

**T.C.**  
**YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**YOZGAT İLİNDE BULUNAN BİR GES SİSTEMİNİN SAYISAL  
VE DENEYSEL ANALİZİ**

**Mehmet YILDIZ**

**Danışman**  
**Doç. Dr. Mevlüt ARSLAN**

**Yozgat 2019**



**T.C.**  
**YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**YOZGAT İLİNDE BULUNAN BİR GES SİSTEMİNİN SAYISAL  
VE DENEYSEL ANALİZİ**

**Mehmet YILDIZ**

**Danışman**  
**Doç. Dr. Mevlüt ARSLAN**

**Yozgat 2019**



YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ

TEZ ONAY FORMU

T.C.  
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAYI

Enstitümüzün Makine Mühendisliği Anabilim Dalı 70110916004 numaralı öğrencisi Mehmet YILDIZ'ın hazırladığı "Yozgat İlinde Bulunan Bir GES Sisteminin Sayısal ve Deneysel Analizi" başlıklı Doktora/Yüksek Lisans tezi ile ilgili Tez Savunma Sınavı, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği uyarınca 09/12/2019 Pazartesi günü saat 11:00'da yapılmış, tezin onayına oy birliği / oy-çekişme ile karar verilmiştir.

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Yusuf TEKİN

Üye : Doç. Dr. Mevlüt ARSLAN (Danışman)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Murat Kadir YEŞİLYURT

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 09/01/2020 tarih ve 02 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

09/01/2020

Prof. Dr. Mustafa SACMACI



# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>vii</b>
<b>TABLolar DİZİNİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ</b> .....	<b>xii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Güneş Enerjisi .....	1
1.2. Ülkemizin Güneş Enerji Potansiyeli .....	2
1.3. Güneş Açılırları .....	3
1.4. Atmosfere ve Yeryüzüne Gelen Güneş Işınımrları .....	5
1.4.1. Atmosfer Dışı Güneş Işınımı.....	6
1.4.2. Atmosfer İçi Güneş Işınımı .....	7
1.4.2.1. Atmosfer İçi Yatay Düzleme Gelen Güneş Işınımı .....	8
1.4.2.2. Atmosfer İçi Eğik Düzleme Gelen Güneş Işınımı .....	9
1.5. Güneş Enerjisi Kullanım Alanları .....	10
<b>2. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER</b> .....	<b>12</b>
2.1. Fotovoltaik Güneş Hücreleri .....	12
2.1.1. Fotovoltaik Hücresinin Yapısı .....	13
2.1.2. Fotovoltaik Hücre Üretimi .....	15
2.1.3. Fotovoltaik Hücresinin Çalışma Prensipleri.....	16
2.2. Güneş Hücresi Türleri .....	17
2.2.1. Birinci Nesil (Kristal Silisyum) Güneş Hücreleri .....	18
2.2.2. İkinci Nesil(İnce Film) Güneş Hücreleri .....	19
2.2.3. Yeni Nesil Güneş Hücreleri .....	20

2.3. Fotovoltaik Sistem Çeşitleri.....	21
2.3.1. Şebeke Bağımsız Fotovoltaik Sistemler .....	21
2.3.2. Şebeke Bağımlı Fotovoltaik Sistemler .....	22
2.3.3. Hibrit (Karma) Fotovoltaik Sistemler.....	23
2.4. Fotovoltaik Sistemlerinin Elektrik Üretiminde Kullanımı .....	24
2.4.1. Elektrik Üretiminde Kullanılan Fotovoltaik Sistemlerin Tasarımı .....	24
2.4.2. Fotovoltaik Sistemlerin Kullanım Şekilleri .....	26
2.4.2.1. Fotovoltaik Sistemlerin Çatılarda Kullanımı.....	26
2.4.2.2. Fotovoltaik Sistemlerin Binaların Dış Cephelerinde Kullanımı.....	31
2.4.2.3. Fotovoltaik Sistemlerin Binaların Farklı Bölümlerinde Kullanımı ...	36
2.4.2.4. Fotovoltaik Sistemlerin Park Ve Bahçe Aydınlatmasında Kullanım	38
2.4.2.5. Fotovoltaik Sistemlerin Trafik Alanlarında Kullanımı .....	38
<b>3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....</b>	<b>39</b>
<b>4. FOTOVOLTAİK SİSTEM TEORİSİ .....</b>	<b>45</b>
4.1. Fotovoltaik Sistem Kapasitesi.....	45
4.1.1. Fotovoltaik Modül Verimi .....	45
4.1.2. İnverter Verimi .....	46
4.2. Model Algoritması .....	46
4.2.1. Meteorolojik Verilerin Bileşenlerine Ayrıştırılması.....	48
4.2.2. Yatay Düzleme Gelen Toplam Radyasyonun Difüz Ve Direk Radyasyon Bileşenlerine Ayrıştırılması .....	49
4.2.3. Eğik Düzleme Gelen Difüz Ve Direk Radyasyonun Hesaplanması.....	50
4.2.4. Eğik Düzleme Gelen Yansıyan Radyasyonun Hesaplanması .....	51
4.2.5. Eğik Düzleme Gelen Toplam Radyasyonun Hesaplanması.....	52
4.2.6. Fotovoltaik Sistem Enerji Modeli .....	52
4.2.7. Fotovoltaik Modülün Verimi .....	52
4.2.8. İnverter Verimi .....	53

<b>5. MATERYAL VE METOT.....</b>	<b>54</b>
5.1. Fotovoltaik Sistemin Tanıtılması .....	54
5.2. Fotovoltaik Santralin Bulunduğu Alanın Coğrafi Bölgesinin Belirlenmesi ....	55
5.3. GES Santrali Kurulu Alanın Meteorolojik Verilerinin Derlenmesi .....	58
5.4. Fotovoltaik (PV) Sistem Özelliklerinin Belirlenmesi .....	60
5.4.1. Fotovoltaik Modül ve Panellerinin Belirlenmesi ve Entegrasyonu.....	62
5.4.2. PV Sistemde Kullanılan İnverterlerin Belirlenmesi Ve Entegrasyonu.....	62
5.4.3. Veri Kaydetme Sisteminin Tanıtımı ve Entegrasyonu .....	65
5.4.4. Fotovoltaik Santralin Kurulumu ve İşletmeye Alınması .....	66
5.5. PVsyst Programının Tanıtımı ve Kullanımı .....	68
5.5.1. PVsyst Programın Tanıtımı.....	68
5.5.2. PVsyst Programının Kullanımı .....	69
5.6. Fotovoltaik Sistemin Üretim/Kayıp Analizinde Kullanılan Performans Parametreleri.....	69
<b>6. BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>	<b>71</b>
6.1. Verilerin İşlenmesi ve Değerlendirilmesi .....	71
6.1.1. Çalışma Bölgesinde Kurulu Bulunan Sistemin Üretim/Kayıp Analizinin Yapılması ve Performansının İrdelenmesi .....	71
6.1.2. Sayısal Verilerle Birlikte Deneysel Verilerin Değerlendirilmesi.....	74
6.1.3. GES Santralinin Performansının Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi .....	75
6.1.4. Sayısal Simülasyonları Yapılan Fotovoltaik Sistemlerin Performanslarının Değerlendirilmesi ve Birbirleri İle Karşılaştırılması.....	79
<b>7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>87</b>
<b>8. KAYNAKLAR .....</b>	<b>89</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>94</b>

# YOZGAT İLİNDE BULUNAN BİR GES SİSTEMİNİN SAYISAL VE DENEYSEL ANALİZİ

**Mehmet YILDIZ**

**Yozgat Bozok Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**2019; Sayfa: 94**

**Danışman: Doç. Dr. Mevlüt ARSLAN**

## ÖZET

Bu çalışmada, PVsyst 6.7.9 programı ile Yozgat ilinde bulunan şebekeye bağlı bir fotovoltaik (PV) sistemin tasarımı yapılarak, gerçek üretim değerleri ile simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Yozgat ilinde bulunan fotovoltaik güneş enerjisi santralının coğrafi konumu PVsyst programında işaretlenmiş ve bölgenin meteorolojik verileri, programda var olan Meteororm 7.2 veritabanından alınmıştır. Sistemde, 4400 adet 265 Wp güçte polikristal fotovoltaik panel ve 20 adet 50 kW güçte evirici (inverter) kullanılmıştır. PVsyst 6.7.9 programından aylık ve yıllık radyasyon miktarları, aylık ve yıllık üretim verileri, fotovoltaik sisteme ait kayıplar (Modül dizisi uyumsuzluğu kaybı, Ohmik kablolama kaybı, Sanal enerji kaybı, Global İnverter kayıpları vb.) ve performans verileri elde edilmiştir. Sistemin ürettiği enerji miktarı 60,18 kWh/kWp/ gün iken, şebekeye verdiği yıllık enerji miktarı ise 52,16 kWh/kWp/ gün olarak hesaplanmıştır. Sistemin performans oranı da %88,13'dür. Yozgat ilinde kurulu bulunan sistemden 2018 yılı boyunca 1859 MWh enerji şebekeye aktarılırken; aynı sistemin PVsyst programı çıktısına bakıldığında, sistemin şebekeye % 86,65 performans oranı ile 1851 MWh enerji nakledeceği öngörülmektedir. Yapılan analizde, simülasyon sonuçları ile gerçek üretim değerleri arasında yaklaşık % 0,15'lik bir fark olduğu görülmüştür. Kurulu sistem özellikleri dikkate alınarak tasarlanan ve



aynı enlemde yer alan ancak farklı iklim bölgelerinde bulunan pilot iller için (Erzurum, Ankara, Çanakkale) karşılaştırma hesaplamaları yapılmıştır. Bu hesaplamalara göre aynı sistemin; Erzurum'da % 88,32 performans oranı ile yıllık 1700 MWh, Ankara'da % 86,7 performans oranı ile yıllık 1612 MWh ve Çanakkale'de % 84,74 performans oranı ile yıllık 1588 MWh enerji üreteceği öngörülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santrali, PV sistem, PVsyst



# **NUMERICAL AND EXPERIMENTAL ANALYSIS OF A GES SYSTEM IN YOZGAT PROVINCE**

**Mehmet YILDIZ**

**Yozgat Bozok University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering  
MsCThesis**

**2019; Page: 94**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mevlüt ARSLAN**

## **ABSTRACT**

In this study, the design of a photovoltaic (PV) system connected to the grid in Yozgat province with PVsyst 6.7.9 program was aimed to compare the actual production values with simulation results. The geographical location of the photovoltaic solar power plant in Yozgat province was marked in the PVsyst program and the meteorological data of the region was taken from the Meteonorm 7.2 database that exists in the program. 4400 polycrystalline photovoltaic panels with 265 Wp power and 20 inverters with 50 kW power were used in the system. Monthly and annual radiation amounts, monthly and annual production data, losses of photovoltaic system (loss of module array mismatch, loss of Ohmic wiring, loss of virtual Energy, Global Inverter losses, etc.) and performance data of the system were obtained from PVsyst 6.7.9 program. While the amount of energy produced by the system was 60,18 kWh/kWp/ day, the annual amount of energy supplied to the network was calculated as 52,16 kWh/kWp/ day. The performance rate of the system was found as 88.13%. While 1859 MWh of energy will be transferred to the grid from the system installed in Yozgat province in 2018, looking at the output of the PVsyst program for the similar system, it was predicted that the system will transfer 1851 MWh of energy to the grid with a performance rate of 86.65%. The analysis shows that there is a difference of approximately 0.15% between the simulation results and the actual production values. Comparison calculations were made for the possible photovoltaic systems installed in

pilot provinces (Erzurum, Ankara, Çanakkale) which are located at the same latitude but in different climatic zones. These photovoltaic systems were designed taking into consideration of the system features established in the Yozgat province. According to these calculations; It was estimated that the possible photovoltaic systems generate 1700 MWh per year with 88.32% of performance in Erzurum, 1612 MWh per year with 86.7% of performance in Ankara and 1588 MWh per year with 84.74% of performance in Çanakkale.

