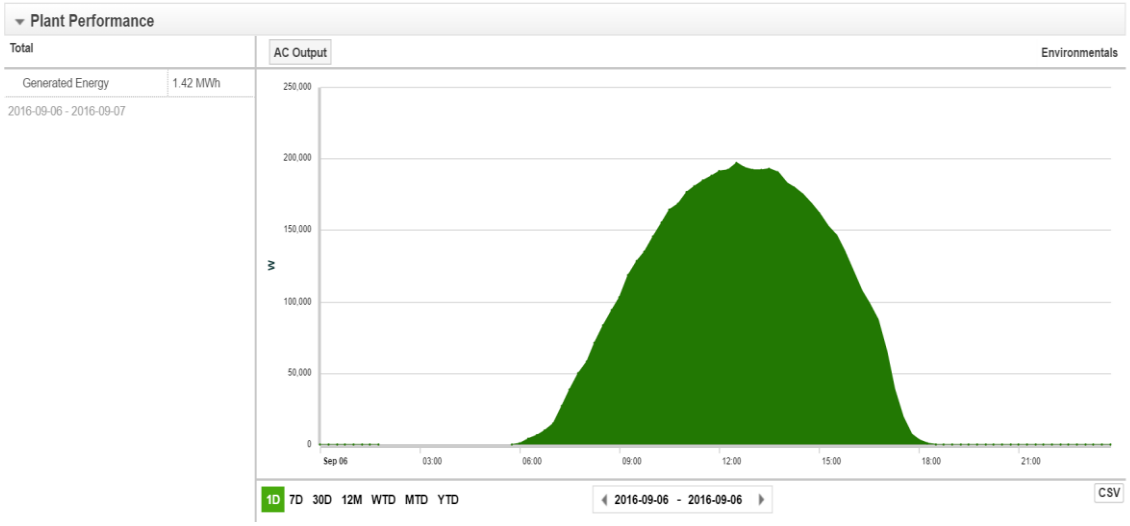
Santral 8 tane 30 kW ve bir tane 10 kW'lık dokuz diziden (string) oluşmaktadır. Santralde diziler için bir tane 10 kW ABB PVI-10-TL-OUTD, 8 tane de 30 kW ABB TRIO-27.6 TL-OUTD harici tip inverter kullanılmıştır. İnverterlerin iki adet MPPT girişi mevcuttur. 30 kW gücündeki dizilerde 6 adet dize (array) bulunmaktadır. Her üç dize 30 kW'lık inverterlerin bir MPPT girişine bağlanmaktadır. 10 kW'lık dizi de ise 2 adet dize bulunur. Bu dizelerin her biri 10 kW'lık inverterlerin ayrı MPPT girişlerine bağlıdır. Her dizede 20 tane fotovoltaik modül seri bağlanmıştır. Dicle Üniversitesi Güneş enerji santrali 34.5 kV bir hat üzerinden şebekeye bağlanmaktadır. İnverter çıkışlarındaki alçak gerilim, üç fazlı 0,4/34,5 kV 50 Hz, 630 KVA'lık bir kuru tip trafo yardımıyla yüksek gerilime dönüştürülmesiyle şebeke irtibatı sağlanmaktadır. Dicle Üniversitesi Güneş Enerjisi Santralinin genel bağlantı konfigürasyonu Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Dicle Üniversitesi Güneş Enerjisi Sistemin Genel Bağlantı Konfigrasyonu

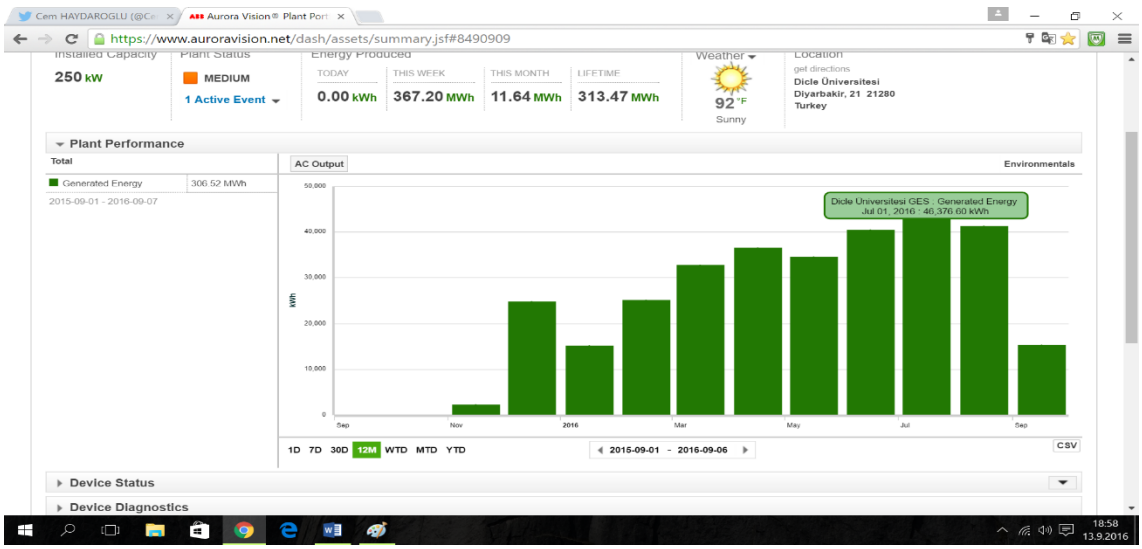
3.8. Dicle Üniversitesi Güneş Enerji Santrali İzleme Programı

Bu PV santral sisteminde ABB PVI-AEO-EVO dataloger kullanılarak 250 kWp lik santralin PV gücü, PV enerjisi, üretilen güç, üretilen enerji, DA güç, DA gerilim, akım, gerilim, frekans, inverter sıcaklığı gibi 10 farklı bilgiyi ölçebilmekte ve kayıt altına alabilmektedir. Anlık olarak alınan veriler 5 dakikalık aralıklarla veri toplama kartları ile kaydedilmiştir. Ayrıca veri toplama kartları 12 tane dijital giriş-çıkış, 6 tane de analog giriş, 2 adet de RS 485 seri iletim portuna sahiptir. Kayıt altına alınan verilere, Aurora Vision programı kullanılarak uzaktan erişim imkânı sunmaktadır. Aurora Vision programı bir gün içinde üretilen enerjiyi anlık olarak takip edebilme imkânı sunmaktadır. Bu durum Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



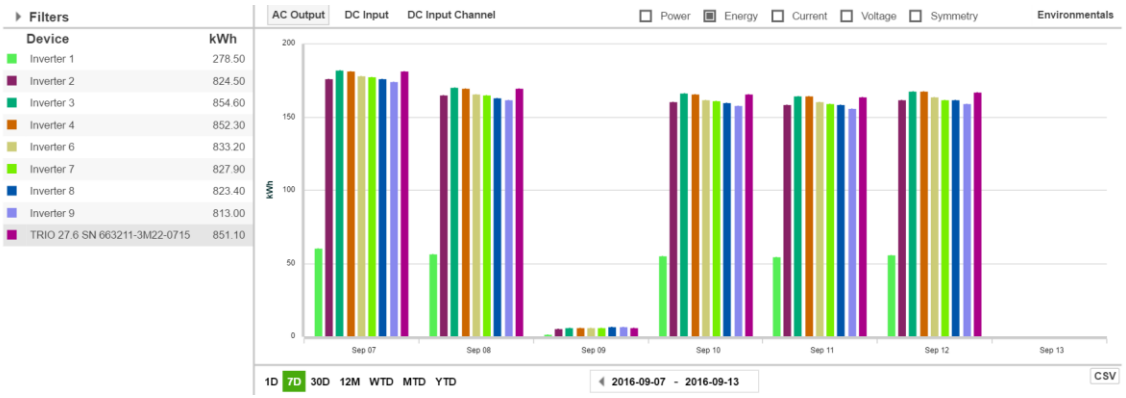
Şekil 3.5. Aurora Vision programında günlük olarak üretilen enerji gösterimine bir örnek

Ayrıca geçmiş dönemlere ilişkin haftalık aylık ve yıllık olarak üretilen enerjiyi görme imkânı sunmaktadır. Bu durum Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Aurora Vision programında aylık üretim değerlerinin gösterilmesi

Ayrıca program inverterleri ayrı ayrı takip etme imkânı sunmaktadır. Her inverterin güç, enerji, akım ve gerilim değerlerini ayrı ayrı günlük, haftalık, aylık ve yıllık olarak görebilme imkânı sunmaktadır.



Şekil 3.7. İnverter bazlı üretilen günlük enerjilerin izlenmesi

Aurora vision programı CSV ve Excel formatında kaydettiği verileri kullanıcının belirlediği bir mail adresine göndermektedir.

Ayrıca bu çalışmada meteorolojik istasyon verileri, şekil 3.8'de görüldüğü gibi Dicle Üniversitesi DÜBTAM (Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi) binası çatısına yerleştirilen güneş ölçüm istasyonundan elde edilmektedir. Güneş ölçüm istasyonu global ışınım, güneşlenme süresi, sıcaklık, nem, rüzgar hızı, rüzgar yönü, maksimum rüzgar hızı ve yönü olarak sekiz farklı veriyi ölçebilmekte ve kaydedebilmektedir. Bu amaçla güneş ölçüm istasyonunda bir adet pranometre, rüzgar ve sıcaklık ölçümleri için ilgili sensörler ve datalogger bulunmaktadır. Toplam ışınım verileri 10 dakikalık aralıklarla W/m^2 cinsinden, güneşlenme süresi dakika, sıcaklık ise santigrat derece cinsinden ölçülmüştür. Bu ölçümlerin bilgisayara kaydedilmesi ve analiz edilmesi amacıyla LoggerNet programı kullanılmıştır. W/m^2 cinsinden alınan toplam global ışınımlar daha sonra KWh/m^2 birimine dönüştürülmüştür.



Şekil 3.8. Güneş ölçüm istasyonun yandan görüntüsü

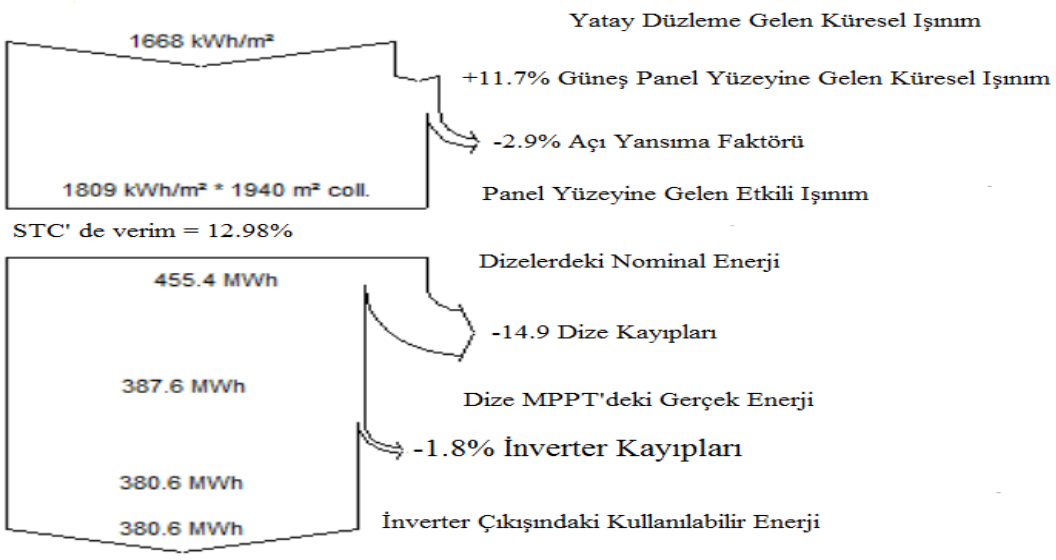
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde öncelikle, Dicle Üniversitesi güneş Enerjisi Santralinin PVsyst yazılımı kullanılarak elde edilen simülasyon sonuçları sunulacaktır. Ardından santralden elde edilen gerçek üretim değerleri verilecektir. Simülasyon ve ölçüm sonuçları IEC 61724 standardına göre değerlendirilerek performans analizi yapılacaktır. Ayrıca santralin maliyet analizi de sunulacaktır.

4.1. PVsyst Simülasyon Programı Sonuçları

Dicle Üniversitesi Güneş Enerji Santrali, yapımında kullanılan tüm ögelere bağlı kalınarak, PVsyst programında modellenmiş ve simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon sonucunda sistemin enerji üretim değerleri, enerji kayıp değerleri ve performans parametreleri elde edilmiştir.

Simülasyon sonucu elde edilen enerji akış diyagramı Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Elde edilen diyagramda Dicle Üniversitesi Güneş Enerji Santralinin kurulduğu alanda yatay düzleme gelen yıllık global ışınım miktarı 1668 kWh/m^2 olarak hesaplanmıştır. Fotovoltaik paneller 30°'lik açıyla yerleştirildiklerinden panel yüzeyine gelen ışıma miktarı %11,7 artmaktadır. Dize kayıpları %14,9, inverter kayıpları ise %1.8 olarak hesaplanmıştır. Tüm kayıplardan sonra yılda santralden 380,6 MWh enerjinin şebekeye verilebileceği öngörülmektedir.



Şekil 4.1. PVsyst sisteme ait kayıp diyagramı

Dicle Üniversitesi Güneş Enerji Santrali, yapımında kullanılan tüm ögelere bağlı kalınarak, PVsyst programında modellenmiş ve simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon sonucunda sistemin enerji üretim değerleri, enerji kayıp değerleri ve performans parametreleri elde edilmiştir.

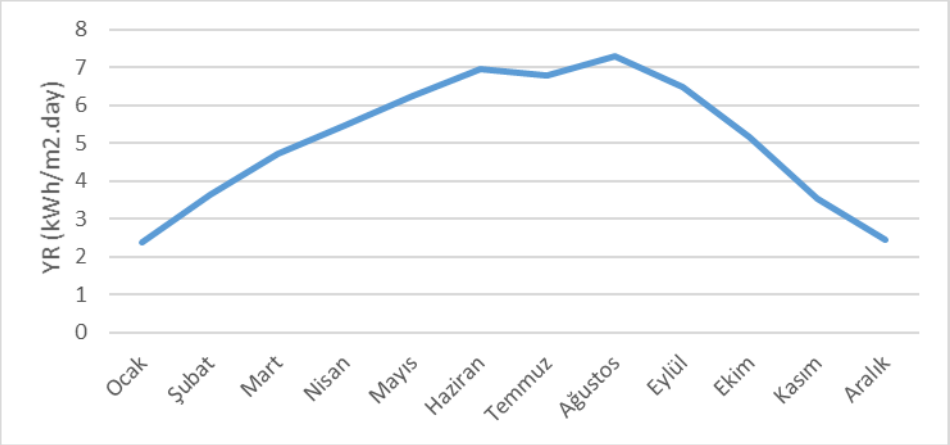
Simülasyon sonucu elde edilen enerji akış diyagramı Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Elde edilen diyagramda Dicle Üniversitesi Güneş Enerji Santralinin kurulduğu alanda yatay düzleme gelen yıllık global ışınım miktarı 1668 kWh/m^2 olarak hesaplanmıştır. Fotovoltaik paneller 30°'lik açıyla yerleştirildiklerinden panel yüzeyine gelen ışıma miktarı %11,7 artmaktadır. Dize kayıpları %14,9, inverter kayıpları ise %1.8 olarak hesaplanmıştır. Tüm kayıplardan sonra yılda santralden 380,6 MWh enerjinin şebekeye verilebileceği öngörülmektedir.

PVsyst simülasyon programıyla, bir yıl boyunca aylık bazda üretilen enerji, panel yüzeyine gelen ışınım, ortalama sıcaklık ve IEC standardına göre referans verim, dize verimi, nihai verim ve performans oranının aylık bazda değişimleri elde edilmiştir. Çizelge 4.1' te aylara göre, toplam ve etkin global ışıma, dizelerden elde edilen enerji ile şebekeye verilen enerji miktarı ve ortalama sıcaklık değerleri verilmiştir. Çizelgedeki veriler incelendiğinde en yüksek global ışıma ve üretilen enerji değeri Ağustos ayında görülürken, en yüksek ortalama sıcaklık Temmuz ayında görülmektedir.