**Keywords:** Photovoltaic Solar Power Plant, PV system, PVsyst



## TEŞEKKÜR

Bu çalıőmanın gerçekleőme sürecinde, değerli bilgi ve birikimini benden esirgemeyen, tez suresince kıymetli zamanını bana ayırarak, güleryüz ve sabırla, beni motive ederek sürekli yanımda olan, kıymetli hocam Doç. Dr. Mevlüt ARSLAN'a, tez çalışmasında jüri yesi olarak bulunan ve çalışma suresince yardımlarını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Murat Kadir YEŞİLYURT'a, bu günlere gelmemde, büyük maddi ve manevi desteği olan abim İbrahim YILDIZ'a ve her türlü bilgi ve belgeleri, tez çalışmamda kullanmam için benimle paylaőan, Coşkunlar A.Ő. firmasına ve yönetim kuruluna sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

## TABLolar DİZİNİ

<b>Tablo 1.1</b> Ortalama Hesaplamalarda Her Ay İçin Önerilen Değerler .....	4
<b>Tablo 2.1</b> PV Hücre Yarı İletken Malzemeleri .....	15
<b>Tablo 2.2</b> PV'lerin atılarda Kullanım Örnekleri .....	27
<b>Tablo 2.3</b> PV'lerin Dış Cephelerde Kullanımı .....	32
<b>Tablo 4.1</b> Yozgat Bölgesi İçin DMİGM'den Alınan Aylık Ortalama Günlük Toplam Güneşlenme Şiddeti Verileri .....	48
<b>Tablo 4.2</b> Farklı Yüzeylerin Yansıtma Katsayıları .....	51
<b>Tablo 5.1</b> İllerin Türkiye İklim Bölgelerine Göre Dağılımı .....	57
<b>Tablo 5.2</b> Meteorolojik Hava Olaylarının Aylık Ortalama Gün Sayıları .....	59
<b>Tablo 5.3</b> Kullanılan Panelin Özellikleri .....	62
<b>Tablo 5.4</b> Kullanılan İnverterin Özellikleri .....	64
<b>Tablo 5.5</b> Sistem Elemanlarının Adet, Sayı ve Kapasiteleri .....	67

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Ülkemizin Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Aylara Göre Dağılımı ..	3
Şekil 1.2 Ülkemizin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı .....	3
Şekil 1.3 Güneş Açılarının Gösterimleri.....	5
Şekil 1.4 Güneşten Dünyaya Gelen Radyasyon.....	6
Şekil 1.5 Yeryüzünden Bir Düzleme Gelen Güneş Işınım Çeşitleri .....	6
Şekil 1.6 Binalarda Kullanılan Güneş Enerjisi Sistemleri .....	11
Şekil 2.1 Fotovoltaik Sistemlerde Hücre, Modül, Panel Ve Dizi .....	13
Şekil 2.2 Fotovoltaik Güneş Hücresi Yapısı .....	14
Şekil 2.3 Fotovoltaik Modül Üretim Aşamaları .....	16
Şekil 2.4 Fotovoltaik Hücresinin Çalışma Prensibi .....	17
Şekil 2.5 Güneş Hücreleri Çeşitleri .....	17
Şekil 2.6 Monokristal Silisyum Güneş Hücresi Yapısı (a) ve Görünüşü (b) .....	18
Şekil 2.7 Polikristal Silisyum Güneş Hücreleri ve Renkleri .....	19
Şekil 2.8 İnce Film Güneş Hücresi .....	20
Şekil 2.9 Nanokristal Güneş Hücresi (DSC Boyalı Hücreler) .....	20
Şekil 2.10 Şebeke Bağımsız Fotovoltaik Sistemlerin Basit Kurulum Şeması .....	22
Şekil 2.11 Şebekeye Bağlı PV Sistemlerin Basit Şeması .....	23
Şekil 2.12 Karma PV Sistem Şeması .....	23
Şekil 2.13 Brezilya'daki Florianopolis Uluslararası Havalimanı .....	24
Şekil 2.14 PV Sistemlerin Binalarda Kullanımı.....	26
Şekil 2.15 Fotovoltaik Sistemlerin Düz Çatılarda Kullanımına Ait Bir Örnek .....	28
Şekil 2.16 Fotovoltaik Hücrelerin Çatılarda Ek Yardımcı Malzeme İle Kullanımı ...	29
Şekil 2.17 Birleşik PV Çatı Kullanımı .....	29
Şekil 2.18 Şıngıl Çatıda Fotovoltaik Sistemlerin Kullanımı .....	30
Şekil 2.19 Fotovoltaik Şet Çatı Uygulaması .....	30
Şekil 2.20 Kavisli (Eğrisel) Çatılarda Fotovoltaik Sistemin Kullanımına Ait Bir Örnek .....	31
Şekil 2.21 Atriumda PV Kullanımı .....	31

<b>Şekil 2.22</b> Fotovoltaik Sistemlerin Perde Duvarlarda Kullanım Detayı .....	33
<b>Şekil 2.23</b> Fotovoltaik Sistemlerin Perde Duvarlarda Kullanımına Ait Bir Örnek ...	34
<b>Şekil 2.24</b> Kapaklı PV Giydirme Cephe Sistem Detayı .....	34
<b>Şekil 2.25</b> Fotovoltaiklerin Sabit Gölgeleme Elemanı Olarak Kullanımına Ait Bir Örnek (Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi) .....	35
<b>Şekil 2.26</b> Fotovoltaik Sistemlerin Binalarda Hareketli Gölge Elemanı Olarak Kullanımına Ait Bir Örnek .....	36
<b>Şekil 2.27</b> PV'lerin Verandalarda Kullanımına Ait Bir Örnek .....	36
<b>Şekil 2.28</b> PV'lerin Güneş Kepenklerinde Kullanımına Ait Bir Örnek .....	37
<b>Şekil 2.29</b> PV'lerin Saçaklarda Kullanımına Bir Örnek .....	37
<b>Şekil 2.30</b> PV'lerin Bina Korkuluğunda Kullanımına Ait Bir Örnek .....	37
<b>Şekil 2.31</b> PV'lerin Park Ve Bahçe Aydınlatmalarında Kullanılmasına Ait Bir Örnek .....	38
<b>Şekil 2.32</b> Trafik Lambalarında PV'lerin Kullanımına Ait Bir Örnek .....	38
<b>Şekil 4.1</b> Pvsyst Program Algoritması.....	47
<b>Şekil 5.1</b> Uygulama Bölgesinde Bulunan Güneş Enerjisi Santralının Uydu Görünümü .....	54
<b>Şekil 5.2</b> Uygulama Bölgesinde Bulunan Güneş Enerjisi Santralının Üstten Görünümü .....	55
<b>Şekil 5.3</b> İklim Bölgelerinin Türkiye Haritası Üzerindeki Dağılımı .....	56
<b>Şekil 5.4</b> Yatay Düzleme Gelen Global, Yayılı Işınım ve Dış Ortam Sıcaklık Değerlerinin Aylara Göre Dağılımı. ....	58
<b>Şekil 5.5</b> Bağlı Nem, En Düşük Ve En Yüksek Sıcaklık Değer Ortalamalarının Aylara Göre Değişimi .....	60
<b>Şekil 5.6</b> Uygulama Bölgesinde Bulunan PV Sisteminin Genel Bağlantı Şeması.....	61
<b>Şekil 5.7</b> Sistemde Kullanılan İnverterlere Ait Resim.....	63
<b>Şekil 5.8</b> Veri Kaydetme Sisteminin Görünümü.....	65
<b>Şekil 5.9</b> Veri Kaydetme Sistemindeki İnverter Sayısı Görünümü.....	66
<b>Şekil 5.10</b> Güneş Enerjisi Santrali Çalışma Şeması .....	67
<b>Şekil 6.1</b> Birim Metrekare Panel Alanı İçin Aylara Göre Günlük Ortalama Kayıp/Üretim Miktarları ve Performans Oranları. ....	73
<b>Şekil 6.2</b> Aylara Göre Saatlik Ortalama Şebekeye Verilen Enerji Miktarı .....	74

<b>Şekil 6.3</b> Kurulu GES Üretim Değerleri İle Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması .....	75
<b>Şekil 6.4</b> Programa Ait Sistem Kayıp Diyagramı .....	76
<b>Şekil 6.5</b> Aylara Göre Şebekeye Verilen Enerji Miktarları ve Performans Oranları .	77
<b>Şekil 6.6</b> Aylara Göre Ortalama Detaylı Sistem Kayıpları .....	78
<b>Şekil 6.7</b> Üretilen Enerjilerin Ve Dış Ortam Sıcaklıklarının Aylara Göre Değişimi .	79
<b>Şekil 6.8</b> Aynı Enlemde Yer Alan Farklı İklim Bölgelerinde Bulunan Aynı Sistemin Yıllık Üretilen Enerjisi ve Sistem Verimi .....	81
<b>Şekil 6.9</b> Çanakkale İli İçin Yatay Düzleme Gelen Global, Yayıllı Işınım ve Dış Ortam Sıcaklığının Aylara Göre Ortalama Dağılımı. ....	82
<b>Şekil 6.10</b> Çanakkale İli İçin Birim Metrekare Panel Alanı İçin Aylara Göre Günlük Ortalama Kayıp/Üretim Miktarları ve Performans Oranları. ....	83
<b>Şekil 6.11</b> Ankara İli İçin Yatay Düzleme Gelen Global, Yayıllı Işınım ve Dış Ortam Sıcaklığının Aylara Göre Ortalama Dağılımı. ....	83
<b>Şekil 6.12</b> Ankara İli İçin Birim Metrekare Panel Alanı İçin Aylara Göre Günlük Ortalama Kayıp/Üretim Miktarları ve Performans Oranları. ....	84
<b>Şekil 6.13</b> Erzurum İli İçin Yatay Düzleme Gelen Global, Yayıllı Işınım ve Dış Ortam Sıcaklığının Aylara Göre Ortalama Dağılımı. ....	85
<b>Şekil 6.14</b> Erzurum İli İçin Birim Metrekare Panel Alanı İçin Aylara Göre Günlük Ortalama Kayıp/Üretim Miktarları ve Performans Oranları. ....	86



## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

<b><u>Simgeler</u></b>	<b><u>Anlamı ve Birimi</u></b>
<b>Ac</b>	: Yüzey Alanı
<b>ay</b>	: Yüzey Azimut Açısı
<b>ag</b>	: Güneş Azimut Açısı
<b>d</b>	: Denklinasyon Açısı
<b>E</b>	: Enerji, MWh
<b>e</b>	: Enlem Açısı
<b>g</b>	: Güneş Geliş Açısı
<b>h</b>	: Saat Açısı
<b>Hb</b>	: Gün Batımı Saat Açısı
<b>I</b>	: Toplam Radyasyon
<b>Kd</b>	: Direkt Güneş Işınımı Oranı
<b>Ky</b>	: Difüz Işınım Oranı
<b>Kt</b>	: Gökyüzü Açıklık İndeksi
<b>r</b>	: Günlük Toplam Radyasyon
<b>Rd</b>	: Direkt Radyasyon Ara Faktörü
<b>s</b>	: Yüzey Eğim Açısı
<b>T<sub>air</sub></b>	: Hava Sıcaklığı, °C
<b>V<sub>wind</sub></b>	: Ortalama Rüzgar Hızı, m/s
<b>z</b>	: Zenit Açısı
<b>ρ</b>	: Ortalama Yansıtma Katsayısı
<b><u>Alt İndisler</u></b>	<b><u>Anlamı ve Birimi</u></b>
<b>air</b>	: Hava
<b>e</b>	: İnverter
<b>gs</b>	: Güneş Sabiti
<b>d</b>	: Direkt
<b>ref</b>	: Referans

**wind** :Rüzgâr

**y** :Yayılı

**Kısaltma** **Anlamı ve Birimi**

**DMİGM** : Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü

**EİEİGM** : Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü

**GS** : Güneş Saati

**LCR** : Dizi Kaybının Anlık Enerjiye Oranı

**LSR** : Sistem Kaybının Anlık Enerjiye Oranı

**MAÇS** : Meteorolojiden Alınan Çevre Sıcaklığı

**NDK** : Normalize Dizi Kaybı, kWh/m<sup>2</sup>.gün

**NDÜ** : Normalize Dizi Üretimi, kWh/kWp/gün

**NOCT** : Normal Ortam Test Koşulları

**NSK** : Normalize Sistem Kaybı,

**NSÜ** : Normalize Sistem Üretimi, kWh/kWp/gün

**PAÇS** : Programdan Alınan Çevre Sıcaklığı

**PHE** : Programla Hesaplanan Enerji

**PR** : Performans Oranı

**PV** : Fotovoltaik Sistem

**SÜE** : Sistemden Üretilen Enerji

**STC** : Standard Test Koşulları

# 1. GİRİŞ

Dünyadaki stratejik dengelerin enerjiye endeksli olduğu bilinmektedir. Günümüzde tükenmekte olan fosil yakıtların ve türevlerinin kullanılması, sera gazı etkisi yaratmakla beraber insan sağlığını tehdit etmektedir. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasının teşvik edilmesi önemli hale gelmiştir.

Ülkemizde hızlı nüfus artışı, sanayileşme ve kentleşmeye bağlı olarak tüketilen enerji miktarı artmaktadır. Tüketilen enerji miktarı üretilen enerji miktarından fazla olduğundan dolayı, bu durum ülkemizi dışarıya enerji bakımından bağımlı hale getirmektedir. Bu nedenle enerji tasarrufunun yapılması zorunlu hale gelmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ile dışa bağımlılık azalacak, ülkemizin yaşayacağı çevre ve ekonomik sorunlar ortadan kalkacaktır.

Güneşlenme süresinin yüksek olduğu ülkemiz dikkate alındığında; son yıllarda en çok talep gören güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren fotovoltaik sistemlerinin kullanımı ve teşviki, ülkemizin enerjide dışarıya olan bağımlılığını bir nebze olsun azaltacak ve bununla beraber yeni yatırım alanları ortaya çıkaracaktır. Ancak fotovoltaik sistemlerin kurulmasının ülkemizde yaygınlaştırılması sağlanırken, diğer taraftan enerji tasarrufuna da dikkat edilmesi gerekmektedir.

## 1.1. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi; güneşteki yüksek sıcaklık ve basınç nedeni ile dört hidrojen atomunun birleşerek bir helyum çekirdeğine dönüşmesi (füzyon) ve bir helyum çekirdeğinin de dört hidrojen atomuna ayrışması (fizyon) ile gerçekleşen ve nükleer bir etkileşimle meydana gelen ışıma enerjisidir.

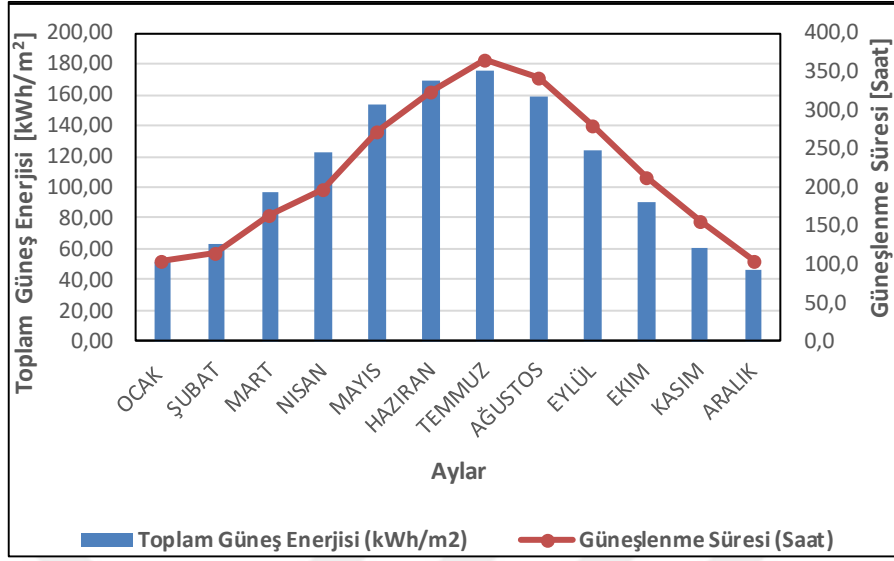
Güneş; 1.391.000 km çapında, hacmi dünyadan 1,3 milyon kat büyüklüğünde ve dünyadan 150 milyon kilometre mesafede bulunan bir gök cisimidir. Güneş, galaksi sisteminde yoğunluğu sudan 100 kat daha fazla olan ve yüksek sıcaklığa sahip  $10^{14}$  yıldızdan biridir. Yüzey sıcaklığı yaklaşık 6.000 K olup, bu sıcaklık merkeze doğru 8-40 milyar K arasında değişiklik göstermektedir. Dev bir nükleer reaktör gibi davranan güneşte fizyon (ayrışma) ve füzyon (birleşme) nükleer tepkimeler gerçekleşmektedir. Gerçekleşen bu tepkimeler sonucunda oluşan enerji, Einstein'ın madde-enerji teorisi

(kuram) ile açıklanır. Güneşten gelen enerji çeşitli ışık formlarında uzay boşluğuna yayılmaktadır. Bu ışık formları; Ultraviyole ışın, X ışını, görünür ışık, kızılötesi ışınlar, mikrodalga ve radyo dalgaları şeklindedir. Sonsuz bir enerji kaynağı olarak görülen güneşin dünyaya ulaşan fotonlarının tamamının kullanılması durumunda, ihtiyacımız olan yıllık kullanılan enerjinin yaklaşık 20 bin katı elde edilebilir [1].

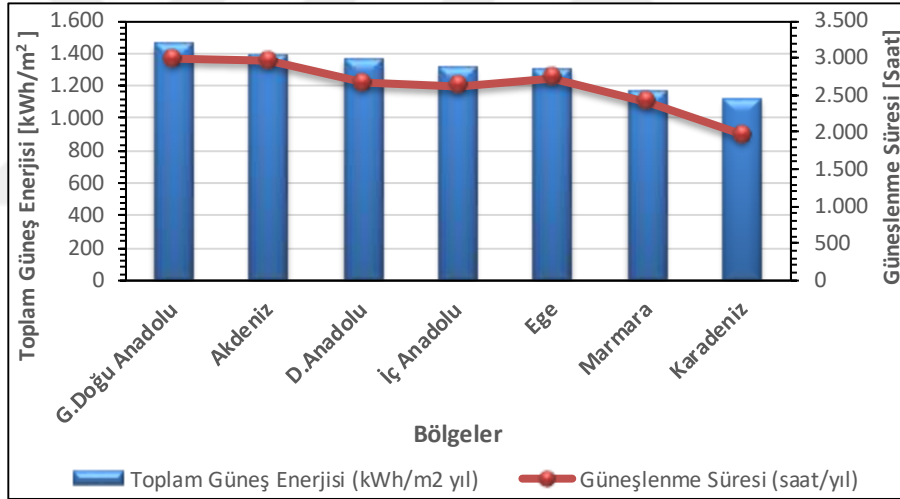
1970 yılından itibaren güneş enerjisi üzerine yapılan çalışmalar büyük bir ivme kazanmıştır. Kurulum, bakım ve onarım maliyetleri bakımından günümüzde ekonomik boyutlara ulaşılmıştır. Güneş enerjisi günümüzde insanlık için termal konforu sağlarken, çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak da kendini kabul ettirmiştir. Güneş enerjisi uygulamaları, günümüzde tarımsal alanda, sanayide ve birçok alanda karşımıza çıkmaktadır.

## **1.2. Ülkemizin Güneş Enerji Potansiyeli**

Türkiye, coğrafi konumu nedeniyle birçok ülkeye göre sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından şanslı durumdadır. DMİGM'den 1966-1982 yıllarında ölçülen ortalama ışınım şiddeti ve güneşlenme süreleri dikkate alındığında, ülkemizin ortalama günlük ortalama güneşlenme süresi 7,2 saat ve ortalama toplam günlük ışınım miktarı da 3,6 kWh/m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Şekil 1.1'de ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli dikkate alındığında, yıllık ortalama 1100 kWh'lik güneş enerjisi üretmemiz mümkündür. Şekil 1.2'de ise ülkemizin bölgelere göre toplam güneş enerjisi potansiyelinin dağılımı görülmektedir. Burada görüldüğü üzere; güneşlenme süresinin, buna bağlı olarak toplam güneş enerjisi miktarının, sonuçta da güneş enerjisinde yararlanma veriminin en fazla olduğu bölge Güneydoğu Anadolu Bölgesi iken, en düşük değerlerin bulunduğu bölge ise Karadeniz Bölgesi'dir.



Şekil 1.1 Ülkemizin toplam güneş enerjisi potansiyelinin aylara göre dağılımı [2]



Şekil 1.2 Ülkemizin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [2]

### 1.3. Güneş Açıları

Enlem Açısı (e): Söz konusu konumdan dünya merkezine çizilen doğrunun dünyanın ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır ( $-90^{\circ} \leq e \leq 90^{\circ}$ ).

Denklinasyon Açısı (d): Güneş ışınlarının ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır ve ( $-23'45^{\circ} \leq d \leq 23'45^{\circ}$ ) arasında değişir. Deklinasyon açısı aşağıdaki şekilde hesaplanabilir [3].

$$d = 23,45 \sin \left( 360 \frac{284+n}{365} \right) \quad (1.1)$$

Mühendislik uygulamalarında yapılacak hesaplamalar için Tablo 1.1’de verilen aylık ortalama gün değerleri kullanılarak, deklinasyon açısının aylık ortalama değerleri hesaplanabilir [4].

**Tablo 1.1** Ortalama hesaplamalarda her ay için önerilen değerler [5]

Ay	Ayın i Günü İçin n Değeri	Ortalama Tarih	Ortalama n	Ortalama $\delta$
<b>Ocak</b>	i	17	17	-20,9
<b>Şubat</b>	31+i	16	47	-13,0
<b>Mart</b>	59+i	16	75	- 2,4
<b>Nisan</b>	90+i	15	105	9,7
<b>Mayıs</b>	120+i	15	135	18,8
<b>Haziran</b>	151+i	11	162	23,1
<b>Temmuz</b>	181+i	17	198	21,2
<b>Ağustos</b>	212+i	16	228	13,5
<b>Eylül</b>	243+i	15	258	2,2
<b>Ekim</b>	273+i	15	288	-9,6
<b>Kasım</b>	304+i	14	318	-18,9
<b>Aralık</b>	334+i	10	344	-23,0

Yüzey Eğim Açısı ( $s$ ): Söz konusu eğik düzlem ile yatay düzlem arasındaki açıdır.

Yüzey Azimut Açısı ( $a_y$ ): Güneş ışını alan yüzeyin dikeyinin yerel boylama göre sapmasını gösteren açıdır. Güneye bakan yüzeyler için  $a_y=0^\circ$ ’dir.

Güneş Azimut Açısı ( $a_g$ ): Yatay yüzey üzerindeki direkt radyasyon bileşeninin güney eksenine ile yaptığı açı olarak tanımlanır.

Saat Açısı ( $h$ ): Söz konusu yerin boylamı ile güneşi dünya merkezine birleştiren doğrunun bulunduğu boylam arasındaki açıdır. Her  $15^\circ$ ’lik saat açısı bir (1) saate denk gelmektedir.

$$h \text{ (derece)} = 15(12 - GS) \quad (1.2)$$

Burada GS, işlem yapılan Güneş Saatini temsil etmektedir.

Gün Batımı Saat Açısı ( $H_B$ ): Gün batımındaki saat açısı değeridir, aşağıda belirtilen eşitlik ile hesaplanabilir [4].

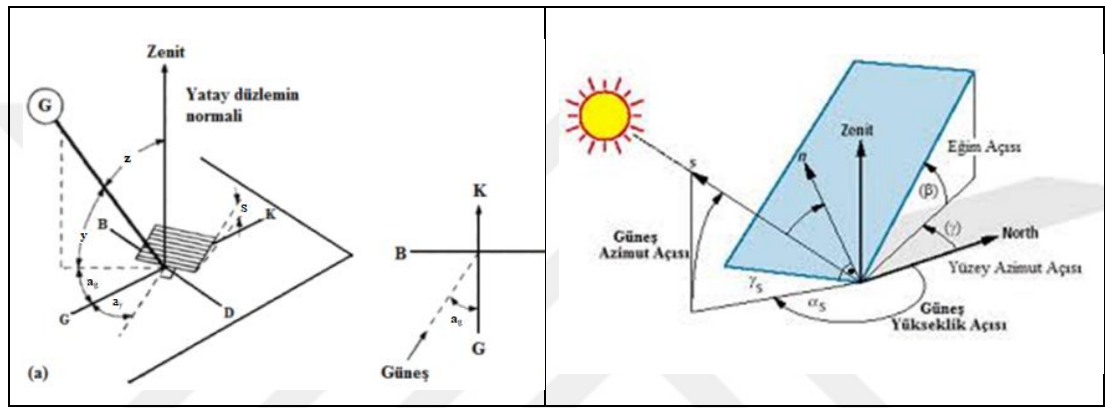
$$\cos HB = - \tan e \tan d \quad (1.3)$$

Güneş Geliş Açısı (g): Bir eğik düzlemin üzerine gelen direk güneş ışınımının yüzeyin dikeyi ile yaptığı açıya denir.

Zenit Açısı (z): Güneş ışını ile yatay yüzeyin dikeyi arasındaki açıdır.

Güneş Yükseklik Açısı (y): Güneş ışınımı ile yatay yüzey arasındaki açıdır.

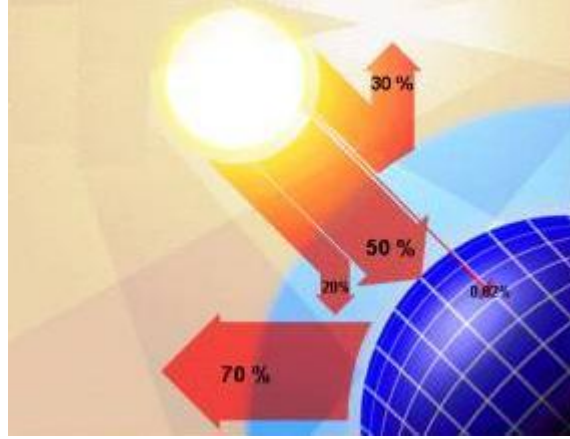
Bu bölümde verilen güneş açılarının gösterimi Şekil 1.3 (a) ve (b)'de verilmiştir.



Şekil 1.3 Güneş Açılarının Gösterimleri [4].

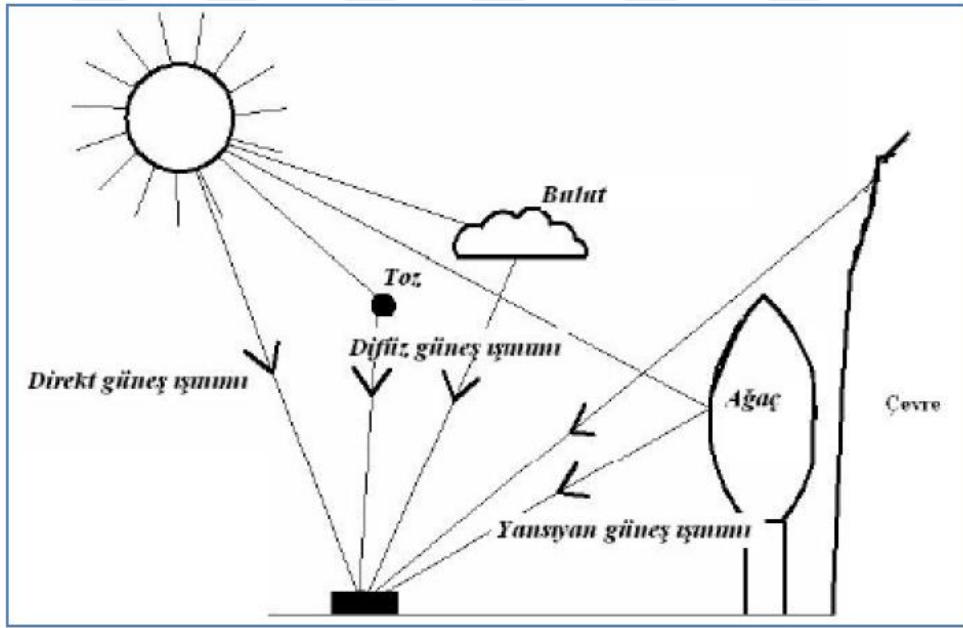
#### 1.4. Atmosfere ve Yeryüzüne Gelen Güneş Işınları

Güneş, yapısında hidrojen ve içerisinde az miktarda helyum gazı bulunan bir yıldızdır. Güneş çekirdeğinde meydana gelen nükleer reaksiyon sonucunda ışıma enerjisi ortaya çıkmaktadır. Çıkan bu ışınlar farklı formlarda ve dalga boyunda dünyamıza ulaşmaktadır. Şekil 1.4'de görüldüğü gibi Güneşten dünya üzerine gelen güneş radyasyonunun % 30'u uzaya geri yansır, % 20'si atmosferden geçişi sırasında dünya atmosferinde absorbe edilir. Diğer %50'side yeryüzüne ulaşır. Dünyamıza ulaşan güneş ışınımının % 70'i tekrar uzay boşluğuna geri yansır.