Çizelge 4.1. Simülasyondan elde edilen aylara göre ışıma, enerji ve ortalama sıcaklık değerleri

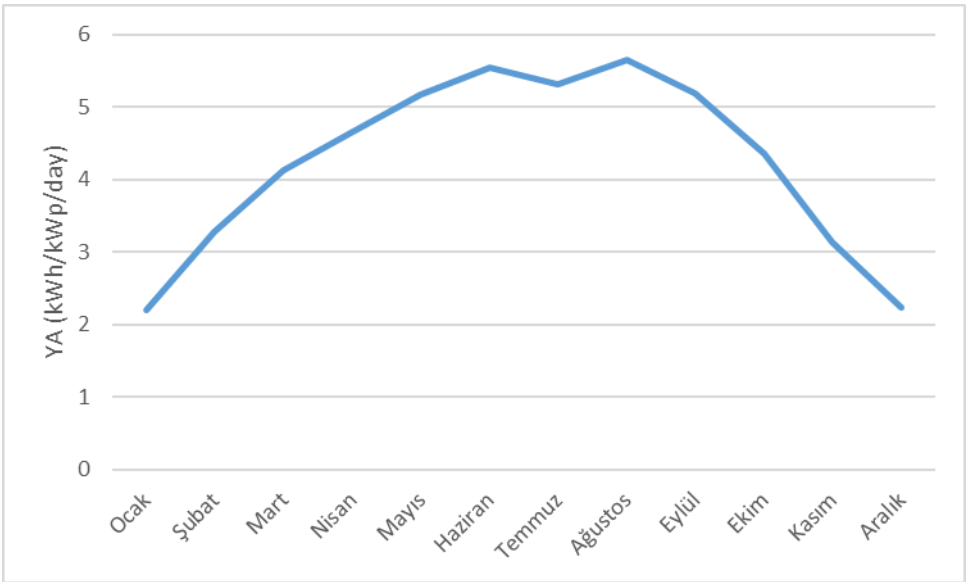
	Global Işıma (Toplam) (kWh/m2)	**Global Işıma (Etkin) (kWh/m2)**	**Dizi Enerjisi (kWh)**	**Şebeke Enerisi (kWh)**	**Sıcaklık (Ortalama) °C**
Ocak	74.2	71.9	17085	16739	1.3
Şubat	102	99.3	23020	22586	3.8
Mart	146.1	141.8	32081	31506	9.2
Nisan	163.8	158.9	34980	34352	13.4
Mayıs	194.1	188.1	4 131	39418	19
Haziran	208.6	201.9	4 559	40824	26.2
Temmuz	211.3	204.5	41170	40446	31.2
Ağustos	226	219.7	43801	43017	30.5
Eylül	194.4	189.4	38984	38291	24.3
Ekim	160.5	156.3	3 894	33311	18
Kasım	106.3	103.4	23517	23092	8.9
Aralık	76	73.7	17346	17009	3.7
YIL	1863	1808	387569	380591	15.86

Simülasyondan elde edilen günlük referans verimin aylara göre değişimi Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Şekil 4.2'ye göre en yüksek referans verime Ağustos ayında 6.81 kWh/m^2.gün ile ulaşılmıştır ve en düşük değeri ise 2.39 kWh/m^2.gün ile Ocak ayındadır.



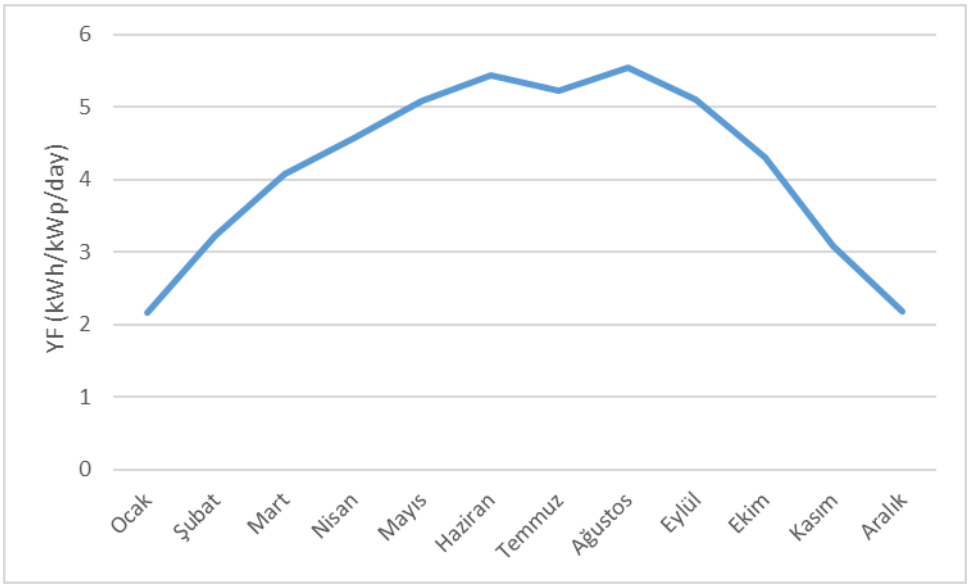
Şekil 4.2. Referans verimin aylara göre değişimi

Günlük dize verimin aylara göre değişimi, Şekil 4.3' te görülmektedir. Dize verimi de referans verim gibi en yüksek değerine 5.65 kWh/kWp/gün ile Ağustos ayında en düşük değerine ise 2.2 kWh/kWp/gün Ocak ayında ulaşmıştır.



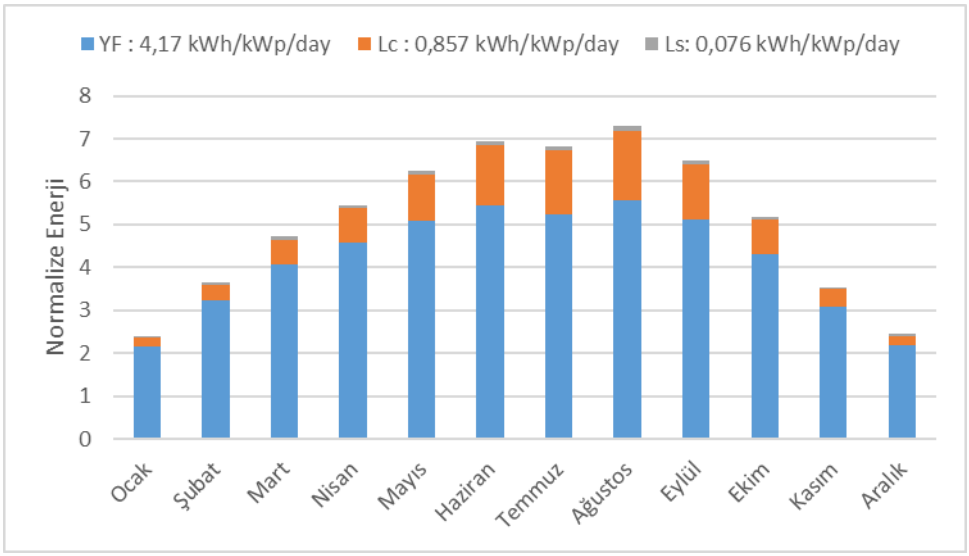
Şekil 4.3. Dize verimin aylara göre değişimi

Şekil 4.4’ de günlük nihai verimin aylara göre değişimi sunulmuştur. En yüksek günlük nihai verim değerine 5.55 kWh/kWp/gün ile Ağustos ayında en düşük değere 2.16 kWh/kWp/gün ile Ocak ayında ulaşılmıştır.



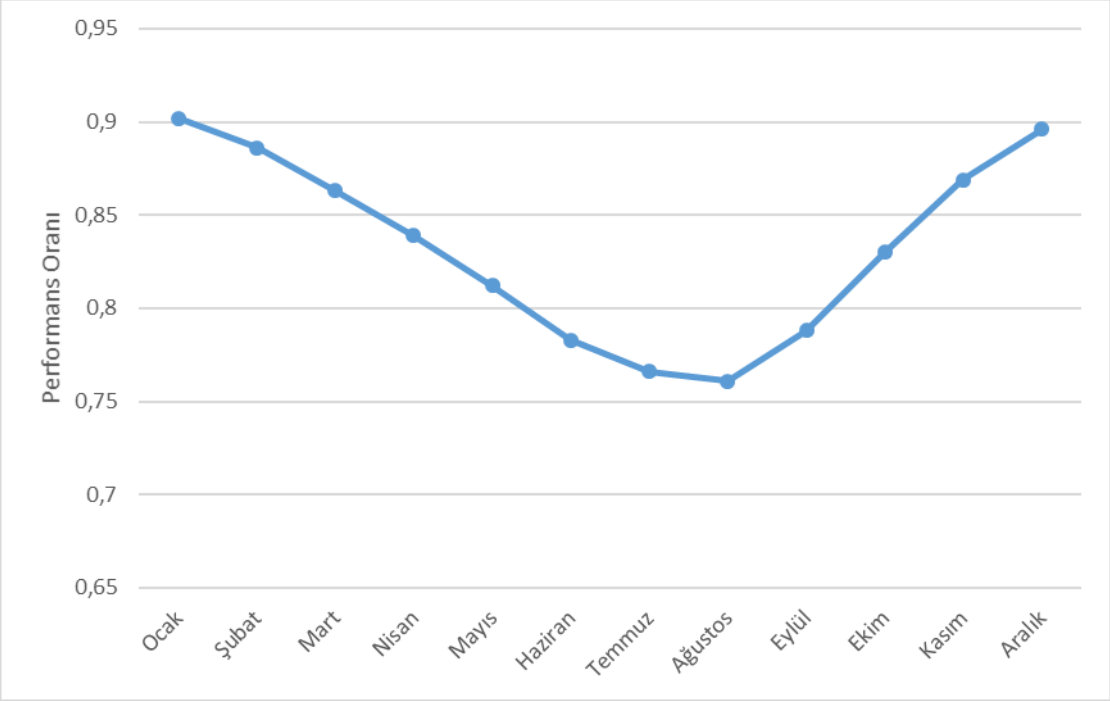
Şekil 4.4. Nihai verimin aylara göre değişimi

.



Şekil 4.5. Günlük nihai verim, dize ve sistem kayıplarının aylara göre değişimi

Simülasyon programından elde edilen günlük baz da, nihai verim ve kayıpların aylara göre değişimi Şekil 4.5’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Performans oranın aylara göre değişimi

PVsyst simülasyon programından elde edilen performans oranları Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Santralin en büyük performans oranına, 0,902 değeri ile Ocak ayında ulaştığı, en düşük performans değerine ise 0,761 ile Ağustos ayında sahip olduğu tespit edilmiştir.

Sistemin performansı aynı zamanda ölçülen değerler yardımıyla da hesaplanmıştır. Çizelge 4.2.'da ölçülen değerlerden hesaplanan gerçek performans parametreleri ile simülasyondan elde edilen performans parametreleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Referans verim (Y_R) değerleri karşılaştırıldığında gerçek değerlerin Nisan, Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında simülasyon değerlerinden büyük olduğu buna karşın; Ekim ve Aralık ayında düşük olduğu diğer aylarda ise yakın olduğu görülmektedir. Dicle üniversitesi güneş enerji santralinin performans oranı PVsystm simülasyon programından elde edilen sonuçlardan daha iyi sonuç vermiştir.

Çizelge 4.2. Performans oranın aylara göre değişimi

	Yr (kWh/kW)		Yf (kWh/kWp)		PR		CF		η	
	Ölçülen Değer	Simülasyon Değeri	Ölçülen Değer	Simülasyon Değeri	Ölçülen Değer	Simülasyon Değeri	Ölçülen Değer	Simülasyon Değeri	Ölçülen Değer	Simülasyon Değeri
Ocak	2,12	2,39	1,94	2,16	0,915	0,902	0,007	0,0088	0,973	0,979
Şubat	3,47	3,64	3,45	3,23	0,99	0,886	0,012	0,0098	0,97	0,981
Mart	4,36	4,71	4,2	4,07	0,96	0,863	0,015	0,0142	0,979	0,982
Nisan	6,88	5,46	4,86	4,58	0,71	0,839	0,017	0,0145	0,98	0,982
Mayıs	7,65	6,26	4,44	5,09	0,58	0,812	0,016	0,0166	0,981	0,982
Haziran	8,49	6,95	5,37	5,44	0,64	0,783	0,018	0,018	0,98	0,983
Temmuz	8,88	6,81	5,98	5,22	0,68	0,766	0,021	0,019	0,98	0,982
Ağustos	7,4	7,29	5,3	5,55	0,71	0,761	0,019	0,0184	0,98	0,983
Eylül	6,43	6,48	5,18	5,11	0,81	0,788	0,018	0,017	0,982	0,982
Ekim	4,61	5,18	4,21	4,3	0,91	0,83	0,0149	0,015	0,981	0,983
Kasım	3,6	3,54	3,56	3,08	0,98	0,869	0,0122	0,0116	0,978	0,981
Aralık	2,1	2,45	2,08	2,19	0,99	0,896	0,0073	0,0089	0,976	0,98

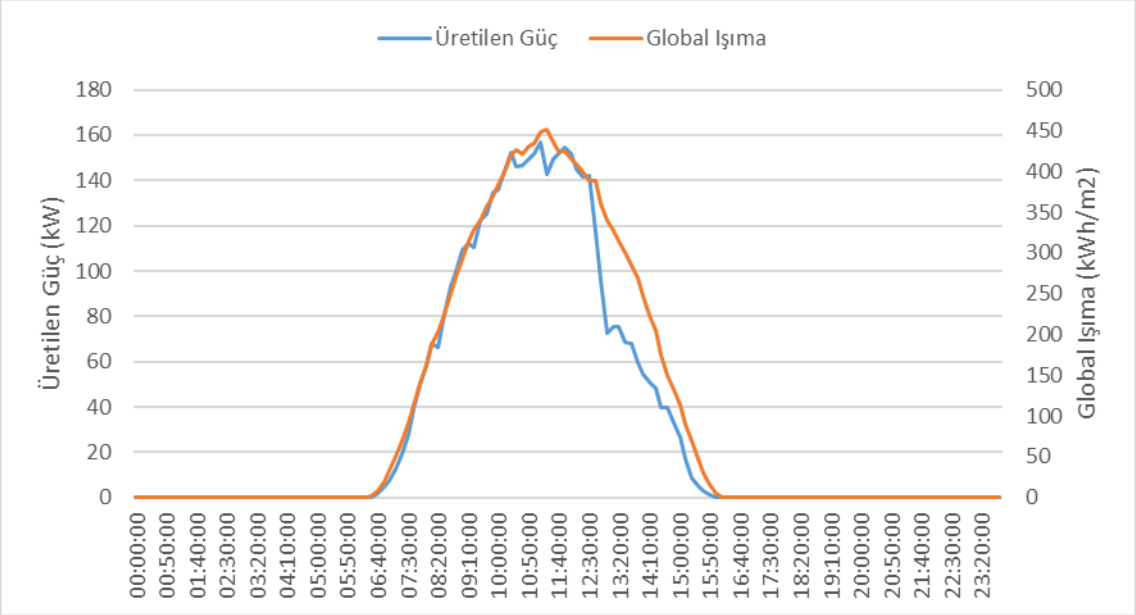
2016 yılı meteorolojik istasyon verilerini Dicle Üniversitesi DÜBTAM (Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi) binası çatısına yerleştirilen güneş ölçüm istasyonundan almaktayız. Ölçüm istasyonunda bir yıl için alınan aylık ortalama sıcaklık, toplam güneşlenmesi süresi, ortalama global ışınım ve ortalama rüzgar hızı değerleri Çizelge 4.3.'da ölçülen meteorolojik verilerin aylık ortalama değerleri verilmiştir. Toplam güneşlenme süresi ve global ışıma en fazla temmuz ayında olduğu için üretilen enerji en fazla 46,38 MWh ile bu aydadır.

Çizelge 4.3. Ölçülen meterolojik verilerin aylık ortalama değerleri.

DATE	*Ortalama sıcaklık ^0C*	*Toplam güneşlenme süresi*	*Ortalama rüzgar hızı (m/sn)*	**Global ışıma (kWh / m2-gün)**
Ocak	1,69	119,74	1,22	2,16
Şubat	8,68	170,56	1,06	3,7
Mart	10,43	215,59	1,39	4,36
Nisan	16,72	279,93	1,21	6,25
Mayıs	20,44	29,84	1,75	6,9
Haziran	27,26	337,98	2	7,65
Temmuz	31,89	401,59	2,51	8
Ağustos	32,68	350,95	1,6	6,67
Eylül	24,89	325,48	2,1	5,82
Ekim	19,94	283,5	1,024	4,16
Kasım	9,81	233,67	0,91	2,97
Aralık	2,96	128,06	1,425	1,79

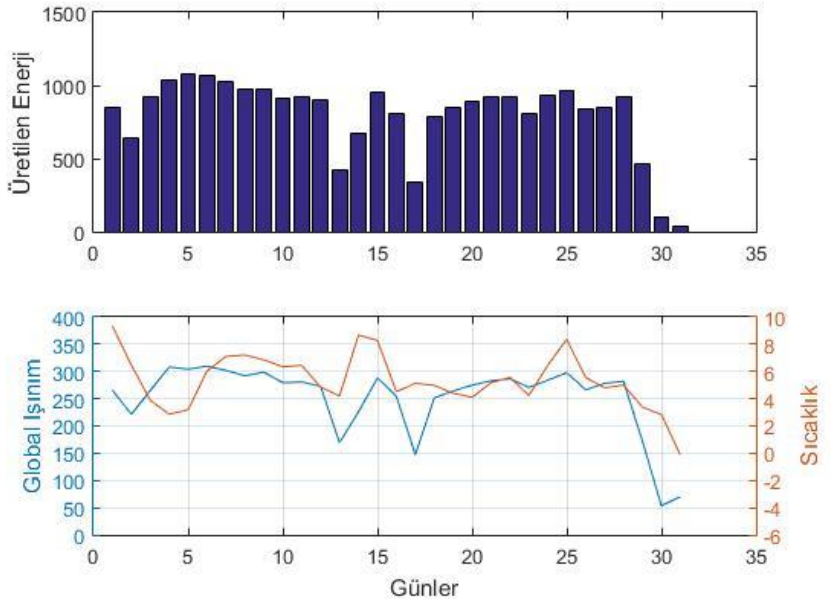
4.2 Deneysel Analiz Sonuçları

Dicle üniversitesi güneş enerji santrali kurulumu Ağustos 2015 tarihinde başlamış, Kasım 2015 tarihinde tamamlanıp Aralık 2015 tarihinden itibaren üretime başlamıştır. Bu süreçten sonra santralin verileri bir data logger ile kayıt altına alınmış ve güneş enerjisi santrallerinin uzaktan izlenmesi için kullanılan bir program sayesinde veriler izlenip kayıt altına alınmıştır. Kullanılan program ile data logger'dan elde edilen 12 aylık verilerin IEC 61724'e göre performans analizi yapılarak sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 4.7'de toplam ışınım değerleri ile üretilen enerjinin değişimi verilmiştir. Şekil 4.7'i incelendiğinde ay boyunca üretilen gücün simetrik olmadığı gözlenmektedir. Bunun birçok nedeni olabilir. Sistem üzerine gölgelenme meydana gelmesi havanın kapalı olması, ya da bulutlanmanın ışığı geçişini engellemesi bunlar arasında sayılabilir.



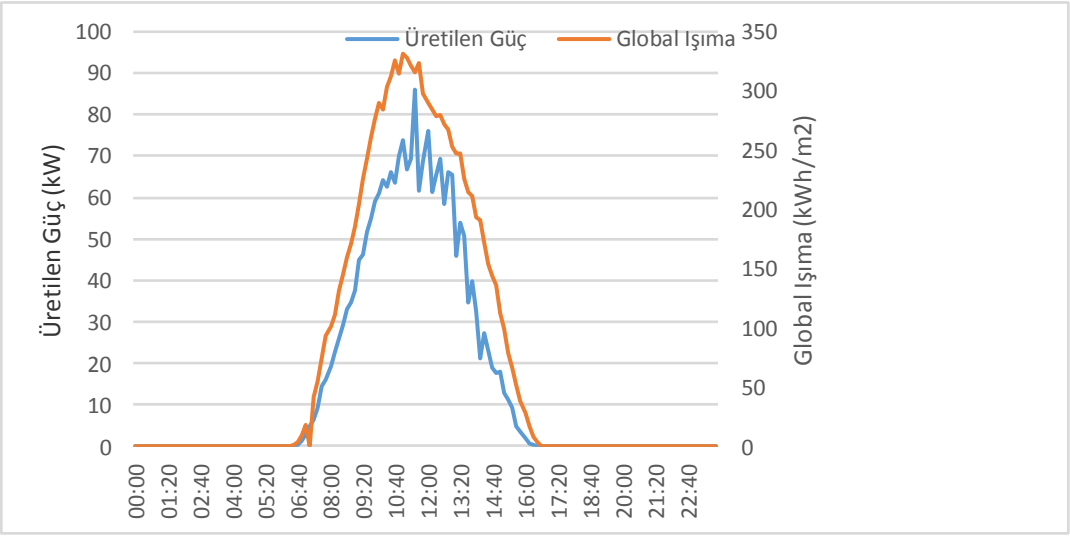
Şekil 4.7. 2015 Aralık ayı için elde edilen ortalama global ışıma ve üretilen güç değerlerinin gün içerisinde değişimi

Şekil 4.8'de 2015 Aralık ayı için üretilen enerjinin, sıcaklığın ve global ışımanın günlük değişimi verilmiştir. Aralık ayı içerisinde üretilen maksimum enerji değerinin 1076 kWh'e ulaşabildiği ölçülmüştür. 07.12.2015 tarihinde 301,8 W/m^2'lik global ışınım 7,1ºC sıcaklık 1,52 m/sn ortalama rüzgar hızında üretilen enerji 1027,9 kWh iken 09.12.2015 tarihinde 299 W/m^2 global ışınım, 6,9 ºC sıcaklık ve 0,5 m/sn ortalama rüzgar hızında 979 kWh lik enerji üretilmiştir. Bu iki faklı günde ortalama sıcaklık ve global ışınım değerleri birbirine bu kadar yakın iken rüzgar hızları arasındaki 1 m/sn lik farklılık 48,9 kWh daha fazla enerji üretimine neden olmuştur. Ayrıca global ışınım değerinin 310 W/m^2 (sıcaklığın 3,19 ºC) değeri ile en fazla olduğu 06.12.2015 tarihinde üretilen enerji 1065,8 kWh iken 304,25 W/m^2 global ışınım (sıcaklık 6,1 ºC) değerinin olduğu 05.12.2015 tarihinde üretilen enerji 1076,9 kWh'tir. Bu iki günde de ortalama rüzgar hızları birbirlerine yakındır. Sıcaklık arttıkça üretilen enerjinin de düştüğü gözlenmiştir.



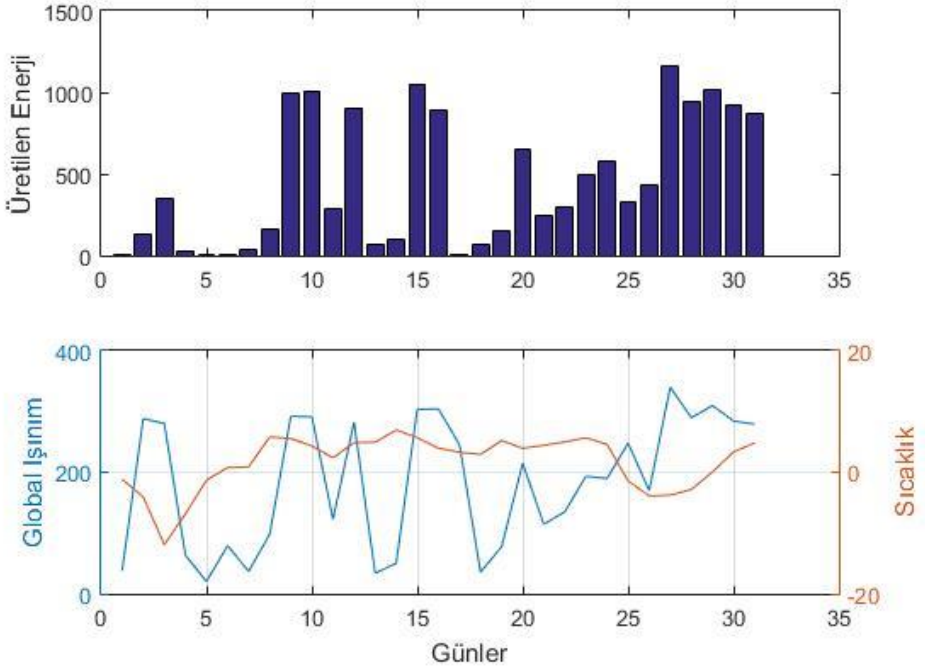
Şekil 4.8. 2015 Aralık ayı için üretilen enerjinin global ışıma ve sıcaklık göre değişimi

Şekil 4.9'de ise 2016 Ocak ayına ait elde edilen verilerden hesaplanan ortalama toplam ışıma ve üretilen gücün gün içerisinde saatlere göre değişimi veriliştir. Ocak ayı verileri incelendiğinde, bu aydaki toplam ışıma değerlerinin maksimum değerinin 800 kW/m^2'yi aştığı buna karşın üretilen anlık gücün maksimum değerinin 80 kW mertebesinde olduğu görülmektedir. Bu ayda genel olarak hava, kapalı ve karlı geçmiştir. Kardaki yansımalardan dolayı toplam ışıma değerleri kısa dönem aralıklarında yüksek değerlere çıkabilmesine rağmen, ışıma sürelerinin kısalığı ve kapalı hava koşulları nedeniyle üretilen güç değerleri diğer aylara göre küçük olmuştur.



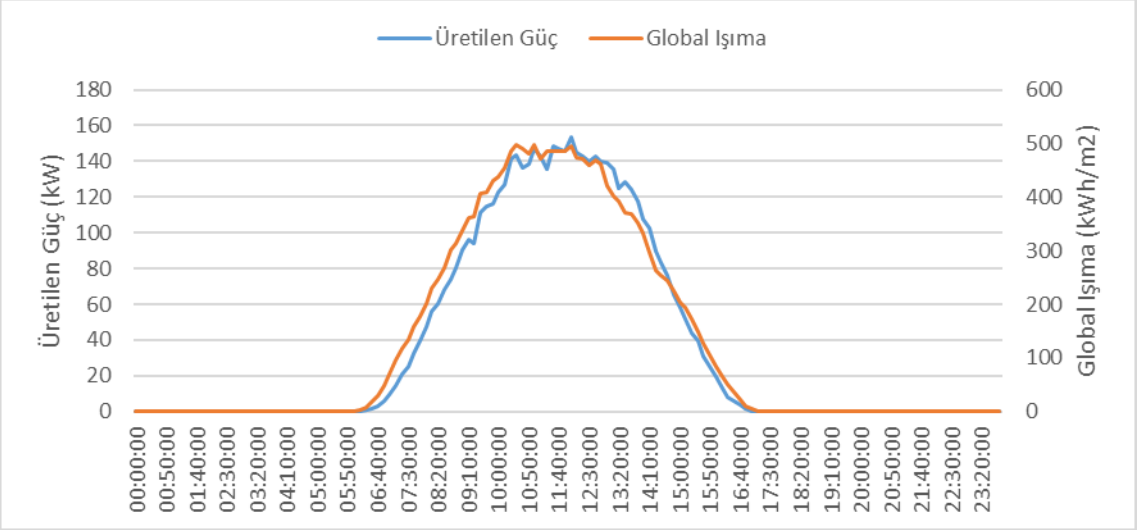
Şekil 4.9. 2016 Ocak ayı için global ışıma ve üretilen gücün değişimi

Şekil 4.10'da Ocak ayı için üretilen enerjinin, sıcaklığın ve global ışımanın günlük değişimi verilmiştir. Bu grafik incelendiğinde bazı günlerde enerji üretilmediği görülmektedir. Bu günlerde panel yüzeyleri karla kaplıdır. Sıcaklığın düşük olduğu ve global ışımanın aylık ortalama civarında olduğu günlerde üretim değerlerinin arttığı gözlenmektedir. Maksimum enerji üretim miktarının 1158 kWh'e ulaştığı gözlenmektedir. 17.01.2016 tarihinde 245,32 W/m^2'lik global ışınım değerinin olmasına rağmen panel yüzeyinin karla kaplı olduğu için üretilen enerji 10,3 kWh'te kalmıştır.



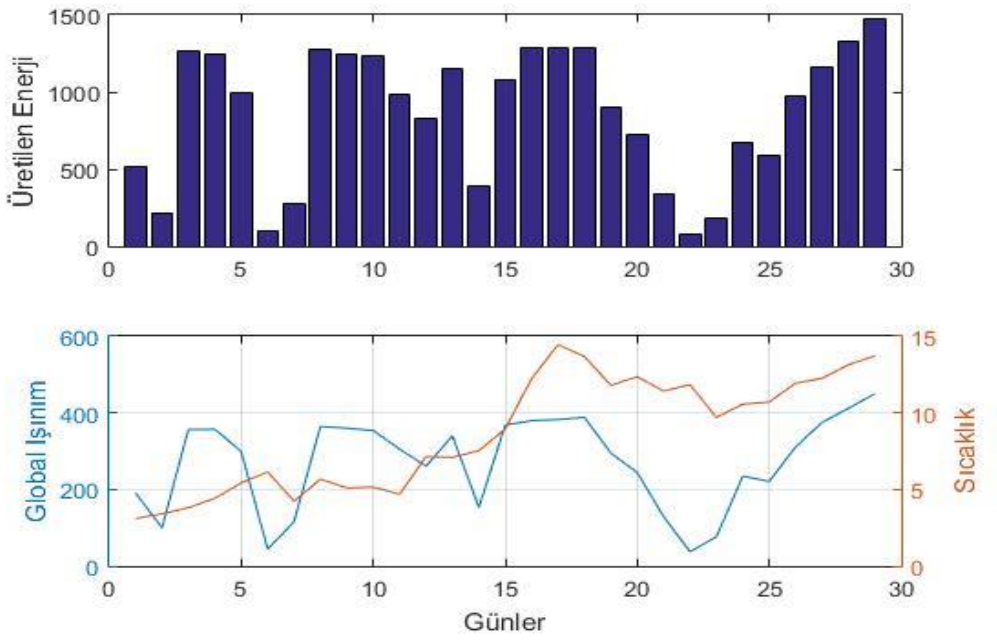
Şekil 4.10. 2016 Ocak ayı için üretilen enerjinin global ışıma ve sıcaklık göre değişimi

Şekil 4.11'de 2016 Şubat ayı için ortalama toplam ışınım ve üretilen gücün gün içerisinde saatlere göre değişimi veriliştir. Şubat ayı genelde güneşli geçmiştir. Toplam ışıma değerlerinin Şubat ayı ortalamasının maksimum değerleri 550 kWh/m^2 civarında ölçülmüştür. Üretilen gücün maksimum değeri ise 150 kW'a yaklaşmıştır. Gücün kurulu güç değerine yaklaşması hava sıcaklığının düşük olması nedeniyle panel veriminde kayıp yaşanmaması ile açıklanabilir. Bunun yanında yağışlı bir mevsimde olunması nedeniyle panel yüzeylerinde kir ve tozdan kaynaklanan güç kaybı da söz konusu olmamaktadır.



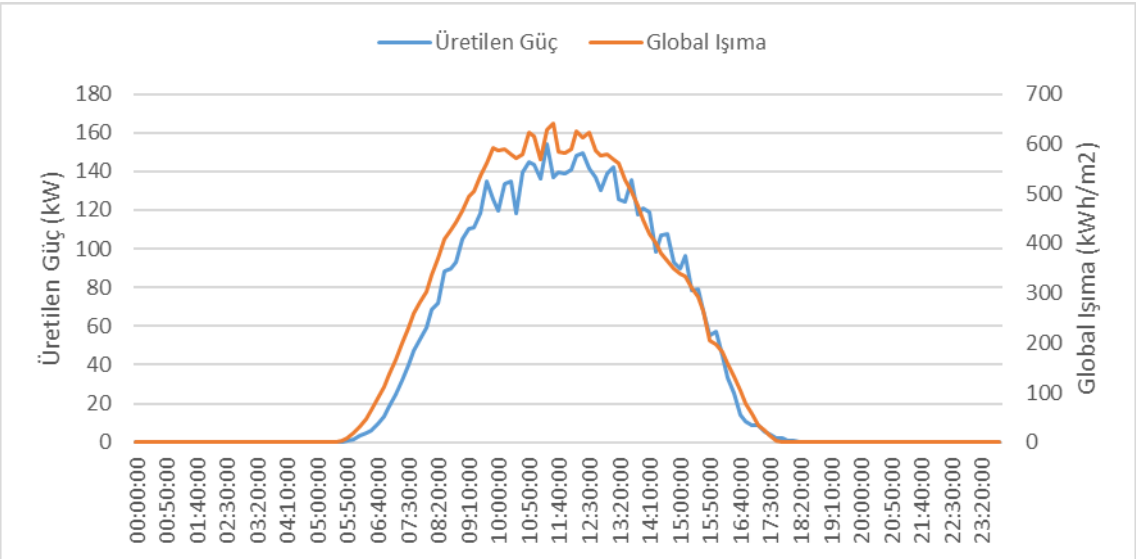
Şekil 4.11. 2016 Şubat ayı için global ışıma ve üretilen gücün değişimi

Şekil 4.12'de Şubat ayı için üretilen enerjinin, sıcaklığın ve rüzgar hızın günlük değişimi verilmiştir. Bu grafik incelendiğinde aynı global ışıma değerine sahip günlerde, sıcaklığın düşük olduğu takdirde üretilen enerjinin diğer daha fazla olduğu görülmektedir. Şubat ayı içerisinde üretilen maksimum enerji değerinin 1471,7 kWh'e ulaşabildiği ölçülmüştür. 03.02.2016 tarihinde 356,7 W/m^2'lik global ışınım 3,9 ºC sıcaklık 1,6 m/sn ortalama rüzgar hızında üretilen enerji 1269 kWh iken 04.02.2016 tarihinde 356 W/m^2 global ışınım, 4,4 ºC sıcaklık ve 0,5 m/sn ortalama rüzgar hızında 1248 kWh lik enerji üretilmiştir. Bu iki faklı günde ortalama sıcaklık ve global ışınım değerleri birbirine bu kadar yakın iken rüzgar hızları arasındaki 1.1 m/sn lik farklılık 20,1 kWh daha fazla enerji üretimine neden olmuştur. Ayrıca genel olarak subat ayında hava açıktır ancak bazı günlerde havanın kapalı olmasından dolayı istenilen düzeyde enerji üretilememiştir.



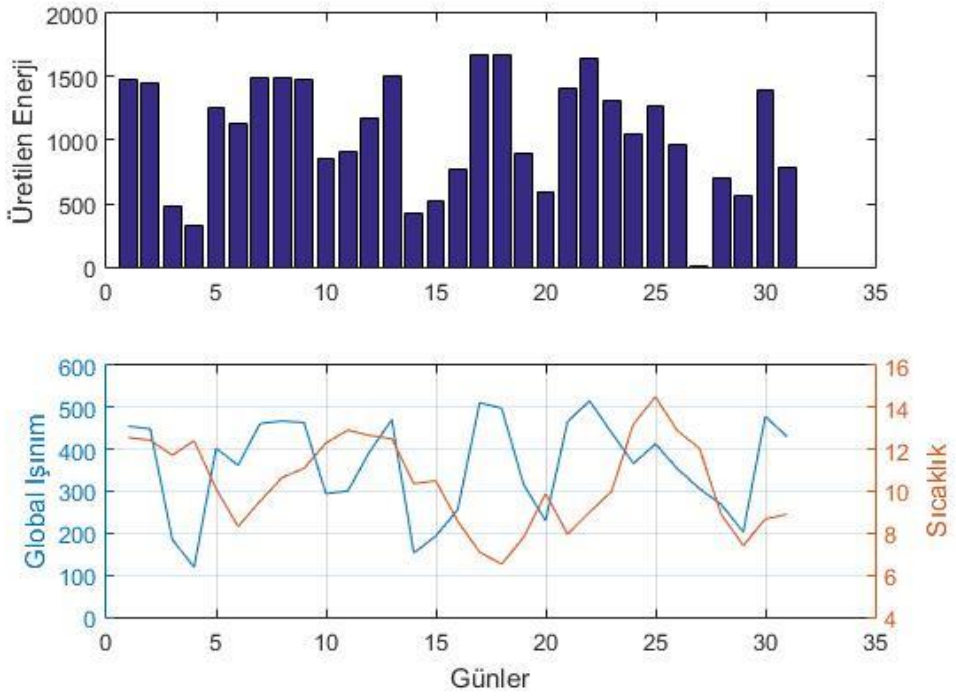
Şekil 4.12. 2016 Şubat ayı için üretilen enerjinin global ışıma ve sıcaklık göre değişimi

Şekil 4.13'de 2016 Mart ayı için ortalama toplam ışınım ve üretilen gücün gün içerisindeki saatlere göre değişimi verilmiştir. Bu ay genelde yağmurlu geçmiştir. Grafikler incelendiğinde gün içinde değişim nedeni bulutlu saatlerin gün içerisindeki saatlere göre dağılımının düzensiz olmasıdır. Mart ayındaki toplam ışıma miktarının maksimum değerleri 600 kWh/m^2 değerini aşmıştır. Buna karşılık üretilen güç değerinin maksimum değeri 140 kW civarındadır. Bu durum bulutlu ve yağışlı gün sayısının çokluğu ile açıklanabilir.