**Şekil 1.4** Güneşten dünyaya gelen radyasyon [6]

Şekil 1.5’de görüldüğü gibi yer yüzeyine ulaşan ve yeryüzü tarafından absorbe edilen güneş radyasyonu üç bileşene ayrılır. Bunlar; doğrudan dünya yüzeyine ulaşan direkt radyasyon, atmosfer tarafından kırılan ve yönü değiştirilen yayılı (difüz) radyasyon ve bulutlardan, ağaçlardan ve yapı malzemeleri tarafından yeryüzüne yansıyan güneş radyasyonudur.



**Şekil 1.5** Yeryüzünden bir düzleme gelen güneş ışınım çeşitleri [6]

#### 1.4.1. Atmosfer dışı güneş ışınımı

Mühendislik uygulamaları hesaplamalarında, atmosfer dışı yatay düzleme gelen güneş radyasyonu değeri, güneş enerjisi uygulamalarında önem taşımaktadır. Literatürde bu değerin çok düşük hatalar ile hesaplanabildiği modeller belirtilmiştir.



Günlük atmosfer dışı yatay düzleme gelen güneş radyasyonu ( $I_{on}$ ) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir [4].

$$I_{on} = I_{gs} \left( 1 + 0,033 \cos \frac{360n}{365} \right) \quad (1.4)$$

Burada  $n$  günün yıl içindeki sıra sayısı olup,  $I_{gs}$  ise güneş sabiti değeridir ve  $I_{gs} = 1353 \text{ W/m}^2$  dir.

Saatlik atmosfer dışı yatay düzleme gelen güneş radyasyonu ( $I_{on}$ ) ise aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir [4].

$$I_{on} = I_{gs} \left( 1 + 0,033 \cos \frac{360n}{365} \right) \cos(z) \quad (1.5)$$

$$\cos z = \cos e \cos d \cos h + \sin e \sin d \quad (1.6)$$

Burada  $z$ , Zenit açısıdır ve  $\cos z$  ifadesi (1.5) denkleminde yerine konulduğunda,

$$I_{on} = I_{gs} \left( 1 + 0,033 \cos \frac{360n}{365} \right) (\cos e \cos d \cos h + \sin e \sin d) \quad (1.7)$$

Denklem (1.7) elde edilir.

#### 1.4.2. Atmosfer içi güneş ışıınımı

Güneş enerjisi sisteminin tasarımında gerekli görülen büyüklükler içerisinde en önemlisi, faydalanabilir güneş ışıınımı şiddetidir. Atmosfer dışına gelen güneş ışıınımının %50'si atmosferde bulunan parçacıklar tarafından yutulur ve geriye kalan kısmı ise yeryüzüne ulaşarak, yeryüzünde yaşamı mümkün kılar. Doğrudan yeryüzüne gelen kısmına “direk güneş ışıınımı” saçılan ışıınımlardan yeryüzüne gelene ise “yayılı (diffuse)” güneş ışıınımı denir. Yeryüzündeki cisimler tarafından atmosfere ve yeryüzüne yansıyan güneş ışıınımına ise yansıyan (reflect) güneş ışıınımı denir. Direkt veya yayılı güneş ışıınımı pratik olarak  $0,1-3,0 \mu m$  dalga boyu aralığında olduğundan, kısa dalga boylu ışıınımlar olarak adlandırılır ve toplamları “tüm (global) güneş ışıınımı” nı oluşturur.

Güneş ışıınımı atmosferi geçerken, ortamda bulunan parçacıklar (atomlar, moleküller, tozlar vs.) tarafından saçılır. Özellikle dalga boyu  $3,0 \mu m$  den küçük güneş ışıınımının büyük kısmı hava molekülleri tarafından saçılım'a uğrar. Toz, su buharı ve benzeri

parçacıklar tarafından saçılan ışınım miktarı bölgelere göre farklılık gösterir. Endüstriyel bölgelerde saçılan ışınım miktarı kırsal kesimlere göre farklıdır. İzafi nem, toplam basınç veya toz konsantrasyonu artıkça saçılma artar.

Yeryüzüne gelen maksimum artık ışınım değeri 1-100 W/m<sup>2</sup> civarındadır. Güneş sabiti günlere göre düzeltme faktörü f; n, gün sayısı olmak üzere;

$$f = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{360n}{365}\right) \quad (1.8)$$

denklemleri ile verilmektedir.

Yüzeye gelen güneş ışınımının hesabından daha ziyade yatay ve eğik düzleme gelen ışınımına bakılır.

#### **1.4.2.1. Atmosfer içi yatay düzleme gelen güneş ışınımı**

Yatay düzlem üzerine düşen direkt ve difüz radyasyon değerleri mühendislik ve araştırma çalışmaları için önem taşımaktadır. Yatay düzleme gelen saatlik toplam radyasyon değerleri pek çok istasyon tarafından ölçülmekte ve veriler kaydedilmektedir. Fakat yatay düzleme gelen difüz radyasyon değerlerinin ölçümü sınırlı sayıda istasyon tarafından yapılmaktadır. Bu açıdan literatürde difüz radyasyonun hesaplanabilmesi için çok sayıda (yaklaşık 250 adet) model bulunmaktadır [7].

Bahsedilen çoğu matematik modelde yeryüzüne gelen güneş ışınımının hesabı; gökyüzü açıklık indeksi  $k_t$ , difüz (yayıllı) ışınım oranı  $k_y$  ve direkt güneş ışınımı oranı  $k_d$ , yansıyan ışınım oranı  $k_{yan}$  katsayılarının fonksiyonu olarak aşağıdaki denklemlerde verilmiştir [8].

$$k_t = \frac{I}{I_0} \quad (1.9)$$

$$k_y = \frac{I_y}{I} \quad (1.10)$$

$$k_d = \frac{I_d}{I} \quad (1.11)$$

$$k_{yan} = \frac{I_{yan}}{I_o} \quad (1.12)$$

Burada I, yeryüzünde yatay düzleme gelen toplam radyasyonu;  $I_d$ , yeryüzünde yatay düzleme gelen direkt radyasyonu;  $I_y$ , yeryüzünde yatay düzleme gelen difüz (yayı) radyasyonu,  $I_{yan}$ , yeryüzündeki cisimlerden ve bulutlardan yatay düzleme yansıyan radyasyonu ve  $I_o$  ise atmosfer dışı yatay düzleme gelen toplam radyasyonu ifade etmektedir.

#### 1.4.2.2. Atmosfer içi eğik düzleme gelen güneş ışınımı

Güneş enerjisi uygulamalarında eğik düzleme gelen güneş ışınım miktarını tahmin etmek için birçok araştıra yapılmış ve formüller yayımlanmıştır. Eğik düzleme gelen toplam güneş radyasyonu; eğik düzleme gelen direkt, yayılı ve eğik düzleme yansıyan güneş radyasyonu bileşenlerinden oluşmaktadır. Eğik düzleme gelen toplam güneş radyasyonu aşağıdaki formüllerle hesaplanır.

$$I_e = I_{d,e} + I_{y,e} + I_{yan,e} \quad (1.13)$$

$$k_{d,e} = \frac{I_{d,e}}{I_d} \quad (1.14)$$

$$I_{y,e} = I_y \cdot \frac{1 + \cos s}{2} \quad (1.15)$$

$$I_{yan,e} = I_{yan} \cdot \frac{1 - \cos s}{2} \quad (1.16)$$

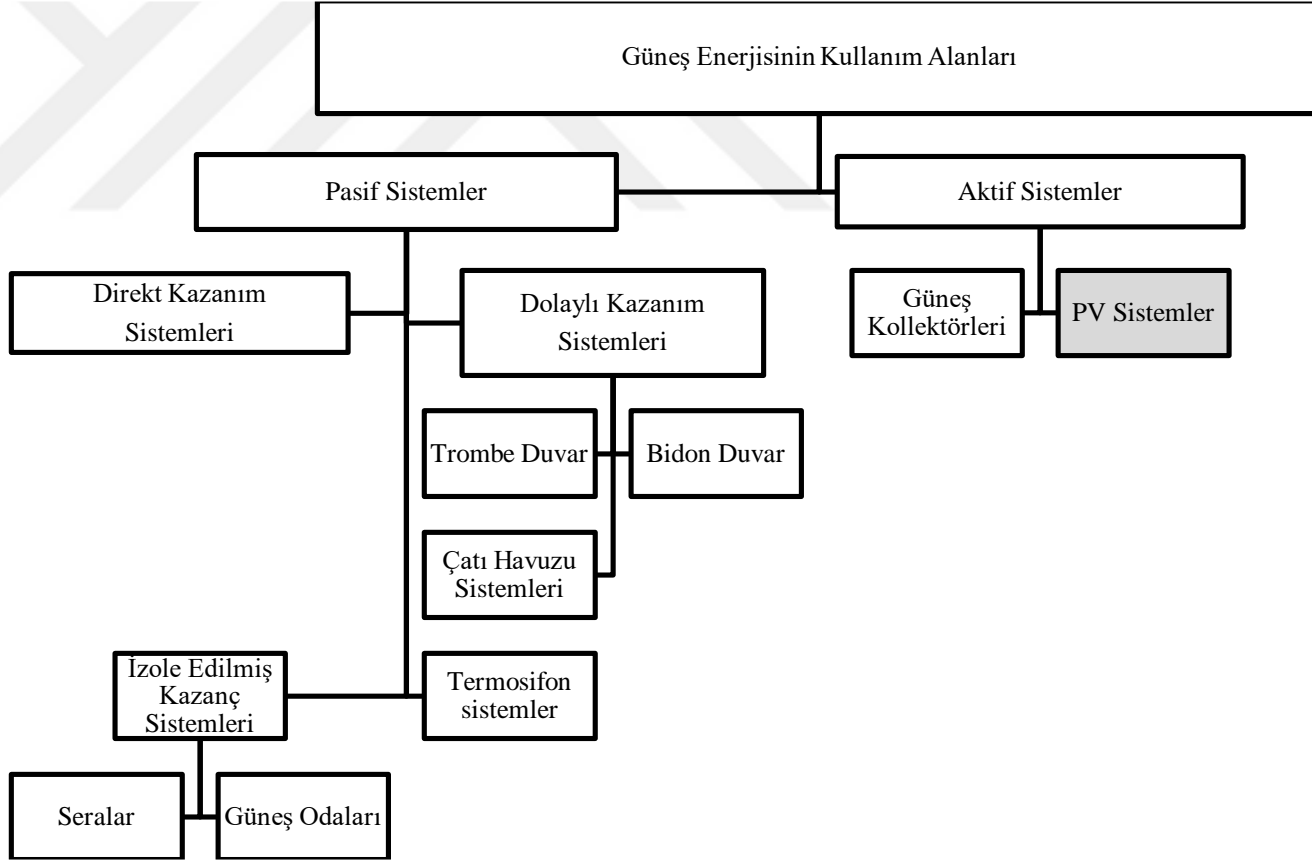
Burada  $I_e$ , yeryüzünde eğik düzleme gelen toplam radyasyonu;  $I_{d,e}$ , yeryüzünde eğik düzleme gelen direkt radyasyonu;  $I_{y,e}$ , yeryüzünde eğik düzleme gelen difüz (yayı) radyasyonu,  $I_{yan,e}$ , yeryüzündeki cisimlerden ve bulutlardan yeryüzündeki eğik düzleme yansıyan radyasyonu ve  $k_{d,e}$  ise eğik düzleme gelen direkt radyasyonun yatay düzleme gelen direk radyasyona oranını ifade etmektedir.

### **1.5. Güneş Enerjisi Kullanım Alanları**

Güneşten enerjisini ihtiyaç doğrultusunda doğru ve yararlı kullanmak için üç farklı sistemden yararlanılır. Bu sistemler; pasif, aktif ve pasif ve aktif sistemlerin bir arada kullanıldığı karma sistemlerdir. Gündelik yaşantımızın birçoğunu binalarda geçirdiğimiz için ve buralarda tüketilen enerji miktarının fazla olmasından dolayı, Şekil 1.6'da aktif ve pasif sistemlerin kullanıldığı yerlere dair sınıflandırma görülmektedir.

Pasif sistemler, herhangi bir araç veya gereç kullanılmasına gerek kalmadan, ekstra bir enerji tüketiminin olmadığı, güneşten gelen enerjinin toplanıp depolandıktan sonra kontrollü olarak dağıtılması amacıyla kullanılan sistemlerdir [10]. Pasif sistemler dört başlık altında incelenmekte olup bunlar; güneş ışınımını doğrudan kullanan sistemler, dolaylı kullanan sistemler, izole edilmiş kazanç sistemleri ve termosifon etkili sistemlerdir.

Aktif güneş sistemleri ise; güneşten gelen enerjinin etkin bir şekilde kullanılmasına imkân sağlayan, mekanik ve teknik donanımlarla desteklenmiş sistemler olarak tarif edilmektedir. Birçok farklı çeşidi bulunan bu sistemler iki ana başlık altında incelenebilir. Bunlardan ilki; binaların termal konforunu sağlamak ve sıcak su ihtiyacını karşılamak için güneş enerjisinden kazanılan ısıyı toplayan güneş kolektörleri, bir diğeri ise gündelik yaşantımızda ihtiyaç duyduğumuz elektrik enerjisini üretmek için, güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren Fotovoltaik (PV) sistemlerdir.