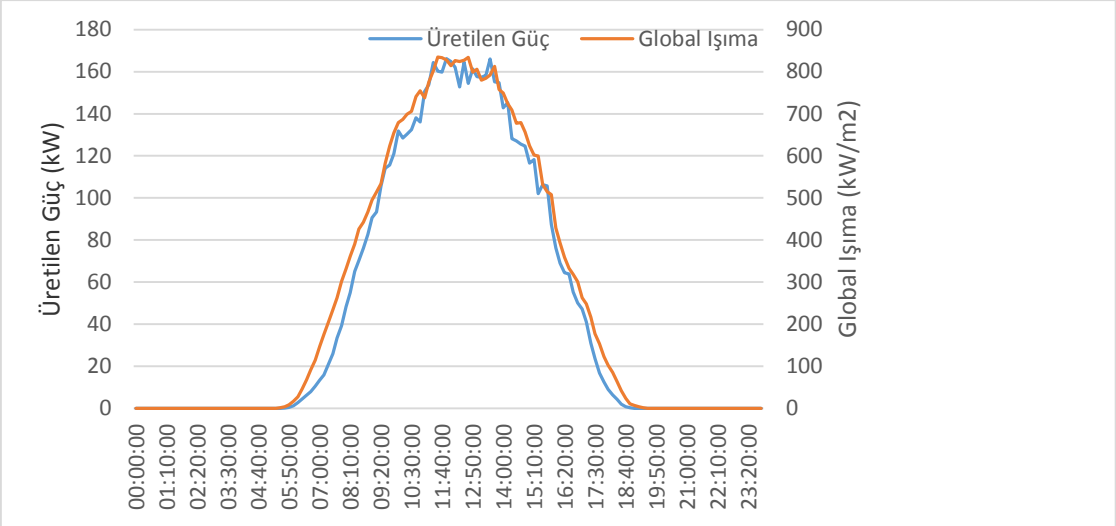
Şekil 4.13 2016 Mart ayı için global ışıma ve üretilen gücün değişimi

Şekil 4.14'da Mart ayı için üretilen enerjinin, sıcaklığın ve global ışımanın günlük değişimi verilmiştir. Maksimum enerji üretim miktarının 1677,1 kWh'e ulaştığı gözlenmektedir. 17.03.2016 tarihinde 511,11 W/m^2 ışınım 7 ºC sıcaklık 2,47 m/sn ortalama rüzgar hızında üretilen enerji 1677,1 kWh ile mart ayında üretilen en yüksek enerjidir. 18.03.2016 tarihinde 498 W/m^2 global ışınım, 6,6 ºC sıcaklık ve 1,14 m/sn ortalama rüzgar hızında 1611,6 kWh lik enerji üretilmiştir. Bu iki faklı günde ortalama sıcaklık ve global ışınım değerleri birbirine bu kadar yakın iken rüzgar hızları arasındaki 1.33 m/sn lik farklılık 65,5 kWh daha fazla enerji üretimine neden olmuştur. 22.03.2016 tarihinde 515,42 W/m^2 global ışınım, 10 ºC sıcaklık ve 2,4 m/sn ortalama rüzgar hızında 1642,6 kWh'tir. Mart ayı için en yüksek global ışınım değerinin olduğu gün olmasına rağmen sıcaklığının 17.03.2016 tarihinde sıcaklık değerinde 3 ºC' daha yüksek oması üretilen enerjide bir düşmeye neden olduğu görülmektedir. Ayrıca 27.03.2016 tarihinde 306,26 W/m^2 lik global ışınım değeriyle havanın açık olmasına rağmen teknik bir arızadan dolayı üretim yapılamamıştır ve bu günde yaklaşık olarak 834 kWh enerji kaybımız söz konusudur.



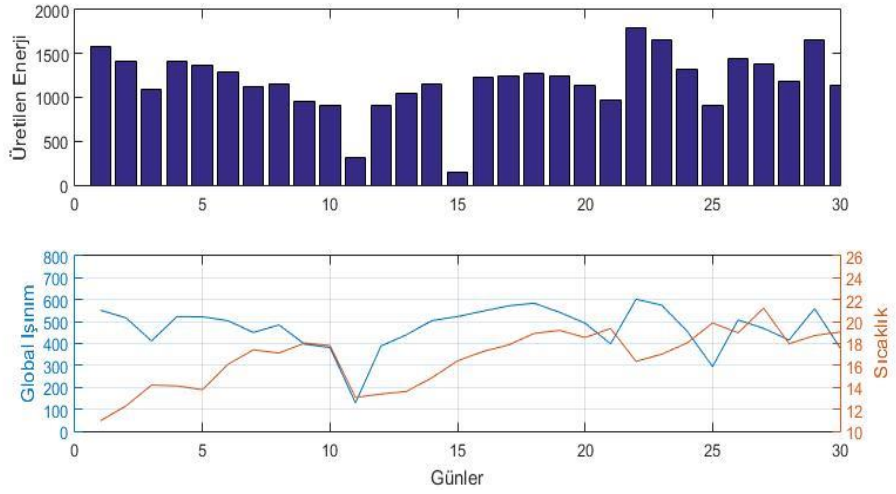
Şekil 4.14. 2016 Mart ayı için üretilen enerjinin global ışıma ve sıcaklık göre değişimi

Şekil 4.15'de 2016 Nisan ayı için ortalama toplam ışınım ve üretilen gücün gün içerisindeki saatlere göre değişimi verilmiştir. Nisan ayındaki toplam ışıma miktarının maksimum değerleri 800 kWh/m^2 değerini aşmıştır. Buna karşılık üretilen güç değerinin maksimum değeri 170 kW civarındadır. Ayrıca bu ayda 1 Nisan tarihinde anlık olarak 251 kWp'lik güç üretimiyle kurulu gücün üzerine çıkılmıştır.



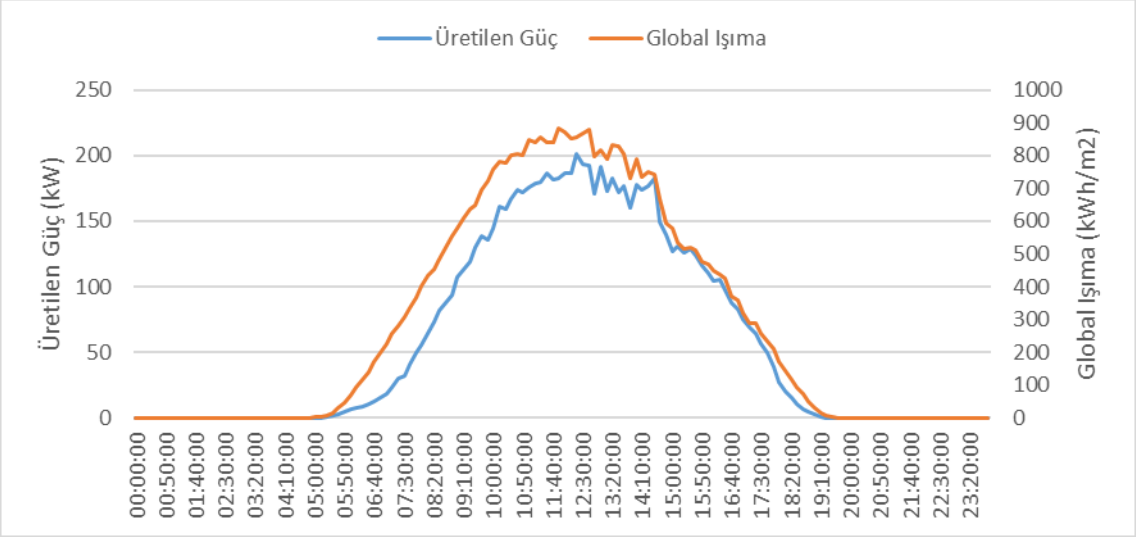
Şekil 4.15. 2016 Nisan ayı için global ışıma ve üretilen gücün değişimi

Şekil 4.16'da Nisan ayı için üretilen enerjinin, sıcaklığın ve global ışımanın günlük değişimi verilmiştir. Maksimum enerji üretim miktarının 24.04.2016 tarihinde 1799,9 kWh'e ulaştığı gözlenmektedir. 04.04.2016 tarihinde 523,12 W/m^2 ışınım 14 ºC sıcaklık 1,31 m/sn ortalama rüzgar hızında üretilen enerji 1404,6 kWh'dir. 05.04.2016 tarihinde 523 W/m^2 global ışınım, 13,8 ºC sıcaklık ve 0,6 m/sn ortalama rüzgar hızında 1368,6 kWh lik enerji üretilmiştir. Bu iki faklı günde ortalama sıcaklık ve global ışınım değerleri birbirine bu kadar yakın iken rüzgar hızları arasındaki 0,71 m/sn lik farklılık 35.8 kWh daha fazla enerji üretimine neden olmuştur. Ayrıca 15.04.2016 tarihinde 523,21 W/m^2 lik global ışınım değeriyle havanın açık olmasına rağmen teknik bir arızadan dolayı 151,1 kWh enerji üretimi yapılmıştır ve bu günde yaklaşık olarak 1100 kWh enerji kaybımız söz konusudur.



Şekil 4.16. 2016 Nisan ayı için üretilen enerjinin global ışıma ve sıcaklık göre değişimi

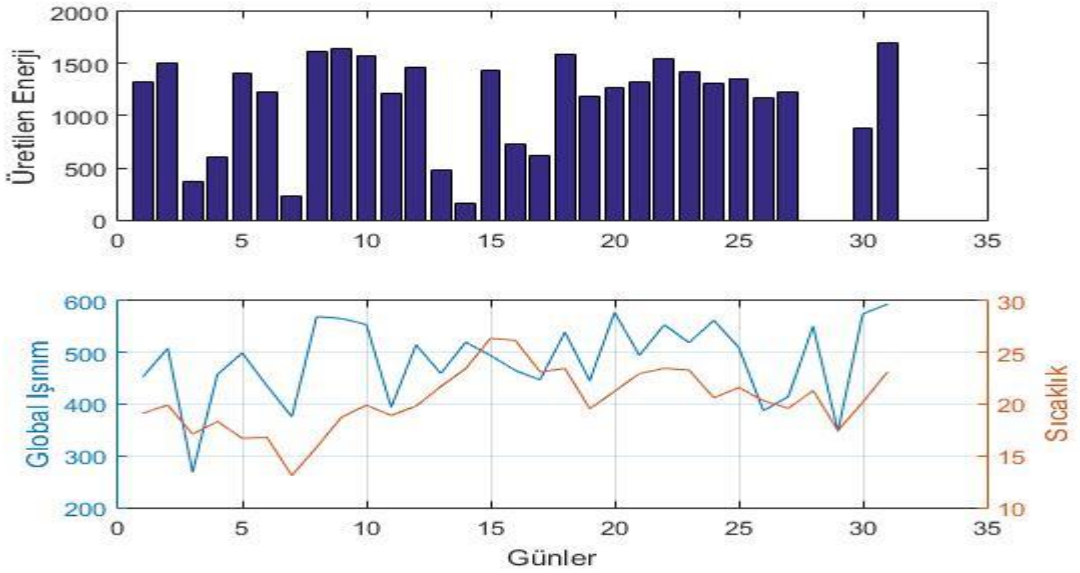
Şekil 4.17'de 2016 Mayıs ayı için ortalama toplam ışınım ve üretilen gücün gün içerisindeki saatlere göre değişimi verilmiştir. Mayıs ayındaki toplam ışıma miktarının maksimum değerleri 900 kWh/m^2 değerini aşmıştır. Buna karşılık üretilen güç değerinin maksimum değeri 220 kW civarındadır.



Şekil 4.17. 2016 Mayıs ayı için global ışıma ve üretilen gücün değişimi

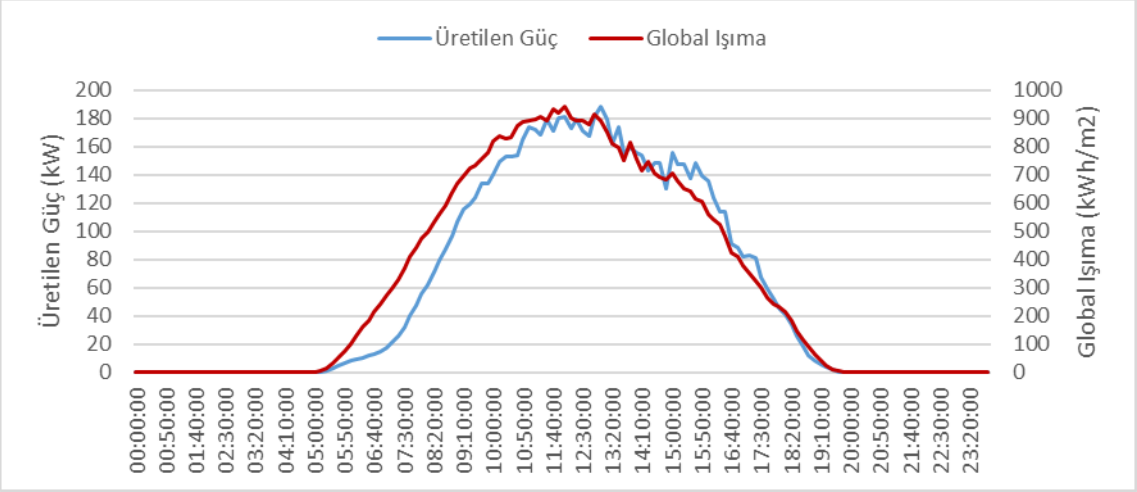
Şekil 4.18'de Mayıs ayı için üretilen enerjinin, sıcaklığın ve global ışımanın günlük değişimi verilmiştir. Maksimum enerji üretim miktarının 31.05.2016 tarihinde 1703 kWh'e ulaştığı gözlenmektedir. 18.05.2016 tarihinde 540 W/m^2 ışınım 23,45 ºC sıcaklık 1,98 m/sn ortalama rüzgar hızında üretilen enerji 1596 kWh'dir. 22.04.2016 tarihinde 550 W/m^2 global ışınım, 23,47 ºC sıcaklık ve 1 m/sn ortalama rüzgar hızında 1549 kWh lik enerji üretilmiştir. Bu iki faklı günde ortalama sıcaklık neredeyse

birbirine eşit iken hatta 22 mayıs günündeki global ışıma 10 W/m^2 ile 18 mayıs günündeki global ışıma değerinden daha fazla iken üretilen enerji 22 mayıs gününde üretilen enerjiden 44 kWh ile daha fazladır buna aradaki rüzgar hızı farklılığı neden olmuştur. Ayrıca mayıs içinde teknik arızadan dolayı iki gün komple üretim yapılamamış ve iki günde kısmen üretim yapılmıştır. 28-29.05.2016 tarihlerinde komple üretim yapılamamıştır ve bu iki günde üretilen enerji kaybımız 2468 kWh'tır. 07.05.2016 tarihinde teknik bir arızadan dolayı sadece 225,4 kWh enerji üretimi yapılmış bugünkü enerji kaybımız 1000 kWh iken 14.05.2016 tarihinde 162,1 kWh enerji üretimi olmuş bugünkü enerji kaybımızda 1340 kWh'dır.



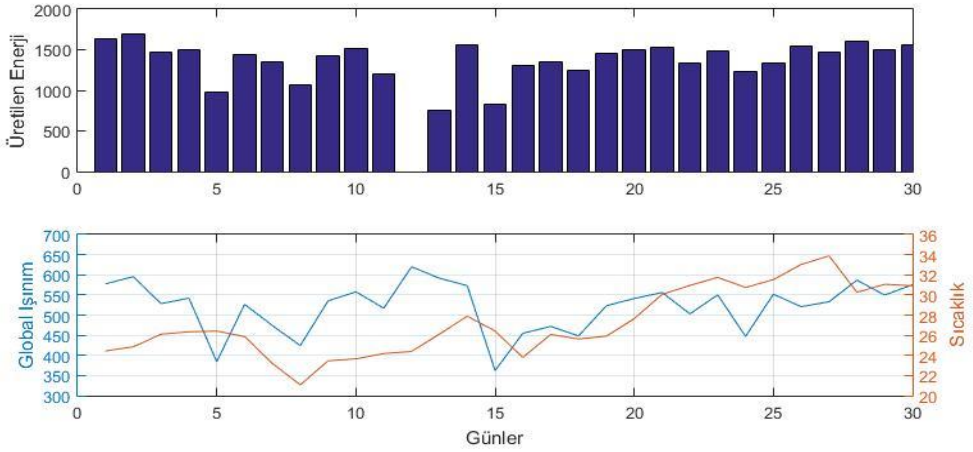
Şekil 4.18. 2016 Mayıs ayı için global ışıma ve üretilen gücün değişimi

Şekil 4.19'da 2016 Haziran ayı için ortalama toplam ışınım ve üretilen gücün gün içerisindeki saatlere göre değişimi verilmiştir. Haziran ayındaki toplam ışıma miktarının maksimum değerleri 900 kWh/m^2 değerini aşmıştır. Buna karşılık üretilen güç değerinin maksimum değeri 190 kW civarındadır.