Şekil 1.6 Binalarda kullanılan güneş enerjisi sistemleri [9]

## 2. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

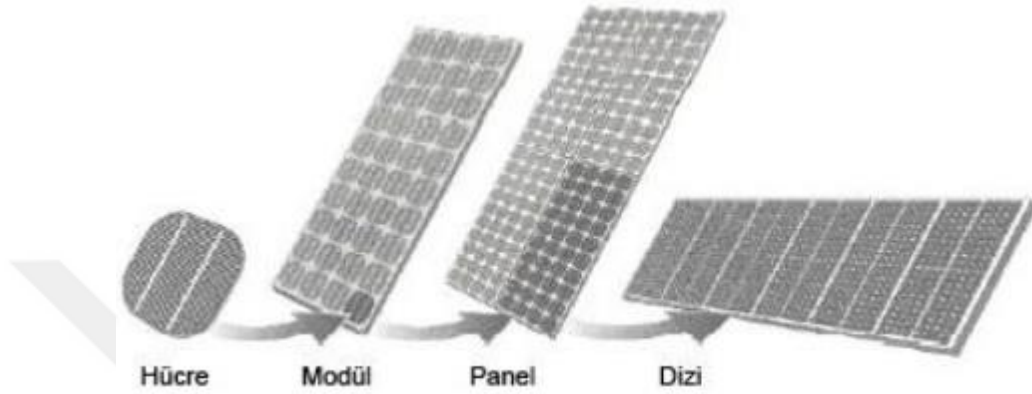
Güneş hücrelerinin bir araya gelmesiyle paneller oluşur ve sistemde kullanılan yardımcı elemanların bu panellerle birleştirilmesi ile de güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren fotovoltaik sistemler meydana gelir. Uygulamalarda kullanılan fotovoltaik sistemler, temiz ve tükenmeyen enerji kaynağı olan güneşten faydalanılarak enerji ihtiyacımızın bir bölümünü karşılamaktadır. Dolayısıyla birçok alanda, enerji verimliliği için bu sistemlerin kullanılması büyük önem taşımaktadır. Bu bölümde fotovoltaik güneş hücreleri, güneş hücre türleri ve fotovoltaik sistem çeşitleri konularında bilgi verilecektir.

### 2.1. Fotovoltaik Güneş Hücreleri

Fotovoltaik güneş hücreleri; güneş ışığının taşıdığı enerjiyi paneller aracılığı ile iç fotoelektrik reaksiyondan yararlanarak direkt elektrik enerjisine çeviren ve bu enerjinin kullanımına imkân sağlayan bileşenlerdir. Bu bileşenlerin tümüne de Fotovoltaik Sistemler (PV) denir. Fotovoltaik hücreler ilk olarak 1839 yılında Becquerel tarafından araştırılmıştır. Fotovoltaik sözcüğü “photos” ve “voltaic” sözcüklerinin birleşmesinden meydana gelmektedir. Fotovoltaik sistemler uygun kurulum ve şartlarda megavatlarca elektrik üretebilir. Bu üretim hava kirliliğine neden olmaz iken, işletme ücreti de gerektirmemektedir. Fotovoltaik sistemler, doğru akım (DC) üretmektedirler. Direkt üretilen doğru akım, inverterler yardımı ile sabit veya değişken frekanslarla alternatif akıma (AC) dönüştürülerek, bu akımla çalışan cihazlarda kullanılmasının yanında, dönüşüm yapmadan DC ile çalışan cihazları da çalıştırabilmektedir.

Güneş hücresi güneş ışığını direkt elektriğe dönüştüren, genellikle 100 cm<sup>2</sup> alana sahip, 0,2-0,4 mm arasında kalınlıkta, kare, dikdörtgen, piramit veya daire şeklinde olan bir elektronik sistemdir. Güneş hücreleri, güneş ışınını etkin bir şekilde elektrik enerjisine dönüştürebilmek için, kusursuz bir yapıya ve kaliteli yarı geçirgen katmanlara sahip olmalıdır. Elektrik enerjisinin ihtiyaç olduğu her alanda güneş hücreleri kullanılabilir. Güneş hücreleri fotovoltaik sistemlerin en temel birimidir. Güneş hücrelerinin bir araya gelmesi ile modüller, doğru akımı depolamak için kullanılan akümülatörler, DC-AC dönüşümü yapan inverterler, ve aralarındaki

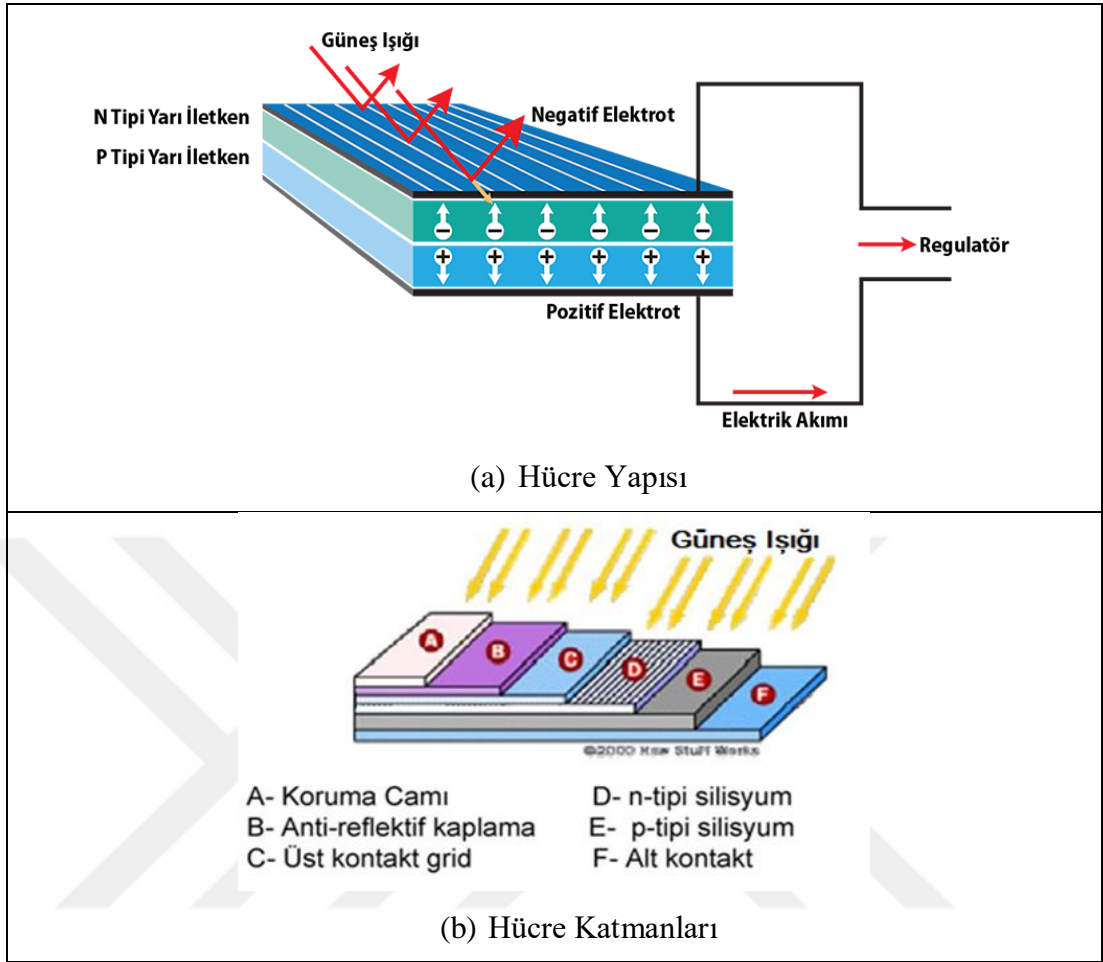
dengeyi sağlayan akü şarj denetim aygıtları ile çeşitli elektronik destek devrelerin yardımcı elemanlar ile bir araya gelmesi ile fotovoltaik sistemler oluşur. Şekil 2.1’de güneş hücre, modül, panel ve dizi görülmektedir.



Şekil 2.1 Fotovoltaik sistemlerde hücre, modül, panel ve dizi [11]

### 2.1.1. Fotovoltaik hücrenin yapısı

Fotovoltaik hücreler 0,2-0,4 mm arasında bir kalınlıkta, genellikle kare ve dikdörtgen Şekillerde tasarlanmaktadır. Son derece hassas olan güneş hücrelerini çatlama ve kırılma riskine karşı korumak için bu hücre saydam örtü tabakası ile kaplanmaktadır. Şekil 2.2’de görüldüğü üzere güneş hücre; yansımayı önleyici anti reflektif katman, st kontak, yarı iletken malzemeler ve arka kontakta oluşmaktadır. Bu katmanların özellikleri, fotovoltaik hücrelerin verimini, özelliğini ve gücünü belirlemektir.



**Şekil 2.2** Fotovoltaik güneş hücresi yapısı [14]

### **Saydam örtü tabakası (Koruma Camı)**

Bu katman; güneş ışınımını geçirerek hassas olan hücreyi ve yarı iletkenlik gösteren malzemeyi, dış ortam koşullarından koruyan, hücrenin verimini belirlemede önemli rolü olan saydam tabakadır.

### **Secici yüzey (Anti-reflektif Katman)**

Hücre üzerine gelen fotonların bir kısmı hücre üzerinde bulunan malzemeden yansımaktadır. Yarı iletken malzeme tarafından yutulan fotonların miktarı, hücrelerin verimini belirlemektedir. Bu nedenle yarı iletken malzemelerin üzerinden gerçekleşen yansımaların azaltılması için yüzey kimyasal bir karışım ile aşındırılır. Aşındırılmış yüzeyin yansımalarının tekrar kendi üzerine yansıtılmasının yanında, aşındırılmış yüzeyin yansıtıcılığı azaltan ince bir kaplama da tekrar bu yüzey üzerine yapılır.



### **Elektrik iletkenleri (Alt Kontak ve Üst Kontak)**

Fotovoltaik hücrelerde üretilen enerjinin dışarıya alınması sırasında, hücre üzerinde bulunan ön ve arka iletkenler köprü görevi görmektedir. Bu olay hücrenin niteliğini belirleyen önemli bir etken olarak karşımıza çıkar. Hücre yüzeyinin üst kısmında bulunan üst kontak; fotonların yarı iletken malzemeye erişimini ve iletimini sağlayan, direnci artırmayacak kadar kalın ve fotonların yarı iletken malzemeye gelmesini engellemeyecek kadar ince metal ızgaralardan oluşur. Arka iletken ise hücrenin tabanında levha biçimindedir.

### **Yarı iletkenler (p tipi silisyum ve n tipi silisyum)**

Güneş hücreleri, başta silikon olmak üzere birçok yarı iletken malzemeden üretilmektedirler. Fotovoltaik hücre tasarımında ve yarı iletken malzemelerin seçiminde, malzemenin atomik yapısı, enerji dönüşüm verimi, yutuculuk oranı, dalga boyu aralığı, kullanım kalınlığı ve maliyeti önemli etkenlerdir. Tablo 2.1’de günümüzde kullanılan ve gelecekte kullanılması öngörülen yarı iletken malzemeler verilmiştir. Günümüzde fotovoltaik hücre üretiminde en çok kullanılan malzeme kristalize silisyumdur.

**Tablo 2.1** PV hücre yarı iletken malzemeleri [15]

<b>Birinci nesil yarı iletkenler</b>	<b>İkinci nesil yarı iletkenler</b>
Monokristal silisyum (m-Si)	Bakır İndiyum Diselenid (CIS)
Polikristal silisyum (p-Si)	Kadmiyum Tellürid (CdTe)
	Amorf Silisyum (a Si)
	Gallium Arsenide (GaAs)

#### **2.1.2. Fotovoltaik hücre üretimi**

Dünya üzerinde oksijenden sonra bulunan en yaygın element olan silisyum, fotovoltaik hücrelerin ana malzemesidir. Silisyum doğada en çok kum içerisinde diğer elementler ile bileşik halinde bulunmaktadır. Fakat fotovoltaik hücrenin üretimi için silisyumun saf halde olmasına ihtiyaç duyulur. Bu nedenle, birleşik haldeki silisyumu saf hale getirmek için çok zorlu ve pahalı yöntemler olan bir dizin işlemlerin uygulanması gerekmektedir. Bunlardan ilki, birleşik halde olan silisyum yüksek sıcaklıklarda eritildikten sonra soğumaya bırakılması ile silisyum içerisindeki yabancı maddelerin ayrıştırılması sağlanır.

Soğutulan silisyum, külçelere bölündükten sonra özel bir kesme makinesi ile 0,2 mm kalınlığında silisyum dilimlerine bölünmektedirler. Gerekli gücü elde etmek ve doğal

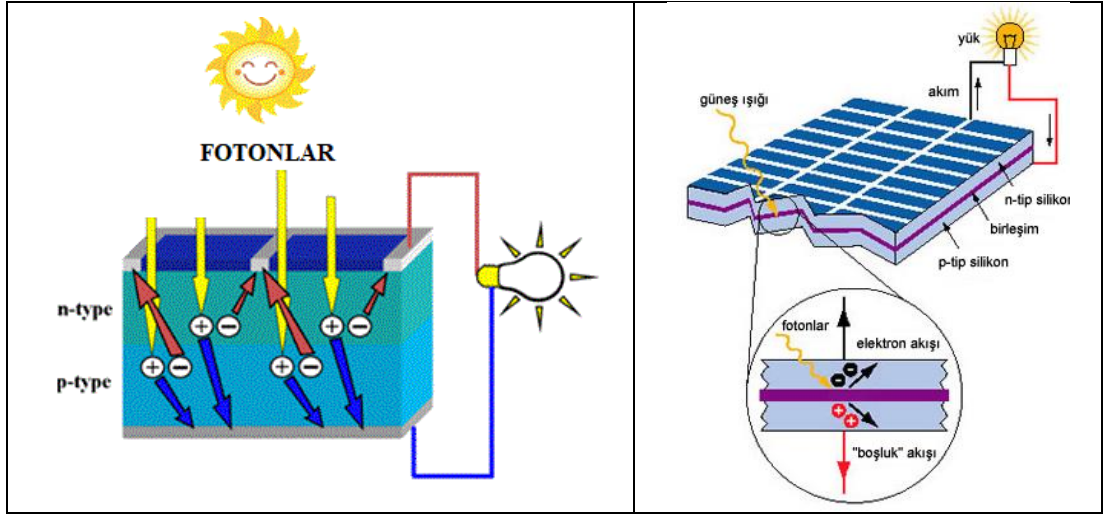
etkenlerden korumak için silisyum metal bir iskelet ile çevrilerek cam bir levha ile koruma altına alınır. Şekil 2.3’de fotovoltaik hücrenin üretim aşamaları görülmektedir.



Şekil 2.3 Fotovoltaik modül üretim aşamaları [2]

### 2.1.3. Fotovoltaik hücrenin çalışma prensibi

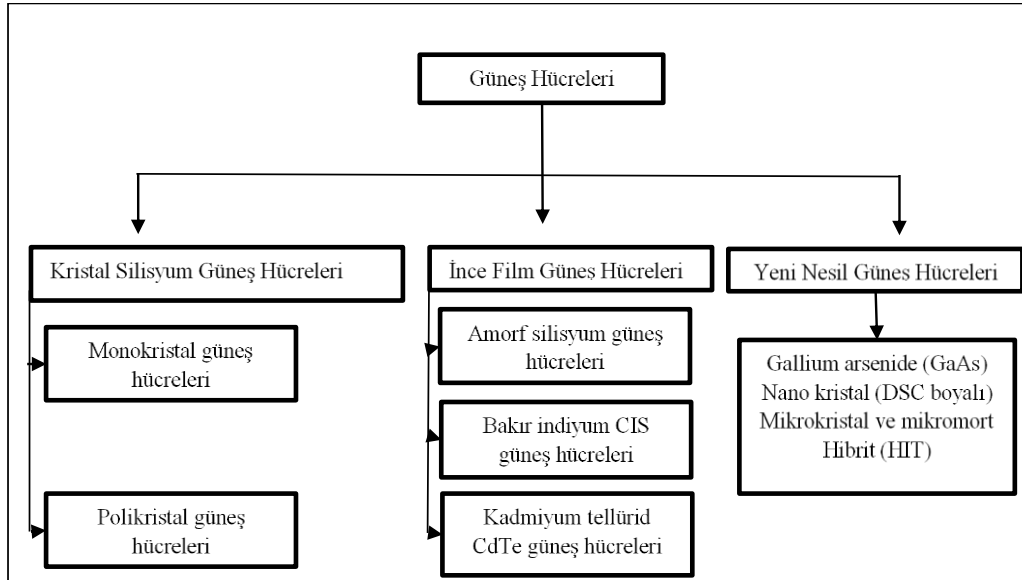
Güneş hücresinin çalışma prensibi; hücre üzerine düşen fotonların yutulması ve bu fotonların yarı iletken malzemelerin atomik yapısının son yörüngesinde bulunan elektronları kopararak serbest hale getirmesi ve serbest kalan bu valans elektronlarının anot ve katot uçlar arasında gerilim oluşturması esasına dayanır. Şekil 2.4’de fotovoltaik hücrenin çalışma prensibinde görüldüğü üzere; fotonlar güneş hücreleri üzerine düştüğü zaman, yansımakta veya yutulmaktadır. Fotonlar halinde gelen güneş ışınları, güneş hücresine temas ederek yarı iletken malzeme tarafından yutulurken, serbest kalan elektronlar ise diğer katmana geçer. Elektronların bu geçişi sonucunda elektrik akımı meydana gelir. Her bir hücre, pillerde olduğu gibi, uçlarında elektrik akımını yaratmak için artı ve eksi katmanlardan meydana gelmektedir. En az iki zıt kutuplu katmanlar, silisyum, kadmiyum tellür, galyum arsenit gibi elektrik enerjisini ileten maddelerden oluşmaktadır. Aslında fotovoltaik hücreler, yarı iletkenlerdeki iç fotoelektrik reaksiyonu kullanan elektrik üreteçleri diye de adlandırılırlar.



Şekil 2.4 Fotovoltaik hücrenin çalışma prensibi [13]

## 2.2. Güneş Hücresi Türleri

Güneş hücreleri; üzerinde laboratuvar çalışmaları devam eden yeni nesil güneş hücreleri, birinci nesil güneş hücreleri ve ikinci nesil güneş hücreleri olmak üzere üçe ayrılır. Yeni nesil güneş hücrelerinin verimleri yüksek olmakla beraber maliyetinin de yüksek olması nedeniyle çok fazla tercih edilmemektedir. Güneş hücrelerinin türleri Şekil 2.5’de görülmektedir.

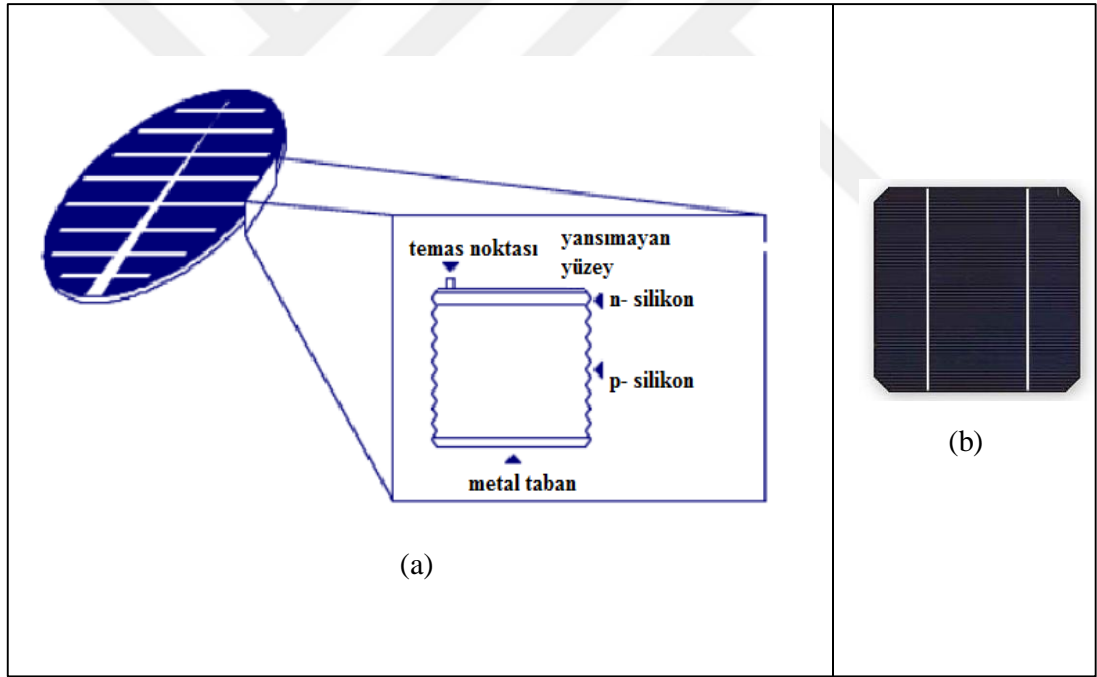


Şekil 2.5 Güneş hücreleri çeşitleri [16].

### 2.2.1. Birinci nesil (kristal silisyum) güneş hücreleri

Yeryüzünde en çok bulunan elementlerden biri olan silisyum, fotovoltaik güneş hücrelerinde kullanılan en yaygın malzemedir. Son zamanlarda yapılan birçok çalışmalar ile geliştirilen ve en güvenilir teknoloji olan kristal silisyum güneş hücreleri, elektronik endüstrisi için geliştirilen ve bilgi birikimini kullanan olgun bir teknolojidir. Kristal silisyum güneş hücreleri Şekil 2.6 ve Şekil 2.7’de görüldüğü üzere, monokristal ve polikristal silisyum güneş hücreleri olarak iki şekilde incelenebilir.

Teoride % 30 etkiye sahip olan monokristal silisyum hücrelerinin gerçek etkileri teorik etkinliğin altındadır ve % 15 civarındadır. Kullanım sıklığına bakıldığında, polikristal güneş hücrelerinin etkinliği monokristal güneş hücrelerinden daha azdır. Ancak ucuzluk ve üretim kolaylığı nedeniyle polikristal güneş hücreleri daha çok tercih edilmektedir.



Şekil 2.6 Monokristal silisyum güneş hücresi yapısı (a) ve görünüşü (b) [17].



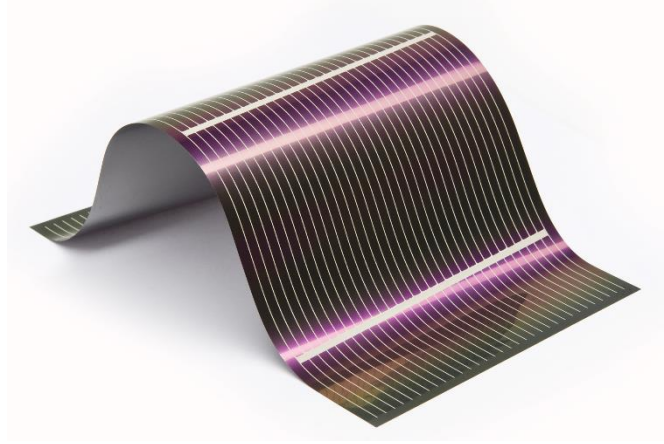
**Şekil 2.7** Polikristal silisyum güneş hücreleri ve renkleri [18].

### **2.2.2. İkinci nesil(ince film) güneş hücreleri**

İkinci nesil güneş hücreleri; güneş hücrelerinde maliyetlerin düşürülmesi için yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları sonucunda, kullanılan malzeme ve işçilik azaltılarak, basit teknolojiler kullanmak suretiyle, yarı iletken malzemenin geniş yüzeyler üzerine ince film şeklinde kaplaması ile ortaya çıkmıştır. Bir milimetrenin on binde birinden ve milyonlarca damarlardan oluşan ince film güneş panelleri esnek bir yapıya sahiptirler.

İnce film güneş hücreleri, yüksek sıcaklık ve az ışık koşullarında diğer hücrelere göre daha iyi performans gösterirken; kristal silisyum teknolojisiyle de mukayese edildiğinde, daha az miktarda hammadde ve enerji ile üretimi gerçekleştirilmektedir.

Böylelikle bu güneş hücrelerinin verimlerinin düşük olmasına rağmen, enerji performansları bazı koşullarda dikkate değer görülmüştür. İkinci nesil güneş hücreleri, bakır indiyum-diselenid (CIS), bakır iridyum, kadmiyum tellür (CdTe) ve amorf silisyum (a-Si) güneş pilleri olmak üzere üçe ayrılmaktadırlar. Şekil 2.8’de ince film güneş hücresine ait bir örnek görülmektedir.

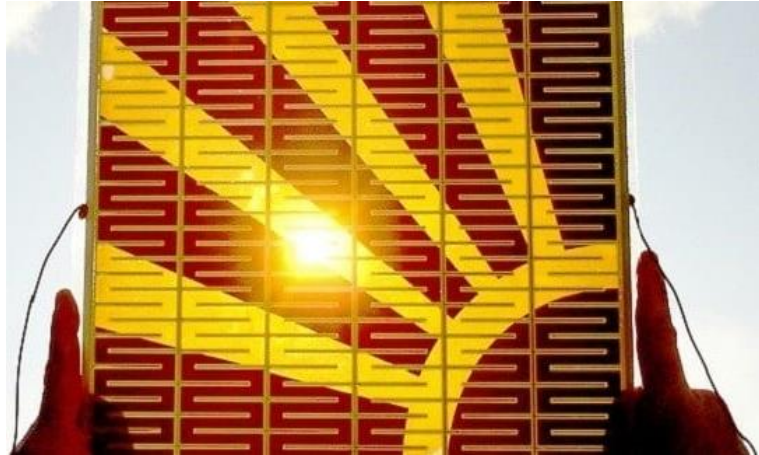


Şekil 2.8 İnce film güneş hücresi [19]

### 2.2.3. Yeni nesil güneş hücreleri

Üçüncü nesil güneş hücreleri olarak da adlandırılan yeni nesil güneş hücreleri; birden çok aktif katmana sahip olan, her katmanı farklı dalga boylarına duyarlı olacak şekilde tasarlanan, böylelikle ışık spektrumunun daha geniş kısmından yararlanılan bir yapıya sahip güneş hücreleri olarak karşımıza çıkar. Günümüzde diğer güneş hücrelerine kıyasla daha düşük maliyetli ve daha yüksek verimli güneş hücresi üretmek için, nanoteknolojik ileri metotlar kullanan birçok araştırma ve geliştirme çalışmaları mevcuttur.

Geliştirilmekte olan bu hücreler ARGE aşamasında olup, istenilen kalitenin yakalanması için birçok laboratuvar çalışması yapılmaktadır. Yeni nesil güneş hücresine örnek oluşturması için Şekil 2.9’da boyalı nanokristal güneş hücresi örneği görülmektedir.