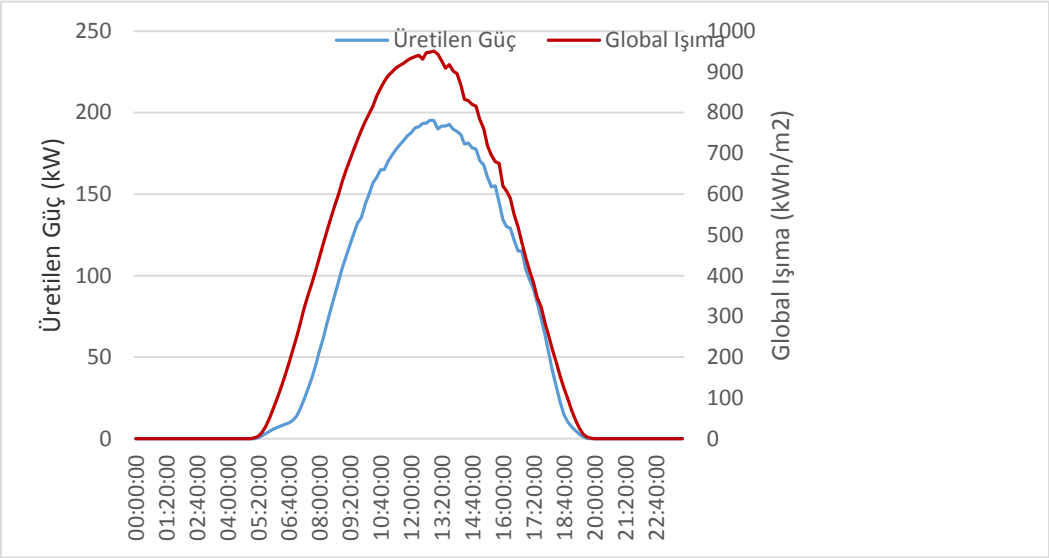
Şekil 4.19. 2016 Haziran ayı için global ışıma ve üretilen gücün değişimi

Şekil 4.20'de Haziran ayı için üretilen enerjinin, sıcaklığın ve global ışımanın günlük değişimi verilmiştir. Maksimum enerji üretim miktarının 02.06.2016 tarihinde 1701,4 kWh'e ulaştığı gözlenmektedir. 02.04.2016 tarihinde 517,43 W/m^2 ışınım 12,3 ºC sıcaklık 0,71 m/sn ortalama rüzgâr hızında üretilen enerji 1420 kWh ve 11.06.2016 tarihinde 517,1 W/m^2 global ışınım, 24,2 ºC sıcaklık ve 2,43 m/sn ortalama rüzgar hızında 1205,3 kWh lik enerji üretilmiştir. Nisan ve Haziran aylarında global ışınım değerlerin aynı oluğu iki gün karşılaştırıldığında sıcaklığın üetim üzerindeki etkisi görülmektedir. Sıcaklıktaki 10ºC artış 215,7 kWh enerji kaybına neden olmuştur. Ayrıca 12.06.2016 tarihinde 620 W/m^2 lik global ışınım değeriyle havanın açık olmasına rağmen teknik bir arızadan dolayı üretim yapılamamıştır ve bu günde yaklaşık olarak 1650 kWh enerji kaybımız söz konusudur. Güneşin doğuş ve batış süresi arasındaki fark arttığı için enerji üretimlerinde bir artma söz konusudur.



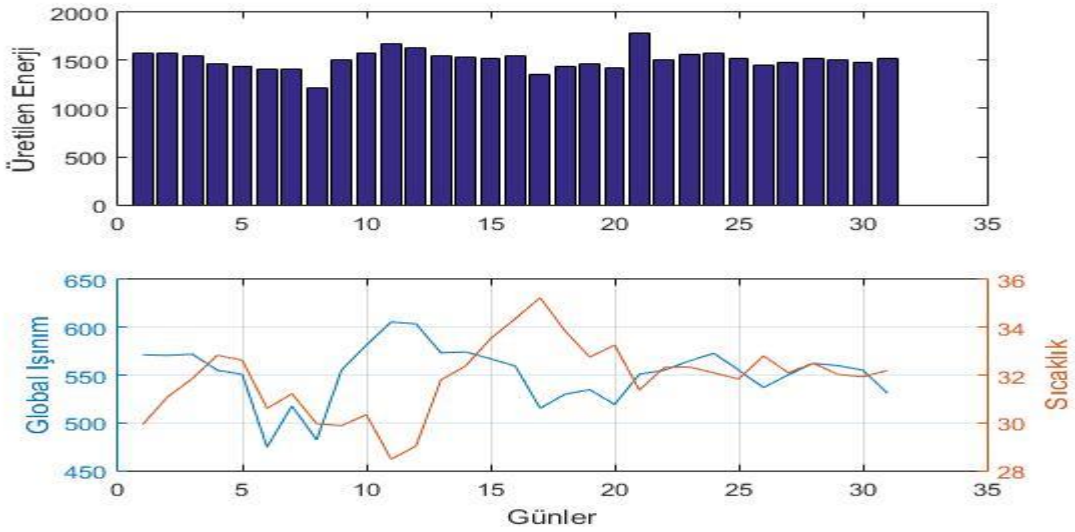
Şekil 4.20. 2016 Haziran ayı için global ışıma ve üretilen gücün değişimi

Şekil 4.21'de 2016 Temmuz ayı için ortalama toplam ışınım ve üretilen gücün gün içerisindeki saatlere göre değişimi verilmiştir. Temmuz ayındaki toplam ışıma miktarının maksimum değerleri 800 kWh/m^2 değerini ulaşmıştır. Buna karşılık üretilen güç değerinin maksimum değeri 200 kW civarındadır.



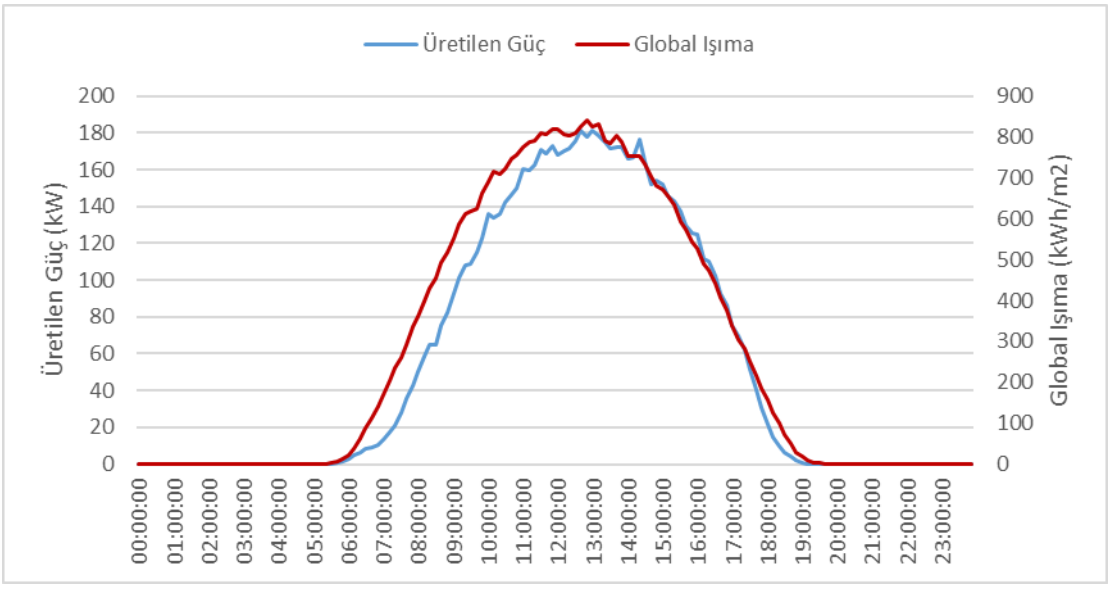
Şekil 4.21 2016 Temmuz ayı için global ışıma ve üretilen gücün değişimi

Şekil 4.22'de Temmuz ayı için üretilen enerjinin, sıcaklığın ve global ışımanın günlük değişimi verilmiştir. Maksimum enerji üretim miktarının 21.07.2016 tarihinde 1782,60 kWh'e ulaştığı gözlenmektedir. 09.07.2016 tarihinde 555,2 W/m^2 ışınım 30 ºC sıcaklık 2,4 m/sn ortalama rüzgar hızında üretilen enerji 1512 kWh'dir. 30.07.2016 tarihinde 555,1 W/m^2 global ışınım, 31 ºC sıcaklık ve 1,4 m/sn ortalama rüzgar hızında 1479 kWh lik enerji üretilmiştir. Bu iki faklı günde ortalama sıcaklık ve global ışınım değerleri birbirine bu kadar yakın iken rüzgar hızları arasındaki 1 m/sn lik farklılık 33 kWh daha fazla enerji üretimine neden olmuştur.



Şekil 4.22. 2016 Temmuz ayı için global ışıma ve üretilen gücün değişimi

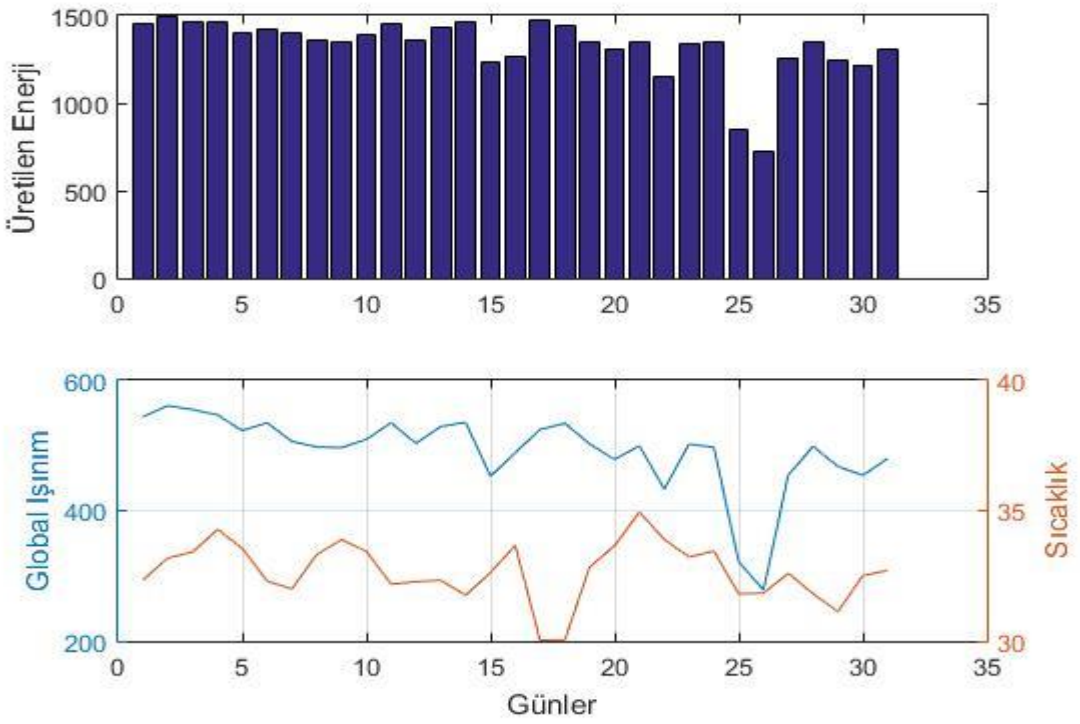
Şekil 4.23'de 2016 Ağustos ayı için ortalama toplam ışınım ve üretilen gücün gün içerisindeki saatlere göre değişimi verilmiştir. Ağustos ayındaki toplam ışıma miktarının maksimum değerleri 800 kWh/m^2 değerini aşmıştır. Buna karşılık üretilen güç değerinin maksimum değeri 180 kW civarındadır.



Şekil 4.23. 2016 Ağustos ayı için global ışıma ve üretilen gücün değişimi

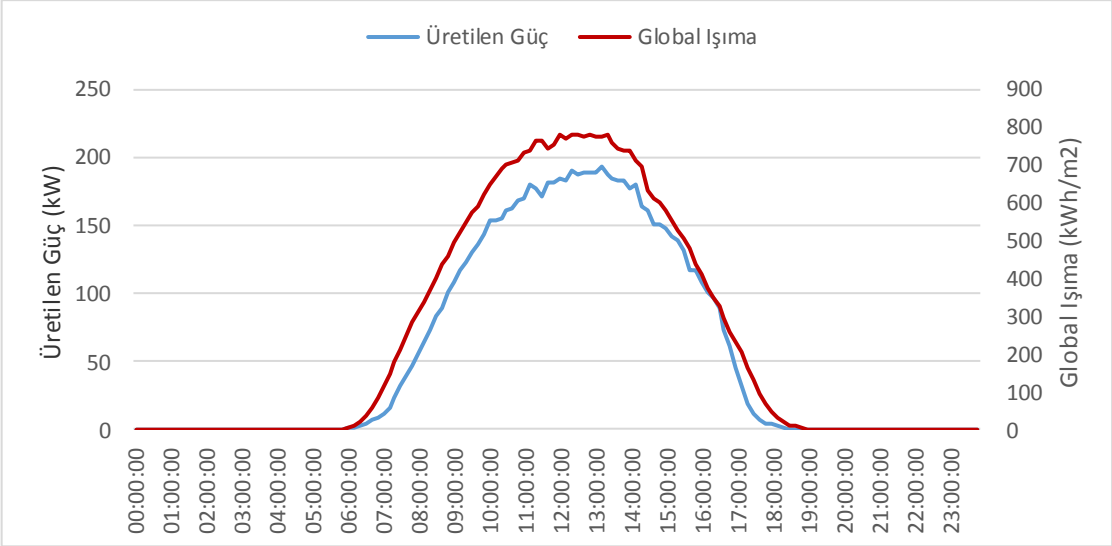
Şekil 4.24'de Ağustos ayı için üretilen enerjinin, sıcaklığın ve global ışımanın günlük değişimi verilmiştir. Maksimum enerji üretim miktarının 02.08.2016 tarihinde 1497,6 kWh'e ulaştığı gözlenmektedir. Bu ayda sıcaklığın 32ºC seyretmesinden dolayı toplam enerji üretimlerinde önceki aylara göre bir düşüş gözlenmiştir.19.08.2016 tarihinde 502,28 W/m^2 ışınım 32 ºC sıcaklık 1,43 m/sn ortalama rüzgar hızında üretilen

enerji 1349 kWh'dir. 26.08.2017 tarihinde 278,17 W/m^2 global ışınım, 32 ºC sıcaklık ve 1,45 m/sn ortalama rüzgar hızında 726,9 kWh'lik enerji üretilmiştir. Bu iki faklı günde ortalama sıcaklık ve rüzgar hızının eşit oluğu zamanda global ışınım değerleri arasındaki farklılık üretim değerleri üzerinde büyük bir etkide bulunmuştur. 26-27.08.2016 tarihlerinde havanın kapalı olmasından dolayı üretim değerleri bu ayki ortalamanın altında kalmıştır.



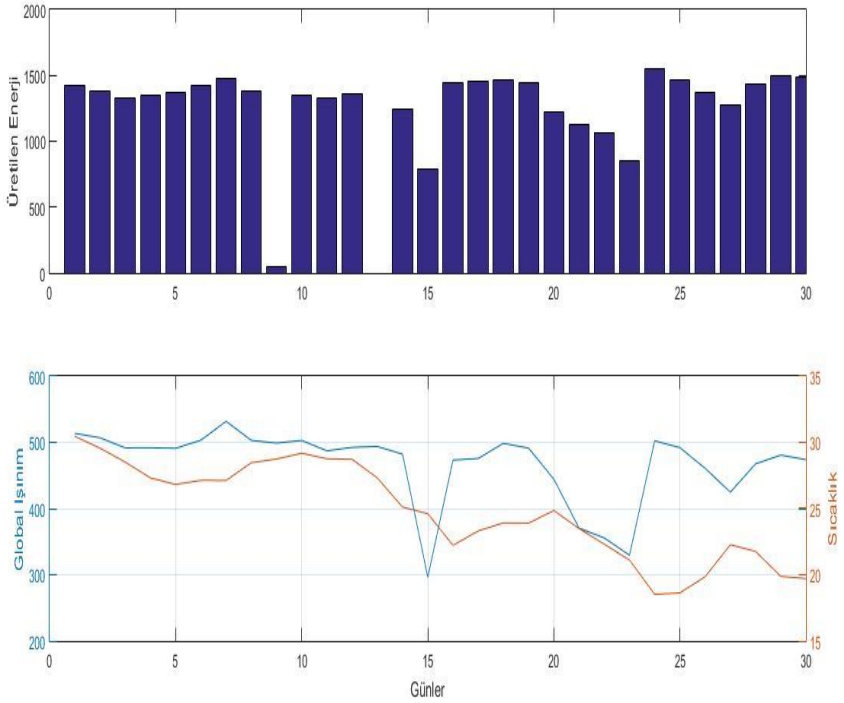
Şekil 4.24. 2016 Ağustos ayı için global ışıma ve üretilen gücün değişimi

Şekil 4.25'de 2016 Eylül ayı için ortalama toplam ışınım ve üretilen gücün gün içerisindeki saatlere göre değişimi verilmiştir. Eylül ayındaki toplam ışıma miktarının maksimum değerleri 800 kWh/m^2 değerine ulaşmıştır. Buna karşılık üretilen güç değerinin maksimum değeri 190 kW civarındadır.