Şekil 2.9 Nanokristal güneş hücresi (DSC Boyalı Hücreler) [20]

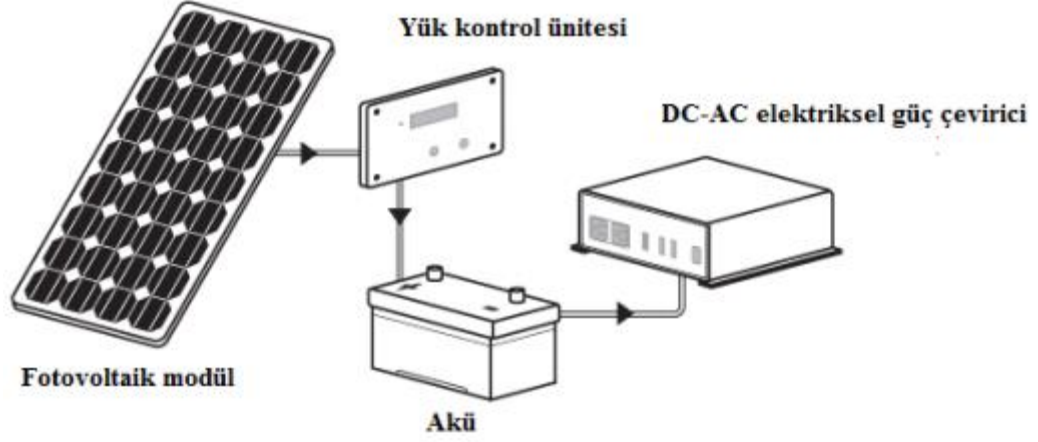
### **2.3. Fotovoltaik Sistem Çeşitleri**

Yeterli sayıda güneş hücresinin bir araya gelmesi ile elektrik enerjisi kaynağı oluşur. Fotovoltaik güneş hücresi sistemleri, istenilen gerilim ve akımı sağlayacak şekilde, panellerin ve tamamlayıcı malzemelerin bir araya getirilmesi ile meydana gelir. Güneş enerjisinin iklimsel veya diğer nedenlerden dolayı yetersiz olduğu durumlarda ya da üretimin olmadığı gece vaktinde kullanılmak üzere genellikle sistemde akümülatör bulunur. Modüller gün boyunca ürettiği elektrik enerjisini akümülatörde depolarken, yüke ihtiyaç duyulduğunda enerji akümülatörden alınmaktadır. Ülkemizde şebeke uyumlu alternatif akım elektriğinin kullanılması için sisteme bir invertör eklenir. İntertör, akümülatördeki DC gerilimi, 220 V, 50 Hz lik sinüs dalgası ile alternatif akıma dönüştürmektedir. Bazı fotovoltaik sistemlerde ise güneş hücrelerinin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlamak için, sisteme güç noktası izleyici cihazlar monte edilmiştir. Ekonomik koşullar, çevresel etki ve yapı işlevine göre üçe ayrılan bu sistemler; şebeke bağımsız, şebeke bağımlı ve hibrit (karma) sistemler olarak sınıflandırılırlar.

#### **2.3.1. Şebeke bağımsız fotovoltaik sistemler**

Fotovoltaik dizileri elektrik dağıtım şebekesinden bağımsız olarak çalışan, enerjiyi akü gruplarında depolayan ve inverterler vasıtasıyla enerjiyi şebeke gerilimine dönüştüren sistemlerdir. Bu tür sistemlerde, güneş ışığından yeterince yararlanılamaması durumunda, enerji ihtiyacının tamamını karşılayacak bir depolama sistemine ihtiyaç duyulur.

Bu sistemlerin, ulusal enerji dağıtım şebekesinin bulunmadığı kırsal kesimlerde veya enerji tüketiminin fazla olduğu alanlarda, oluşacak maliyeti düşürmek amacıyla kurulması uygundur. Şekil 2.10'da şebeke bağımsız sistemlerin fotovoltaik bağlantı yapısı aşağıda verilmiştir.



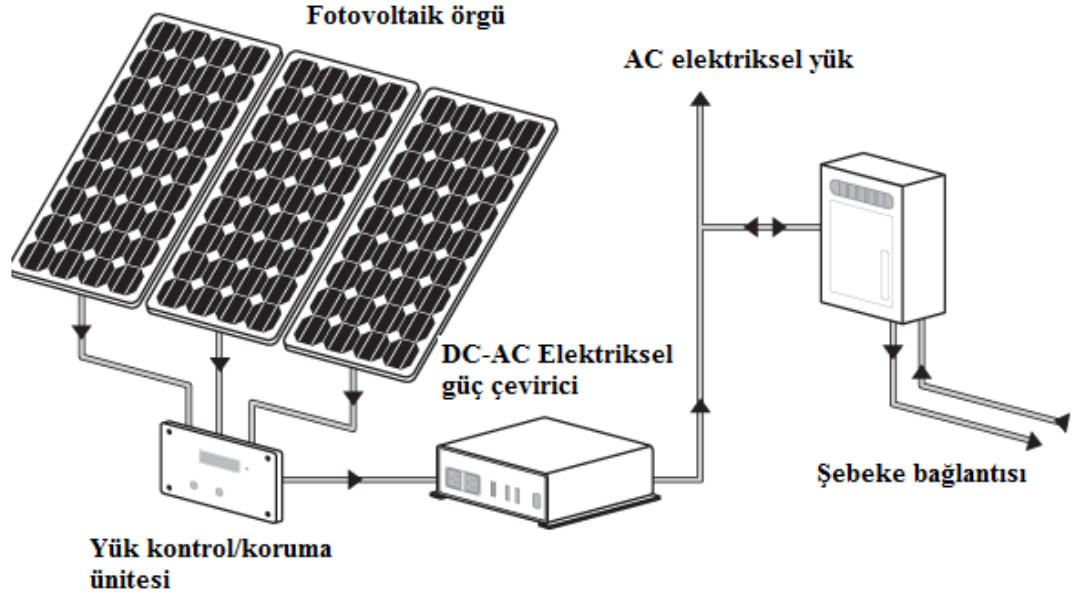
**Şekil 2.10** Şebeke bağımsız fotovoltaik sistemlerin basit kurulum şeması [21]

### 2.3.2. Şebeke bağımlı fotovoltaik sistemler

Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerin direkt ana şebekeye bağlanması ile ihtiyaç duyulan elektrik enerjisi, hem fotovoltaik sistemin hem de dağıtım şebekesinin bir arada kullanılması ile karşılanır. Bu tür sistemlerde çift yönlü sayaç yardımıyla, üretimin olmadığı zamanlarda ihtiyaç duyulan enerji şebekeden karşılanırken, ihtiyaç fazlası olan enerji de şebekeye aktarılır. Dolayısıyla bu sistemlerde depolama birimi bulunmamaktadır.

Şebeke ile sistem arasındaki güç dengesinin kurulmasında sistemde kullanılan inverterlerin özellikleri ve sayıları, oluşabilecek kablolama kayıpları, bağlantı şekli vb. gibi hususlar sistemin performansını belirlediği için; sistem tasarımı yapılırken uygun cihaz ve yardımcı elemanların seçimi büyük önem taşımaktadır. Şebekeye bağlı basit sistemin kurulum yapısı Şekil 2.11’de görülmektedir.



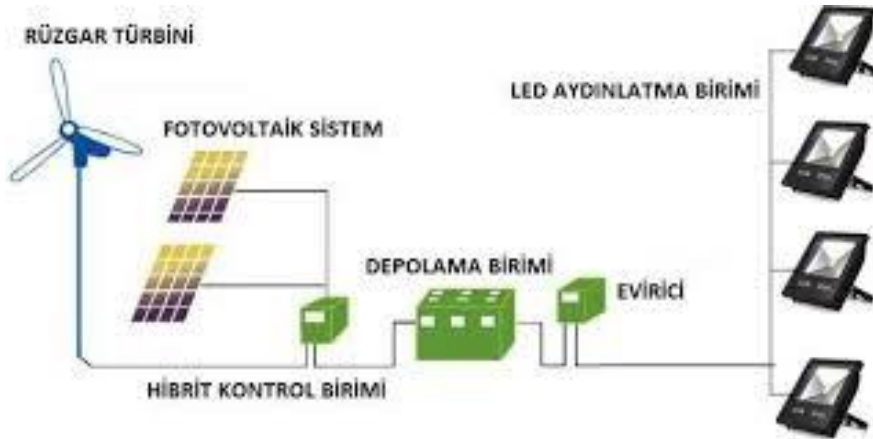


Şekil 2.11 Şebekeye bağlı PV sistemlerin basit şeması [21]

### 2.3.3. Hibrit (Karma) fotovoltaik sistemler

Fotovoltaik sistem ile birlikte bir yâda daha fazla üretim sisteminin aynı anda kullanıldığı, elektrik üreteçlerinin ve depolama aygıtlarının beraber çalıştığı bileşik sistemlere karma sistemler adı verilir.

Bu tür sistemler, kırsal yerleşim alanlarının bulunduğu, enerji şebekesinden uzak ve kesintisiz elektrik enerjisine ihtiyaç duyulan yerlerde, depolama ve jeneratör gibi yardımcı elemanlar ile birlikte kullanılırlar. Şekil 2.12’de karma PV sistem şeması verilmiştir.

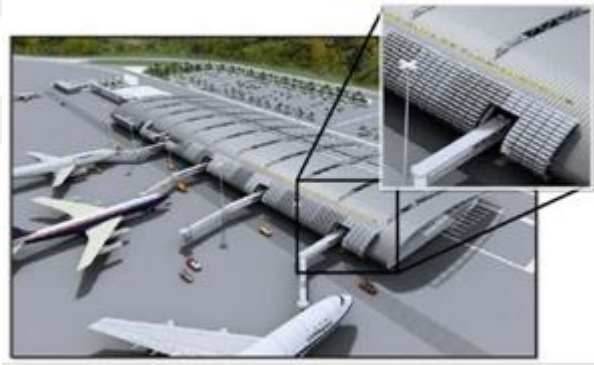


Şekil 2.12 Karma PV sistem şeması [22].

## 2.4. Fotovoltaik Sistemlerinin Elektrik Üretiminde Kullanımı

Fosil yakıtlara bağımlılığı azaltmak ve temiz çevre duyarlılığını arttırmak için fotovoltaik sistemlerin kullanımı, günümüzde gitgide büyük önem kazanmaktadır. Temiz bir çevre ve sürekli enerji arzı göz önünde bulundurulduğunda; mimarların yenilenebilir enerji kaynaklarını tasarımlarında kullanmaları, mesleki bir zorunluluk olarak ortaya çıkmaktadır.

Binalarda kullanılan fotovoltaik sistemler, pahalı olmasının yanı sıra, çevreye, şebekeye, binaya ve kullanıcılarına birçok fayda sunmaktadır. Bu tür sistemler, sadece binaların ışıklandırma, ısıtma ve soğutma yükleri için ihtiyaç duyulan elektrik enerjisini üretmeyip, bunun yanında ısıl ve aydınlatma konforunu da artırmaktadır. Örneğin Şekil 2.13’de görüldüğü üzere yarı saydam fotovoltaik modüllerin kullanılması ile hem gölgelenme hem de doğal aydınlatma sağlanmaktadır. Böylelikle binaların enerji yükleri de hafifletilmektedir.



Şekil 2.13 Brezilya’daki Florianopolis Uluslararası Havalimanı [23]

### 2.4.1. Elektrik üretiminde kullanılan fotovoltaik sistemlerin tasarımı

Fotovoltaik sistemlerin yapım ve kurulum aşamaları incelendiğinde; hem estetik açıdan daha iyi bir mimari tasarım yaratmak, hem de fotovoltaik sistemlerden maksimum enerji elde etmek için yeni projeler ve yenileme projeleri ile her türlü binalara bu sistemler entegre edilirler.

Fotovoltaik sistemlerin verimi sistemde oluşan kayıplarla orantılıdır. Bu sistemlerde enerji üretimini artırabilmek için uygulamanın bulunduğu coğrafi konuma ve çevreden oluşabilecek gölgelenme gibi etkenlere dikkat edilmelidir. Maksimum üretim ve verimi elde etmek için, güneş hücrelerinin baktığı yöne ve yüzey eğim açısına dikkat edilerek, oluşabilecek gölgeleme etkileri de ortadan kaldırılabilir.

### **Coğrafi konum**

Fotovoltaik sistemlerin güneşlenme süresi sistemin yer aldığı enlem ve iklime bağlı olduğundan, sistemin bulunduğu yerin meteorolojik verilerinin detaylı olarak incelenmesi gerekmektedir. Böylelikle, bu değerlere göre tasarım hesaplamaları yapılarak, yaklaşık gerçek değerlere ulaşılması mümkün olabilmektedir.

Fotovoltaik panellerde verimin artırılabilmesi için yüksek sıcaklık sonucunda panellerde oluşan ısının dağıtılması gerekmektedir. Bunun için doğal rüzgâr sirkülasyonunun sağlanması gereklidir. Diğer taraftan soğuk iklim bölgelerinde panel yüzeyinde bulunan kar nedeniyle güneş ışınları hücrelere ulaşamamaktadır. Böylelikle sistem veriminde düşüşler görülmektedir. Dolayısıyla bu tür olayların önüne geçmek için panellerin bakımları ve temizliği düzenli aralıklar ile yapılmalıdır.

### **Bina konumu**

Bina konumunun tasarlanan fotovoltaik sistem üzerinde büyük etkisi vardır. Binaların ışınım kazançlarını etkileyecek şekilde konumlandırılarak gölgelenme etkisi yaratmamasına dikkat edilmelidir. Bunun için sistemin, ışınım miktarını düşürmeyecek şekilde tasarlanması ve konumlandırılması gerekmektedir.

### **Yön ve yüzey eğim açısı**

Fotovoltaik sistemlerin yönü, tüm etkenlere rağmen maksimum güneş ışığını alan yöndür. Sistemin tasarlanmasında meteorolojik iklim şartları da göz önüne alınmalıdır. Örneğin kar yağışının olduğu bir yerde panellerin üzerine gelen kar kütlelerinin kaymasını kolaylaştırmak için fotovoltaik panellerin dik yerleştirilmesi önemlidir.