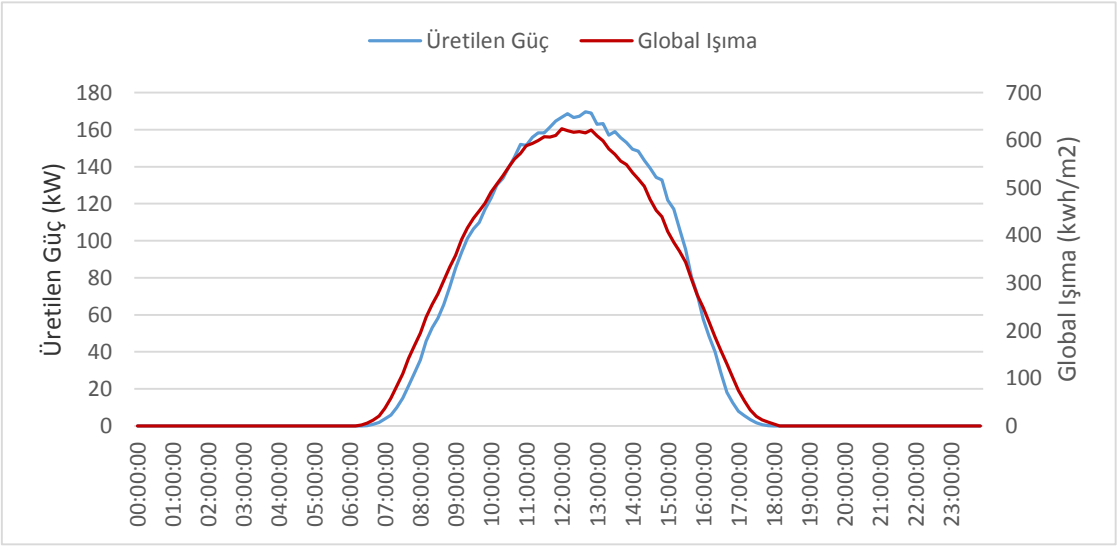
Şekil 4.25. 2016 Eylül ayı için global ışıma ve üretilen gücün değişimi

Şekil 4.26'da Eylül ayı için üretilen enerjinin, sıcaklığın ve global ışımanın günlük değişimi verilmiştir. Maksimum enerji üretim miktarının 30.09.2016 tarihinde 1488,5 kWh'e ulaştığı gözlenmektedir. 12.08.2016 tarihinde 503 W/m^2 global ışınım 32,3 ºC sıcaklık 1,61 m/sn ortalama rüzgâr hızında üretilen enerji 1361,1 kWh ve 05.09.2016 tarihinde 503,1 W/m^2 global ışınım, 27 ºC sıcaklık ve 2,2 m/sn ortalama rüzgar hızında 1420,1 kWh lik enerji üretilmiştir. Eylül ve ağustos aylarında global ışınım değerlerin aynı oluğu iki gün karşılaştırıldığında sıcaklığın üretim üzerindeki etkisi görülmektedir. Sıcaklıktaki 5ºC düşüş 59,1 kWh enerji kazanımına neden olmuştur. Ayrıca eylül içinde teknik arızadan dolayı bir gün komple üretim yapılamamış ve bir günde kısmen üretim yapılmıştır. 13.09.2016 tarihlerinde komple üretim yapılamamıştır ve bu iki günde üretilen enerji kaybımız 1300 kWh'tır. 09.09.2016 tarihinde teknik bir arızadan dolayı sadece 43 kWh enerji üretimi yapılmış bugünkü enerji kaybımız 1350 kWh iken 14.05.2016 tarihinde 162,1 kWh enerji üretimi olmuş bugünkü enerji kaybımızda 2650 kWh'dır.



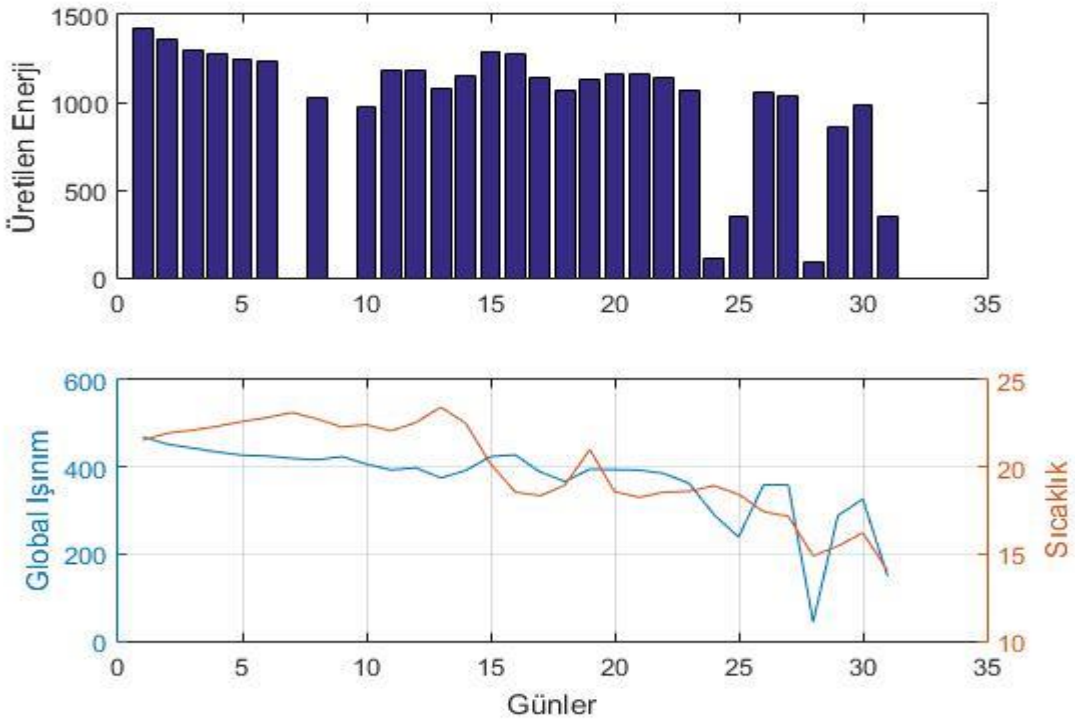
Şekil 4.26. 2016 Eylül ayı için global ışıma ve üretilen gücün değişimi

Şekil 4.27'de 2016 Ekim ayı için ortalama toplam ışınım ve üretilen gücün gün içerisindeki saatlere göre değişimi verilmiştir. Ekim ayındaki toplam ışıma miktarının maksimum değerleri 600 kWh/m^2 değerine ulaşmıştır. Buna karşılık üretilen güç değerinin maksimum değeri 170 kW civarındadır.



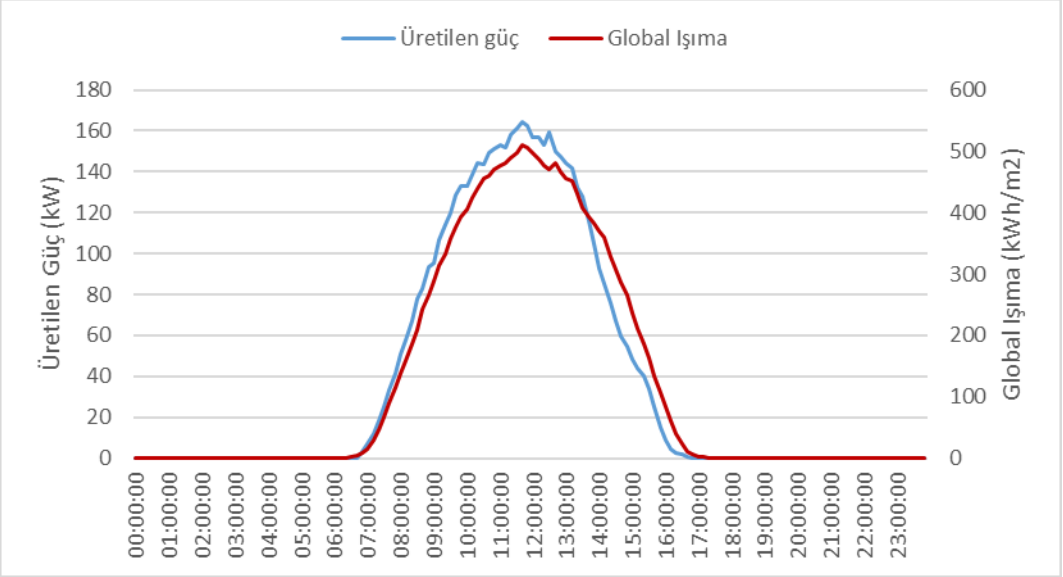
Şekil 4.27. 2016 Ekim ayı için global ışıma ve üretilen gücün değişimi

Şekil 4.28'de Ekim ayı için üretilen enerjinin, sıcaklığın ve global ışımanın günlük değişimi verilmiştir. Maksimum enerji üretim miktarının 01.10.2016 tarihinde 1418,5 kWh'e ulaştığı gözlenmektedir. 19.10.2016 tarihinde 394,5 W/m^2 ışınım 21 ºC sıcaklık 0,9 m/sn ortalama rüzgar hızında üretilen enerji 1134 kWh'dir. 20.10.2016 tarihinde 394 W/m^2 global ışınım, 18ºC sıcaklık ve 0,9 m/sn ortalama rüzgar hızında 1164 kWh lik enerji üretilmiştir. Bu iki faklı günde ortalama rüzgar hızı ve global ışınım değerleri birbirine bu kadar yakın iken sıcaklık değerleri arasındaki 3 ºC farklılık 30 kWh daha fazla enerji üretimine neden olmuştur. Ayrıca ekim ayı içinde teknik arızadan dolayı iki gün komple üretim yapılamamıştır. 07-09.10.2016 tarihlerinde komple üretim yapılamamıştır ve bu iki günde üretilen enerji kaybımız 2300 kWh'tır.



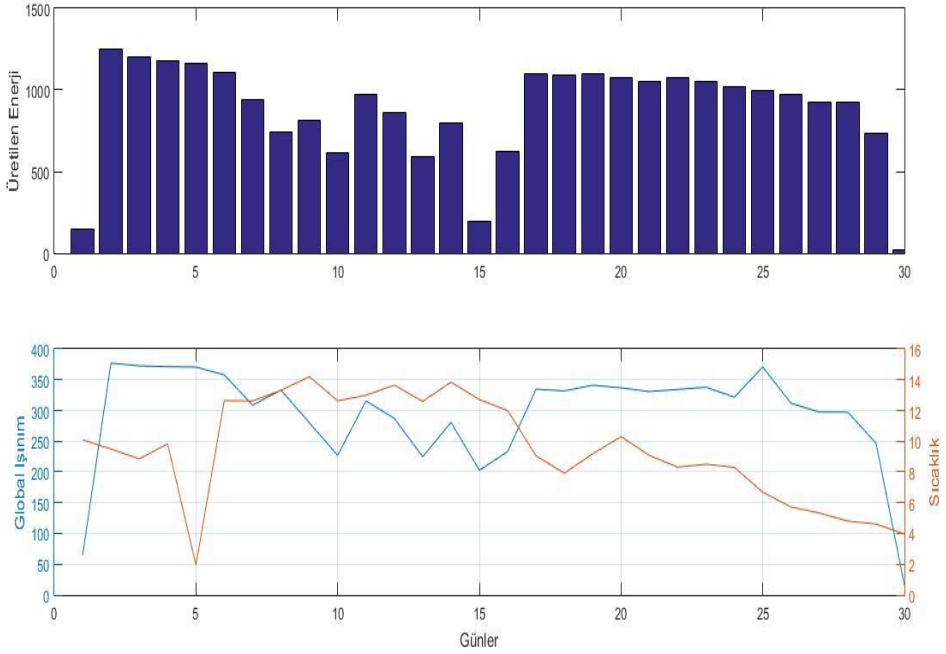
Şekil 4.28. 2016 Ekim ayı için global ışıma ve üretilen gücün değişimi

Şekil 4.29'da 2016 Kasım ayı için ortalama toplam ışınım ve üretilen gücün gün içerisindeki saatlere göre değişimi verilmiştir. Kasım ayındaki toplam ışıma miktarının maksimum değerleri 550 kWh/m^2 değerini aşmıştır. Buna karşılık üretilen güç değerinin maksimum değeri 160 kW civarındadır.



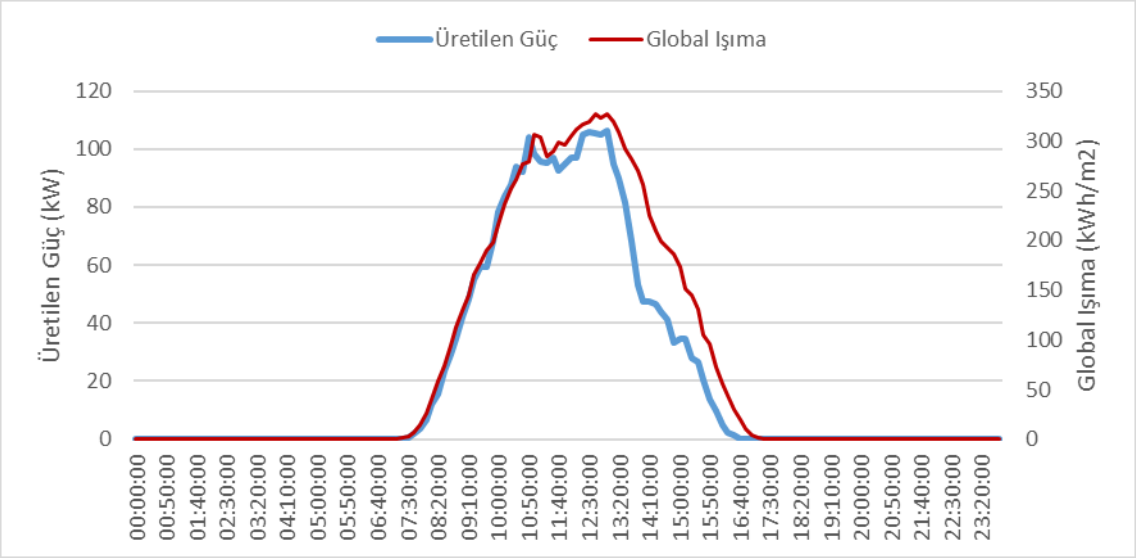
Şekil 4.29. 2016 Kasım ayı için global ışıma ve üretilen gücün değişimi

Şekil 4.30'da Kasım ayı için üretilen enerjinin, sıcaklığın ve global ışımanın günlük değişimi verilmiştir. Maksimum enerji üretim miktarının 02.11.2016 tarihinde 1251,5 kWh'e ulaştığı gözlenmektedir. Kasım ayında havanın yağmurlu ve kapalı olmasından ötürü istenilen düzeyde üretim yapılamamıştır.



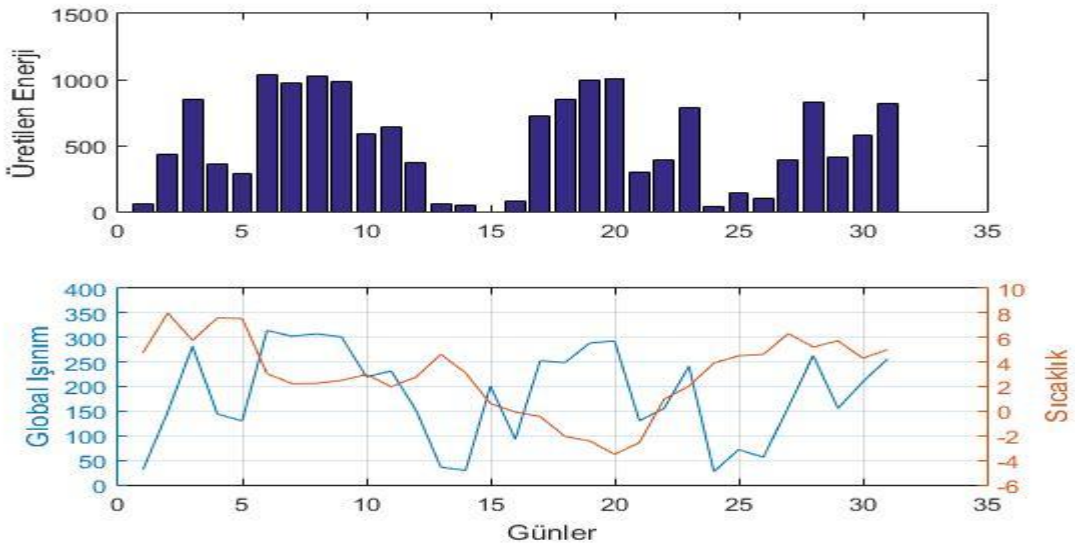
Şekil 4.30. 2016 Kasım ayı için global ışıma ve üretilen gücün değişimi

Şekil 4.31'de 2016 Aralık ayı için ortalama toplam ışınım ve üretilen gücün gün içerisindeki saatlere göre değişimi verilmiştir. Aralık ayındaki toplam ışıma miktarının maksimum değerleri 350 kWh/m^2 değerini aşmıştır. Buna karşılık üretilen güç değerinin maksimum değeri 110 kW civarındadır.



Şekil 4.31. 2016 Aralık ayı için global ışıma ve üretilen gücün değişimi

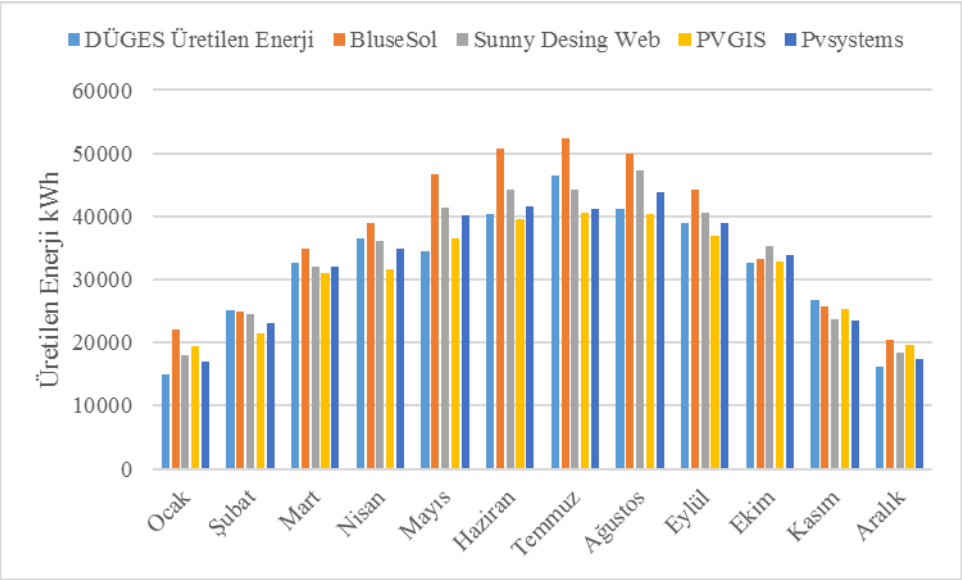
Şekil 4.32'de Aralık ayı için üretilen enerjinin, sıcaklığın ve global ışımanın günlük değişimi verilmiştir. Maksimum enerji üretim miktarının 06.12.2016 tarihinde 1039,2 kWh'e ulaştığı gözlenmektedir. Ayrıca 15.15.2016 tarihinde 201 W/m^2 lik global ışınım değeri olmasına rağmen teknik bir arızadan dolayı üretim yapılamamıştır ve bu günde yaklaşık olarak 580 kWh enerji kaybımız söz konusudur.



Şekil 4.32. 2016 Aralık ayı için global ışıma ve üretilen gücün değişimi

4.3. Üretim Sonuçları İle Farklı Simülasyon Programlarından Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

Dicle Üniversitesi Güneş Enerjisi Santralinden elde edilen enerjinin bir yıllık gerçek üretim değerleri ile simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 4.33'de sunulmuştur. Santralden elde edilen gerçek üretim değerlerine göre, santralde 2016 yılı boyunca 385.86 MWh enerji üretilmiştir. Simülasyon programlarına bakıldığında Bluesol programı ile bir yıl boyunca 443.99 MWh enerji üretimi öngörülüyorken, Sunny Desing Web simülasyon programı 406.1 MWh enerji üretimini öngörmüştür. PVGIS simülasyon programı ile de 375,3 MWh enerji üretileceği hesaplanmıştır. Kullanılan simülasyon programları dikkate alındığında gerçek üretim değerlerine en yakın üretimin, PVsyst simülasyon programı ile elde edildiği görülmektedir. PVsyst simülasyon programına göre 380.6 MWh'lik enerji üretimi öngörülmektedir. Simülasyon programlarının öngörüleri ile santral verilerinin uzun dönem ortalamalarının karşılaştırılması daha doğru sonuçlar verebilecektir. Zira yıllara bağlı olarak üretim değerleri, mevsimsel koşullara bağlı olarak bir miktar değişebilmektedir.



Şekil 4.33. Dicle Üniversitesi Güneş Enerji Santrali Üretim Değerleri ile Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

4.4 Dicle Üniversitesi Güneş Enerjisi Santralinin Maliyet Analizi

Fotovoltaik güneş enerjisi santralinin toplam yıllık geliri, yaklaşık olarak, mali analiz tekniklerinden, şimdiki değer yöntemi kullanılarak hesaplanacaktır. Bu bağlamda Dicle Üniversitesi Güneş Enerji Santralinin mali analizi yapılarak kurmuş olduğumuz sistemin geri dönüşüm süresi hesaplanmıştır.

İlk olarak yatırıma ait projenin gelir ve giderlerinin, kullanılacak ise kredi faiz oranlarının mali hesaba dahil edilmesi gerekir. Tüm bunlar hesaba katılarak projenin amortisman süresi (mali geri dönüşüm süresi) belirlenmelidir.

Arazi tipi bir projede yatırım kalemlerinin yatırım tutarı içindeki payı, %85-%90 oranıyla fotovoltaik santral kurulum bedelinden, %5 yatırım tutarı oranıyla sistemin bağlantı bedelinden, %5-%10 yatırım tutarı oranıyla arazi bedelinden, %1-%3 oranıyla da öngörülemeyen yatırım giderinden oluşmaktadır. Yatırım kalemlerinden fotovoltaik santral kurulum bedeli içinde yer alan yatırım kalemleri Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. PV ekipmanlarının yatırım tutarı içindeki oranları

Ekipman İsmi	Yatırım Tutarı İçindeki Oranı
PV Güneş Paneli	%45-%50
İnverter	%5-%10
Elektriksel Malzemeler	%10-%15
İnşaat Malzemeleri	%10-%15
İşçilik	%5-%15

Kurulan fotovoltaik güneş enerji santrallerin yatırım maliyetleri yanında sistemin işletme maliyetlerinin de göz önüne alarak amortisman süresi hesaplanmalıdır. Yılık işletme giderlerinin, %35-%40'ını bakım onarım giderleri, %35-40'ını personel giderleri, %25-%30'unu sistem kullanım giderleri, %5-%10'unu tesisin sigorta giderleri, %0,5-%1'ini de öngörülemeyen giderler oluşturur.

Sistemin maliyeti hesaplandıktan sonra, mali analiz yöntemi kullanılarak kurulmuş olan fotovoltaik santralin mali analizi yapılacaktır. Kurulmuş olan sistemin ömrü 25 yıl olarak belirlense de, gelişen fotovoltaik panel ve inverter teknolojisiyle birlikte bu süre daha da azalabilir.

Yapılacak olan hesaplamalarda 17 Haziran 2016 Türkiye Merkez Bankası kurları kullanılmıştır. Bu duruma göre 1 $ = 2,9296 TL ve 1 € = 3,2932 TL'dir. Dicle

Üniversitesi yerleşkesine kurulmuş olan 250 kWp'lik santralin maliyeti 877,000 TL'dir. Analizlerde yıllık faiz oranı %8 olarak kabul edilmiştir. Ayrıca yenilenebilir enerji sistemlerine Çizelge 4.5'den de görülecek fiyatlardan güneş enerjisi için on yıllık alım garantisi vardır.

Çizelge 4.5. Yenilenebilir Sitemler için teşvik miktarları

Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesis Tipi	Uygulanacak Fiyatlar (cent/kWh)
Hidroelektrik üretim tesisi	7,3
Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi	7,3
Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	10,5
Biyokütleye dayalı üretim tesisi (çöp gazı dahil)	13,3
Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	13,3

Genel olarak kristal yapıdaki fotovoltaik güneş panellerinin verimlerinde üretildikleri ilk yıldan sonra %2-%3, sonraki her yıl içinse % 0,7-% 1 arasında değişen değerlerde bir azalma gözlenebilir. Kullanılan güneş paneline ait veri formunda ise ikinci yılda panellerin veriminin %3, ikinci yıldan sonra ise her yıl % 0,7 azalacağı belirtilmiştir. Gerekli hesaplamalarda bu durum göz önüne alınacaktır. Çizelge 4.6'den görüldüğü gibi öngörülen yıllık toplam getiri öngörülen süre olan 25 yıl sonunda 3.624.263,5 TL olarak hesaplanmıştır. Proje kapsamında çelik ve alüminyum taşıyıcı yapı kullanıldığından, 25. Yıl sonunda sistemin hurda bedelinin 18.000 TL olacağı hesaplanmıştır.

Çizelge 4.6. Mali analiz hesaplamalarında kullanılan kısaltmaların listesi

i	**Yıllık faiz oranı**
n	Yıl sayısı (işletme yılı)
M	Kurulum maliyeti
A	25 yıllık öngörülen getirinin ortalaması
F	Gelecekte sistemin tasfiyesi sonucu elde edilecek hurda geliri

Mevcut değerin, 25 yıllık öngörülen getirinin ortalamasına dönüşümü aşağıdaki denklem ile verilmiştir.

$$A=M\left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}\right] \quad (4.1)$$

Mali analizlerde kullanılacak olan, 25 yıllık öngörülen toplam yıllık getirinin ortalaması A = 82.438 TL olarak bulunmuştur.

Dönem içindeki nakit akışlarının, şimdiki değere dönüştürülmesi ve şimdiki değer yönteminin (PW) uygulanabilmesi için gereklilik arz etmektedir. Yapılan hesaplamaların sonucunun pozitif yönde olması projenin uygulanabilirliğini göstermektedir. Burada Çizelge 4.4'de belirtilen kısaltmalar listesi kullanılacaktır.

$$PW = -M + A\left[\frac{(1+i)^n-1}{i(1+i)^n}\right] + F(1+i)^{-n} \quad (4.2)$$

$$PW= -877{,}000 + 82438\left[\frac{(1+0{,}08)^{25}-1}{0{,}08(1+0{,}08)^{25}}\right] + 18{,}000(1+0{,}08)^{-25}$$

$$PW=2{,}318 \text{ TL}$$

Şimdiki değer pozitif yönde çıktığı için proje uygulanabilir olarak kabul edilebilir. Bütün faydaların ve maliyetlerin bugünkü değerlerine dönüştürülmesi sonucu gerekli hesaplamalar gerçekleştirilir. Sistemin 25 yıllık ömür sonunda elde edilecek olan hurda değeri, başlangıç maliyetini azaltıcı bir faktör olarak toplam maliyet hesabına katılır. Bu yöntemde sağlanan fayda, yıllık getiridir. Bu yöntemde kullanılan formüller denklem 4.3'de gösterilmiştir.

$$\text{Kar/Yatırım Oranı} = \frac{\text{Eşdeğer Fayda}}{\text{Eşdeğer Maliyet}} \quad (4.3)$$

Eşdeğer fayda ile kastedilen bütün faydaların şimdiki değeri PX, denklem 4.4'da gösterilen denklem takımı ile hesaplanmıştır.

$$PX= A\left[\frac{(1+i)^n-1}{i(1+i)^n}\right] \quad (4.4)$$

$$PX = 82438\left[\frac{(1+0{,}08)^{25}-1}{0{,}08(1+0{,}08)^{25}}\right]$$

$$PX = 893.078 \text{ TL}$$

Eşdeğer maliyet (PY) ile kastedilen sistemin kurulum maliyeti ve bu değere hurda değerinin bugünkü değerine dönüşümünün eklenmesi ile elde edilen değerdir. Denklem 4.5'da gösterilen denklem takımı ile hesaplamaları gerçekleştirilmiştir.

$$PY = M + F(1 + i)^{-n} \quad (4.5)$$

$$PY = 877000 + 18000(1 + 0.065)^{-25}$$

$$PY = 879.628 \text{ TL}$$

$$\text{Kar/Yatırım Oranı} = \frac{\text{Eşdeğer Fayda}}{\text{Eşdeğer Maliyet}} = \frac{893078}{879628} \quad (4.6)$$

$$\text{Kar/Yatırım Oranı} = 1.02$$

Genel olarak Kar/Yatırım Oran'ının 1'den büyük olması projenin ekonomik açıdan uygunluğunu göstermektedir.

Dicle üniversitesinin 2016 yılı üretimi 385.86 MWh olarak öngörülmektedir. Bu sonucu baz alarak yaptığımız hesaplama ilk yıl getirisi toplam enerji üretimi ile şebekeye satılan elektrik enerjisinin birim fiyatı olan 0.133 $'e göre tesisin 1 yıllık elektrik kazancı 49.478 $ (144,970.54TL)'dır. Tesis yatırım maliyeti 877,000 TL olarak alınıp santralde yıllara bağlı herhangi bir kayıp ve döviz kurunda değişiklik olmadığı varsayıldığında tesis yatırım maliyetinin elektrik kazancına oranı hesaplanarak, santralin amortisman süresi 5.86 yıl olarak bulunmuştur.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde kurulmuş ve 2015 Aralık ayından beri üretim verileri kaydedilmekte olan güneş enerjisi santralinin gerçek değerlerine uygun olarak simülasyonu PVsyst simülasyon programı kullanılarak yapılmıştır. Simülasyon ile fotovoltaik güneş santralinin performans değerlendirilmesinde kullanılan IEC 61724 standardına göre tanımlanmış performans kriterleri ve enerji üretim değerleri elde edilmiştir.

Sonuçların analizinden 8,88 kWh/kW değeri ile referans verim, 5,98 kWh/kWp'lik değeri ile nihai verimin en büyük değerine Temmuz ayında ulaştığı tespit edilmiştir. Bu durum, Temmuz ayında havanın genellikle güneşli, güneşlenme süresinin uzun olması ve sistem arızasının olmaması nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Performans oranının en düşük değerinin 0,58 değeri ile Mayıs ayında meydana geldiği belirlenmiştir. En yüksek ışıma değeri, 619,88 kWh/m^2 olarak Haziran ayında ölçülmüştür. Ancak bu ışıma değerinin olduğu günde yapılan üretim değeri datalogger arızası nedeniyle kayıt altına alınamamıştır. Tesiste yaşanan elektrik kesintileri sebebi ile 2016 yılı içerisinde yaklaşık olarak 13.922 kWh'lik üretilmesi gereken elektrik enerjisi üretilememiştir. Tezde performans parametrelerinin aylara göre değişimi, aylara göre üretim değerleri elde edilmiş ve sunulmuştur.

Simülasyon sonuçlarına göre santralin yılda ortalama 380,6 MWh enerji üreteceği öngörülmektedir. Santral incelenen 2016 yılı içerisinde 385,86 MWh üretim yapmıştır. Santralin gerçek üretim değerlerinin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmasında Aralık ve Ocak aylarında sonuçların birbirinden daha çok uzaklaştığı görülmüştür. Bunun nedeni kış aylarında üretimin az buna karşın hava koşullarının oldukça değişken olmasıdır. Şubat, Mart ve Nisan aylarında ise sonuçların %10'nun altında fark ile yakınsadığı belirlenmiştir. Ocak ayı dışında gerçek üretim değerlerinin simülasyon değerlerinden daha büyük olduğu gözlenmiştir. Bu durum santralin kurulumunun ilk yılında olması nedeniyle maksimum panel verimine sahip olması, simülasyonun ise ortalama panel verimini kullanması ile açıklanabilir. Bunun yanında yaşanan meteorolojik olayların uzun dönem meteorolojik tahminlerden farklı olma olasılığının mevcut olması da sonuçları farklılaştırabilmektedir. En doğru

karşılaştırma ise, birkaç yıllık üretim verisinin ortalamasının simülasyon verisi ile karşılaştırılması ile elde edilebilir. Simülasyon programları ile güneş enerji santralinin simülasyonun yapılarak performans parametrelerinin elde edilmesi, santralin değerlendirilmesi açısından önemlidir. Böylelikle performansı arttırma yönünde çalışmalara ışık tutacak veriler elde edilmektedir.

Tezde mali analizin yapılabilmesi ve tesisin uygulanabilir olup olmadığının incelenebilmesi amacı ile şimdiki değer mali analiz yöntemi kullanılmıştır Analiz sonucunda şimdiki değer yönteminde 3.624.263,5 TL değeri elde edilmiştir. Kar/yatırım oranı 1.02 olarak hesaplanmıştır ve bu değerin 1'den büyük olması projenin ekonomik olarak uygulanabilirliğini göstermektedir.

İleriki çalışmalarda güneş enerjisi santrallerinin şebekeye etkisi, oluşturduğu harmonikler ve bu harmonikleri önleme için yapılabilecek çalışmalar ele alınabilir. Yine üretim verilerinin meteorolojik verilerle karşılaştırılması suretiyle, sıcaklık, ışıma ve rüzgâr değişimlerinin üretim değerleri üzerindeki etkisi genelleştirilerek ortaya konabilir. Bu durum üretim miktarına en çok etki eden parametrelerin bulunması ve bu parametrelerin iyileştirilmesi için yapılabileceklerin araştırılması açısından önemli olabilecektir.

6. KAYNAKLAR

Abbas, M.K. & Qadeer-ul-Hasan, 2015. Economic power generation for an off-grid site in Pakistan. , pp.1–6. Available at: http://ieeexplore.ieee.org/ielx7/7300233/7312176/07312189.pdf?tp=&arnumber=7312189&isnumber=7312176\nhttp://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=7312189&queryText=Micro-Grid HOMER&newsearch=true.

AKAR, A.2016. Installation And Performance Analysis Of A Solar Power Plant . Yüksek Lisans tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ. 108.

AKDUR, B., 2012. Güneş Enerjisi İle Hava Isıtacak, İzolasyonlu Kompozit Duvar Dizaynı Ve Simülasyonu. Bitirme Tezi, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir.93.

AJDAR, A., 2011. Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemleri İçin Optimum Eğim Açısının Hesaplanması Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Istanbul. 68.

Anto, R., Jose, J. & Scholar, P.G., 2014. Performance Analysis Of A 100kW Solar Photovoltaic Power Plant.

Aste, N., Groppi, F., Del Pero, C., 2007.The first installation under the Italian PV Rooftop Programme: a performance analysis referred to five years of operation. *DOI: 1-4244-0632-3/07/$20.00 ©2007 IEEE.*

Aste, N., Del Pero, C. & Leonforte, F., 2013. The first installation under the Italian PV Rooftop Programme: A performance analysis referred to 11 years of operation. *4th International Conference on Clean Electrical Power: Renewable Energy Resources Impact, ICCEP 2013*, pp.628–633.

Bayeh, C.Z., 2014. Comparison Between PV Farm , Solar Chimney and CSP Tower in Lebanon. , pp.205–210.

Bellini, A. & Bifaretti, S., 2009. Simplified model of a photovoltaic module. *... Electronics, 2009. AE*, (3), pp.3–7. Available at: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5289294.

6. KAYNAKLAR

Best, S.R., Rodiek, J.A. & Brandhorst, H.W., 2011. Comparison of solar modeling data to actual PV installations: Power predictions and optimal tilt angles. *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, pp.001994–001999.

Bianchini, A. et al., 2016. Performance analysis and economic assessment of different photovoltaic technologies based on experimental measurements. *Renewable Energy*, 85, pp.1–11. Available at: http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2015.06.017.

Bouzguenda, M. et al., 2014. Design of an off-grid 2 kW solar PV system. *2014 9th International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies, EVER 2014*, pp.1–6.

Campbell, M., 2009. Minimizing utility-scale PV power plant levelized cost of energy using high- capacity factor configurations. , pp.421–426. Available at: http://files.shareholder.com/downloads/SPWR/1111270876x0x296165/F1C1ED55-C2F7-4FB5-8403-3D43A2D40757/LCOE___051809__FINAL.pdf.

Chatterjee, A. & Keyhani, A., 2012. Neural network estimation of microgrid maximum solar power. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 3(4), pp.1860–1866.

Chu, Y., Urquhart, B., Gohari S., Pedro, H., Kleissl, J., Carlos F.M. (2014). Short-term reforecasting of power output from a 48 MWe solar PVplant. *Solar Energy*, pp.68- 77.

Cristaldi, L. et al., 2012. A simplified model of photovoltaic panel. *2012 IEEE I2MTC - International Instrumentation and Measurement Technology Conference, Proceedings*, (1), pp.431–436.

Cronin, A.D. et al., 2011. Performance reviews from the Tucson Electric Power solar test yard. *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, pp.002351–002356.

Doolla, S. & Banerjee, R., 2010. Diffusion of grid-connected PV in India: An analysis of variations in capacity factor. *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, pp.2349–2352.

El Fathi, A. et al., 2014. Performance parameters of a standalone PV plant. *Energy Conversion and Management*, 86, pp.490–495. Available at: http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2014.05.045.

Fezzani, A., Mahammed, I.H. & Said, S., 2014. MATLAB-based modeling of shading effects in photovoltaic arrays. *STA 2014 - 15th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering*, pp.781–787.

Fisher, B. et al., 2014. Field performance modeling of Semprius CPV systems. *2014 IEEE 40th Photovoltaic Specialist Conference, PVSC 2014*, pp.759–765.

Freeman, J. et al., 2014. Validation of multiple tools for flat plate photovoltaic modeling against measured data. *2014 IEEE 40th Photovoltaic Specialist Conference, PVSC 2014*, pp.1932–1937.

Fthenakis, V. & Yu, Y., 2013. Analysis of the potential for a heat island effect in large solar farms. *2013 IEEE 39th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*, pp.3362–3366. Available at: http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84896482856&partnerID=tZOtx3y1.

Gan, C.K., Tan, P.H. & Khalid, S., 2013. System Performance Comparison Between Crystalline and Thin-Film Technologies under Different Installation Conditions. *2013 IEEE Conference on Clean Energy and Technology (CEAT)*, pp.362–367.

George, A. & Anto, R., 2012. Analytical and experimental analysis of optimal tilt angle of solar photovoltaic systems. *2012 International Conference on Green Technologies (ICGT)*, pp.234–239. Available at: http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6477978.

Gharakhani Siraki, A. & Pillay, P., 2012. Study of optimum tilt angles for solar panels in different latitudes for urban applications. *Solar Energy*, 86(6), pp.1920–1928. Available at: http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2012.02.030.

Giglmayr, S., Brent, A., Gaunch, B., Fechner, H., 2015. Utility-scale PV power and energy supply outlook for South Africa in 2015. *Renewable Energy*.pp.779-785.

González, R., Jiménez, H.R. & Huacuz, J.M., Voltage and Power Ratio Effects of Grid-Connected Pv Plant ' S Operation on the Performance Ratio and Total System Efficiency. , pp.2–5.

Gostein, M., Caron, J.R. & Littmann, B., 2014. Measuring soiling losses at utility-scale PV power plants. *2014 IEEE 40th Photovoltaic Specialist Conference, PVSC 2014*, pp.885–890.

6. KAYNAKLAR

Gumus, B. & Haydaroglu, C., (2016). Development of The Renewable Energy Use In The World And The Situation Analysis In Turkey. *INESEC 2016, International Engineering, Science and Education Conference,2016, Diyarbakır*, pp.131-138.

Guo, B. et al., 2015. Effect of dust and weather conditions on photovoltaic performance in Doha, Qatar. *2015 1st Workshop on Smart Grid and Renewable Energy, SGRE 2015*.

Hasimah, A.R. & M.N.Khalid, 2009. Assessment of PV Cell Performance Under Actual\rMalaysia Operating Condition. *Power Engineering Confrence*, pp.1–5.

Hun So, J., Seok Jung, Y., Gyu Yu, B., Hwang, H., Jong Yu, G., 2006. Performance Results And Analysis Of Large Scale Pv System. *Photovoltaic System Research Center*.googlescholaar.com

Haydaroglu, C. & Gumus, B., (2017). Investigation Of The Effect Of Short Term Envıronmental Contamınatıon On Energy Productıon In Photovoltaıc Panels Under Climatic Conditions In Southeast Of Turkey.*Applied Solar Energy*, ISSN: 0003-701X (Print) 1934-9424 (Online) Available online: 25.01.2017, DOI: 10.3103/S0003701X17010066

Haydaroglu, C., Gumus, B. & KILIÇ, H., (2017). Investigation and Comparison of Solar Power Plant Simulation Programs.*International Conference "Fundamental and Applied Problems of Physics*, 2017. Özbekistan

Haydaroglu, C. & Gumus, B., (2016). Performance Analysis of grid connected 250 kWp Dicle University Solar Power Plant in Diyarbakır/ Turkey and comperation with simulation results at winter conditions. *VI. Internatıonal 100% Renewable Energy Conference*, pp.60-65.

Haydaroglu, C. & Gumus, B., (2016). Dicle Üniveritesi Güneş Enerjisi Santralinin PVsyst ile Simülayonu ve Performans Parametrelerinin Değerlendirilmesi. *DUMF Mühendislik Dergisi* ,7,3, pp.491- 500.

Haydaroglu, C., Gumus, B., KAÇMAZ, C & YILDIZ, E., (2016). The Sımulation Of Photovoltaic Solar Power Plants Through Thebluesol Software And An Investigation On The Accuracy Ofsimulation Results.*INESEC 2016, International Engineering, Science and Education Conference,2016, Diyarbakır*, pp.186-192.

Haydaroglu, C., Gumus, B., ERDOĞAN, H. & ACAR, H., (2016). Investıgatıon Of The Effect Of Short Term Environmental Pollutionon Energy Production In Photovoltaic Panels Dicle University Solarpower Plant Example. *INESEC 2016, International Engineering, Science and Education Conference,2016, Diyarbakır*, pp.180-185.

Haydaroglu, C. & Gumus, B., (2016). Examınatıon Of Pvgıs And Sunny Desıgnweb Photovoltaic System Webbased simulation Programs And Evaluation Of The Relıabılıty Ofresults. *INESEC 2016, International Engineering, Science and Education Conference,2016, Diyarbakır*, pp.193-200.

Jolhnson, J., Schenkman, B., Ellis, A., Quiroz, J.,2012. Initial Operating Experience of the 1.2-MW La Ola Photovoltaic System. *Sandia National Laboratories.www.googlescholaar.com*

IEA, 2015. Energy and climate change. *World Energy Outlook Special Report 2015*, pp.1–200. Availableat:https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2015SpecialReportonEnergyandClimateChange.pdf

IEA, 2016. Energy, Climate Change and Environment: 2016 Insights. *World Energy Outlook Special Repor2016*,pp.1200.Availableat:https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WorldEnergyOutlook2016ExecutiveSummaryEnglish.pdf

Ilaiyaraja, R. & Gopi, P., 2014. Performance modeling and assessment of different photo voltaic arrays for Indian climatic conditions. *Proceedings - 2013 International Conference on Renewable Energy and Sustainable Energy, ICRESE 2013*, pp.175–182.

Iqbal, Z., Soyumer, G. & Kazim, W., 2014. Design and implementation of 59 kWp solar hybrid mini-grid in SOLAB, Ras Al Khaimah. *2014 IEEE 40th Photovoltaic Specialist Conference, PVSC 2014*, (978), pp.2743–2747.

Irwanto, M. et al., 2014. Analysis simulation of the photovoltaic output performance. *Proceedings of the 2014 IEEE 8th International Power Engineering and Optimization Conference, PEOCO 2014*, (March), pp.477–481.

Kumara, S., Ariastina, G., Sukerayasa, W., Giriantari. D.,2013.1 MWp Grid Connected PV Systems in the Village of Kayubihi Bali; Review on Location ' s Characteristics and Its Technical Specifications. *DOI: 978-1-4799-0425-9/13/$31.00 ©2013 IEEE*

Kumar, N., 2015. Comparative Analysis of Four Different Solar Photovoltaic Technologies.

6. KAYNAKLAR

Kyprianou, S.K. et al., 2010. Feasibility Study of a 150kWp Photovoltaic Park in Cyprus. *Energy*, (November), pp.1–4.

Lofaro, R., Villaran, M. & Colli, A., 2012. Advancing the deployment of utility-scale photovoltaic plants in the northeast. *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, pp.608–612.

Lughi, V. et al., 2008. Economical analysis and innovative solutions for grid connected PV plants. *SPEEDAM 2008 - International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion*, pp.211–216.

Lurwan, S.M. et al., 2014. Predicting Power Output of Photovoltaic Systems with Solar Radiation Model. *IEEE International conference Power & Energy*, pp.304–308.

Mehwish, S., Bukhari, H. & Akhter, P., 2015. Performance Assessment of an On-Grid 178 . 08kW Photovoltaic System Islamabad , Pakistan.

Milosavljević, D.D., Pavlović, T.M. & Piršl, D.S., 2015. Performance analysis of A grid-connected solar PV plant in Niš, republic of Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, pp.423–435.

Mohammed, O.H. et al., 2014. Optimal Design of a PV / Fuel Cell Hybrid Power System for the City of Brest in France Optimal Design of a PV / Fuel Cell Hybrid Power System for the City of Brest in France. , pp.119–123.

Moniruzzaman, Md., Hasan, S.,2012. Cost analysis of PV IWind/DiesellGrid connected Hybrid Systems. *IEEE/OSA/IAPR International Conference on Informatics, Electronics & Vision.DOI: 978-1-4673-1154-0112/$31.00 ©20 12 IEEE*

Morshed, S. et al., 2015. Designing of a 2kW Stand-alone PV System in. , (February 2012).

Padmavathi, K. & Daniel, S.A., 2013. Performance analysis of a 3MWp grid connected solar photovoltaic power plant in India. *Energy for Sustainable Development*, 17(6), pp.615–625. Available at: http://dx.doi.org/10.1016/j.esd.2013.09.002.

Panchula, A.F., Hayes, W. & Kimber, A., 2012. First-year performance of a 20-MW ac PV power plant. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 2(3), pp.359–363.

Parrado, C., Girard, A., Simon, F., Fuentealba, E., 2015.2050 LCOE (Levelized Cost of Energy) projection for a hybrid PV (photovoltaic)-CSP (concentrated solar power) plant in the Atacama Desert, Chile. *Energy(94).*pp.422-430

Pietruszko, S., 2009. Analysis of the performance of grid connected photovoltaic system. *... Conference (PVSC), 2009 ...*, pp.48–51. Available at: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5411757.

Plangklang, B., Thanomsat, N. & Phuksamak, T., 2016. A verification analysis of power quality and energy yield of a large scale PV rooftop. *Energy Reports*, 2, pp.1–7. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484715300020.

Polat, S. & Şekerci, H., (2011).Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Gelecek Hedefleri. *Yaşar Üniversitesi Elektronik Mühendisliği Dergisi*.

Prasad, S., Lakshmi, M.V.S. & Sai Babu, C., 2012. Design of off-grid homes with Renewable energy sources. *IET Chennai 3rd International Conference on Sustainable Energy and Intelligent Systems (SEISCON 2012)*, pp.297–303. Available at: http://digital-library.theiet.org/content/conferences/10.1049/cp.2012.2229.

Quinn, S.W. & Lehman, B., 2013. A simple formula for estimating the optimum tilt angles of photovoltaic panels. *2013 IEEE 14th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics, COMPEL 2013*.

Raygani, S.V., Sharma, R. & Saha, T.K., 2013. Variability and performance analysis of the PV plant at the University of Queensland. *2013 Australasian Universities Power Engineering Conference, AUPEC 2013*, (October), pp.1–6. Available at: http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84894505630&partnerID=tZOtx3y1.

Remon, D., Canterallas, A., Elsaharty, M., 2015. Equivalent Model of a Synchronous PV Power Plant. , pp.47–53. DOI:978-1-4673-7151-3/15/$31.00 ©2015 IEEE

Schwabe, U. & Jansson, P.M., 2009. Performance measurement of amorphous and monocrystalline silicon PV modules in eastern U.S.: Energy production versus ambient and module temperature. *2009 IEEE Intrumentation and Measurement Technology Conference, I2MTC 2009*, (May), pp.1636–1641.

Sharma, V. & Chandel, S.S., 2013. Performance analysis of a 190kWp grid interactive solar photovoltaic power plant in India. *Energy*, 55, pp.476–485. Available at: http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.075.

Singh. S., Kumar, R., Vijay, V.,2014. Performance Monitoring of 43 kW Thin-film Grid-Connected Roof-top Solar PV System. *DOI: 978-1-4799-6046-0/14/$31.00 ©2014 IEEE*

Singh, S., 2014. Performance Analysis of 58 kW Grid-Connected Roof-top Solar PV System. *DOI: 978-1-4799-6046-0/14/$31.00 ©2014 IEEE*

Sowe, S., Ketjoy, N., Thanarak, P., Suriwong, T.,(2014). Technical and Economic Viability Assessment of PV Power Plants for Rural Electrification in The Gambia. *2013 International Conference on Alternative Energy in Developing Countries and Emerging Economies*,pp.389-398.

Stridh, B., 2012. Evaluation of economical benefit of cleaning of soiling and snow in PV plants at three European locations. *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, pp.1448–1451.

Sun, J., 2011. An optimum layout scheme for photovoltaic cell arrays using PVSYST. *Proceedings 2011 International Conference on Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer, MEC 2011*, pp.243–245.

Tang, R. & Liu, X., 2010. Installation design of solar panels with seasonal adjustment of tilt-angles. *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, APPEEC*.

Thomas, M.S., 2015. Data-Driven Modeling and Simulation of PV.*www.googlescholaar.com*

Türkyılmaz, O., 2015. Ocak 2015 İtibarıyla Türkiye'nin Enerji Görünümü Raporu. *Makina Mühendisleri Odası Bülten Eki*, 200.

UNE-EN et al., 2014. Performance ratio and yield analysis of grid connected clustered pv systems in japan. *Solar Energy Vol. 32*, 22(3), pp.2296–2299. Available at: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0196890408004615\nhttp://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960148111001182.

UNFCCC. Conference of the Parties (COP), 2015. Adoption of the Paris Agreement. Proposal by the President. *Paris Climate Change Conference - November 2015, COP 21*, 21932(December),p.32.Available at: http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf.

Varınca, K.B. & Gönüllü, M.T., 2006. Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma. *I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*, pp.270–275.

Wenger, H. & Jennings, C., 1990. Carrisa Plains PV power plant performance. *Photovoltaic Specialists Conference, 1990., Conference Record of the Twenty First IEEE*, 2, pp.844–849. Available at: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=111740.

Wetstone, G. &Thornton, K. (Eds.). (2016). Renewables 2015 Gloabl Status Report *United Arab Emirates*, Available at: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/05/GSR_2016_Full_Report_lowres.pdf

www.intersolar.ru7photovoltaic/

www.pvsolmecs.com/modules

http://www.epdk.org.tr/TR/Dokumanlar/Elektrik/YayinlarRaporlar/AylikSektor

Yadav, P., 2015. Simulation and Performance Analysis of a lkWp Photovoltaic System Using PVsyst. , pp.358–363.

Yılmaz, Ş. & Özçalık, H.R., 2015. Performance analysis of a 500-kWp grid-connected solar photovoltaic power plant in Kahramanmaraş. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 23, pp.1946–1957. Available at: http://online.journals.tubitak.gov.tr/openDoiPdf.htm?mKodu=elk-1404-157.

Zhao, Q., Wang, P. & Goel, L., 2010. Optimal PV panel tilt angle based on solar radiation prediction. *2010 IEEE 11th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, PMAPS 2010*, pp.425–430.

6. KAYNAKLAR

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı: Cem HAYDAROĞLU

Doğum Yeri: Merkez/Elazığ

Doğum Tarihi: 30.06.1989

Medeni Hali: Bekar

Yabancı Dili: İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise: Atatürk Lisesi / Elazığ, 2006

Lisans: Fırat Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği /ELAZIĞ,2011

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:

Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi:

Araştırma Görevlisi (2013-Halen), Diyarbakır

T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI İNTİHAL RAPORU FORMU

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ	
ADI VE SOYADI	Cem HAYDAROĞLU
ÖĞRENCİ NO	15805006
EĞİTİM – ÖĞRETİM YILI	2016-2017
YARIYIL	☐ Güz ☒ Bahar
ANABİLİM DALI	Elektrik-Elektronik Mühendisliği
PROGRAM	Yüksek Lisans
TEZ KONUSU	Dicle Üniversitesi Güneş Enerjisi Santralinin Performans Analizi
İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ	
RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma Sınavı Sonrası
SAYFA SAYISI	93
BENZERLİK ORANI	%11
RAPORLAMA TARİHİ	30/06/ 2017

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 93 sayfalık kısmına ilişkin, 30/06/2017 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından *Turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 11 'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

☐ Kabul/Onay sayfaları hariç,
☒ Kaynakça hariç
☐ Alıntılar hariç/dâhil
☐ Diğer

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Programlarda Tez Çalışması İntihal Raporu Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edilmesi durumunda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Cem HAYDAROĞLU

03/07/2017
Yrd. Doç. Dr. Bilal GÜMÜŞ
Tez Danışmanı

03/07/2017
Prof. Dr. İbrahim KAYA
Anabilim Dalı Başkanı