### **Gölgeleme**

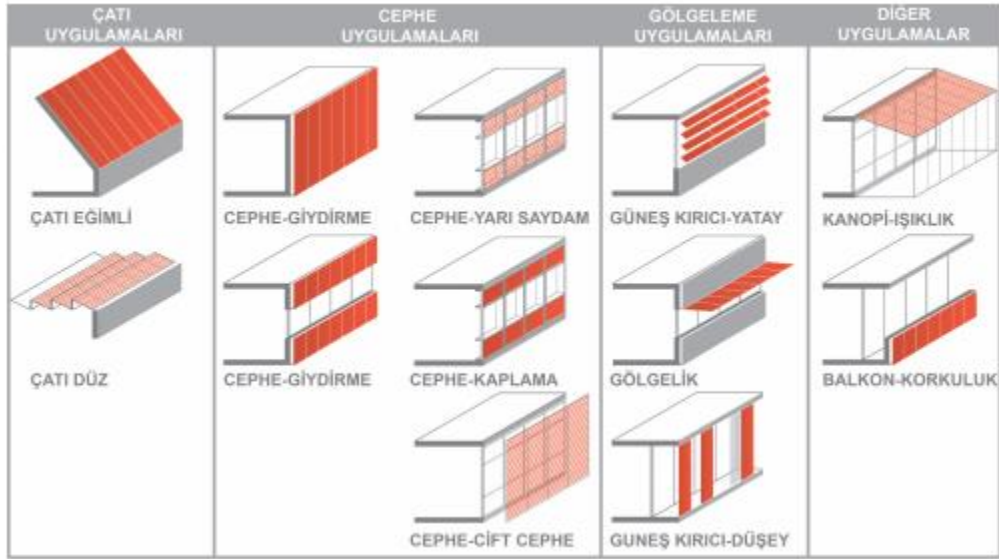
Gölgeleme, sistem dışındaki diğer etmenlerin veya sistem elemanlarının diğer formlarıyla, sistemin kendisini gölgelemesiyle oluşur. Bina yoğunluğunun fazla olduğu ve aralarında bulunan mesafenin az olduğu yerlerde, yılın belli dönemlerinde gölgelemeler meydana gelmektedir. Bu gölgelemeler, bina yüzeylerine nazaran çatılarda daha azdır. Bu nedenle tasarım esnasında gölgelenmeye neden olacak her türlü etkenlerden kaçınılması gerekmektedir.

## **Sıcaklık**

Fotovoltaik sistemlerin verimleri sıcaklık arttıkça düşmektedir. Bu durumun önlenmesi için tasarım aşamasında paneller, arka tarafından hava sirkülasyonu olacak şekilde konumlandırılmalıdır. Fotovoltaik modüllerin bina yüzeylerinde bulunan karkas yapı üzerine monte edilmesinin zorunlu olduğu hallerde; modüllerin arka tarafında oluşabilecek ısının, havanın doğal sirkülasyonu yoluyla o bölgeden uzaklaştırılması ve böylece ısının iç mekânlara geçişinin önlenmesi şeklinde sistem tasarımı yapılmalıdır. Böylelikle binanın soğutma yükü azaltılmış ve binalarda ısıl konfor sağlanmış olur.

### **2.4.2. Fotovoltaik sistemlerin kullanım şekilleri**

Fotovoltaik sistemlerin kullanımı; çatılarda, cephelerde, farklı bina bölümlerinde, park ve bahçe aydınlatmalarında ve trafik alanlarında olmak üzere beş ana başlık altında incelenmiştir. Şekil 2.14’de binalarda kullanılmasına ait bazı örnekler verilmiştir.



Şekil 2.14 PV sistemlerin binalarda kullanımı [24]

#### **2.4.2.1. Fotovoltaik sistemlerin çatılarda kullanımı**

Binaların üst kısmını kaplayan çatılar, fotovoltaik modüllerin yerleştirilmesi için diğer bölümlere göre en uygun yerlerden biridir. Çatılarda uygun eğim açısının yakalanması ve oluşturulması için kullanılan yardımcı elemanların, modüllerin bina cephelerinde yerleştirilmesinde kullanılan yardımcı elemanlara kıyasla daha ucuz olması, önemli

bir avantaj teşkil etmektedir. Fotovoltaik çatı sistemlerinin uygulanabileceği çatı türleri Tablo 2.2’de verilmiştir.

**Tablo 2.2** PV’lerin çatılarda kullanım örnekleri

<b>Fotovoltaiklerin pozisyonu</b>	<b>Örnek</b>	<b>Sistem</b>
Düz Çatı		PV panel
Eğimli çatı		PV çatı panelleri
Eğimli çatı		PV kiremit
Şet Çatı		PV paneller
Eğrisel Çatı		Opak PV
Atırum		PV çatı panelleri

### **Fotovoltaik sistemlerin düz çatıda kullanımı**

Düz çatı uygulamalarında, fotovoltaik modül eğim ayarı, istenilen eğim açısında ( $10^{\circ}$ - $60^{\circ}$  arasında) yapılmalı ve 200 km/h rüzgar hızına dayanabilir şekilde çatı strüktürüne mekanik olarak sabitlenmelidir.

Bu sistemler, istenilen enerji miktarını daha ucuz elde etmek ve estetik görünüm kazandırmak amacıyla kullanılırken, ayrıca çatıya da ekstra yük bindirmektedir. Fotovoltaik çatı uygulamalarına ait örnekler Şekil 2.15’de verilmiştir.



**Şekil 2.15** Fotovoltaik sistemlerin düz çatılarda kullanımına ait bir örnek [25]

### **Fotovoltaik sistemlerin eğimli çatılarda kullanımı**

Eğimli çatı yapılarında, özellikle konut gibi yapılarda fotovoltaik paneller, ek bir yardımcı malzeme kullanılmadan doğrudan çatı üzerine monte edilirler. Bu uygulama, binayı dış etkenlerden korumak amacıyla çatı görevini de üstlenmektedir. Böylelikle uzun vadede ekonomik olmakla beraber, hem fotovoltaik sistem elektrik üretirken, hem de çatı kaplama fonksiyonu görevini yerine getirmektedir.

Fotovoltaik sistemlerin ek bir strüktür ile çatı üzerine monte edilmesi olayı, en ucuz yöntemlerden biri olması nedeniyle de, fotovoltaik sistemlerin kullanım alanını genişletmektedir. Genellikle fotovoltaik güneş hücrelerinin özel çatı parçaları ile birlikte takozların üzerine monte edilmesi yoluyla, mevcut çatı ile panel arasında hava boşluğu oluşturur. Böylelikle ek bir ödeme yapılmadan panellerin soğutulması sağlanmış olur. Şekil 2.16’da fotovoltaik panellerin eğimli çatılarda kullanılmasına ait örnek görülmektedir.



**Şekil 2.16** Fotovoltaik hücrelerin çatılarda ek yardımcı malzeme ile kullanımı

Çatı örtüsü ile birleşik sistemlerin, estetik olması, elektrik üretimi sağlayarak binaların enerji giderlerini azaltması, bu sistemin avantajları olarak sayılırken; dezavantajı ise panellerin arkasının havalandırılmaması ve soğutulamamasıdır. Şekil 2.17’de çatı örtüsü ile birleşik fotovoltaik kullanımına ait örnekler görülmektedir.



**Şekil 2.17** Birleşik PV çatı kullanımı [25]

Çatı üzerinde kullanılan fotovoltaik paneller, kiremit veya şingil olarak da kullanılabilirler. Bu uygulamada sunulan kolaylık; panellerin klasik çatı ile bütünleştirildiğinden dolayı, daha problemsiz olmaları ve kısa zamanda montajların yapılabilir olmasıdır. Şekil 2.18’de çatıda şingil PV kullanımı görülmektedir.



Şekil 2.18 Şingil çatıda fotovoltaik sistemlerin kullanımı [26]

### **Fotovoltaik sistemlerin şet çatılarda kullanımı**

Şet çatıların yapım amacı, bina içerisine yüksek oranda güneş ışığının girmesini sağlamaktır. Fotovoltaik sistemlerin şet çatılarda kullanıma ait örnek Şekil 2.19’da görülmektedir.



Şekil 2.19 Fotovoltaik şet çatı uygulaması [27]

### **Fotovoltaik sistemlerin eğrisel çatıda kullanımı**

Fotovoltaik sistemler; eğrisel çatılar üzerine genellikle alüminyum çerçeveler arasına opak mat veya metal, sac veya yarısaydam sentetik esaslı esnek malzemelere uygulanmış amorf silisyum yâda ince film güneş hücreleri yerleştirilmesi yolu ile oluşturulur. Şekil 2.20’de fotovoltaik bir sistemin eğrisel çatıda kullanımına ait bir örnek görülmektedir.





**Şekil 2.20** Kavisli (eğrisel) çatılarda fotovoltaik sistemin kullanımına ait bir örnek[28]

#### **Fotovoltaik sistemlerin atriumlu binalarda kullanımı**

Atrium çatı aydınlatmasında fotovoltaik sistemlerin kullanılması, mimariyi canlandıran en iyi örneklerden birini teşkil eder. Standard modüllere göre daha pahalı olan bu sistem, çoklu kullanım olarak düşünüldüğünde, bina maliyetlerini düşürmektedir. Şekil 2.21’de PV atrium örneği görülmektedir.



**Şekil 2.21** Atriumda PV kullanımı [29]

#### **2.4.2.2. Fotovoltaik sistemlerin binaların dış cephelerinde kullanımı**

Binaların dış kabuğunu oluşturan cepheler, kullanıcıların isteklerini ve beklentilerini de karşılayacak şekilde, mimarlar tarafından renk çeşitliliğini içerecek biçimde tasarlanırlar. Fotovoltaik sistemlerin cephelerde kullanımı estetik kaygılara neden olsa da, geniş cephe alanlarına sahip binalarda enerji verimliliğini artırır. Bu amaçla

gölgeleme durumu da dikkate alınarak, genellikle dikey olarak konumlandırılmış paneller kullanılır. Fotovoltaik sisteme sahip cepheler, Tablo 2.3’de görüldüğü gibi, perde duvar, giydirme cephe ve gölgeleme elemanı olarak üç farklı şekilde kullanılmaktadırlar.

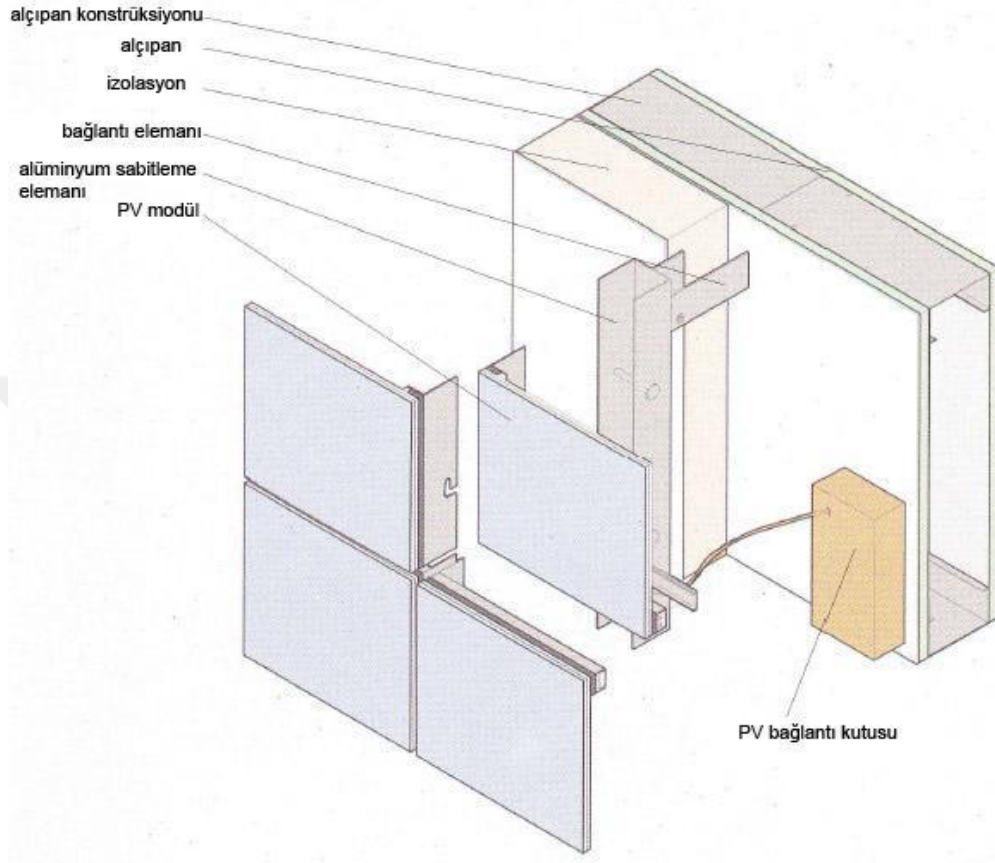
**Tablo 2.3** PV’lerin dış cephelerde kullanımı

<b>Fotovoltaikler pozisyonu</b>	<b>Örnek</b>	<b>Sistem</b>
Perde duvar		PV cephe elemanı
Giydirme cephe		PV cephe elemanı
Gölgelendirme elemanı		Sabit gölgeleme elemanı
		Hareketli gölgeleme elemanı

**Fotovoltaik sistemlerin binaların dış cephelerinde perde duvar olarak kullanımı**

Fotovoltaik sistemler, bina cephelerinin birer parçası olan perde duvar şeklinde kullanılmaktadırlar. Fotovoltaik sistemlerin bu şekilde kullanılması; tüm cepheyi kapladığından genellikle soğuk iklim bölgeleri için daha uygun bir tercihtir. Çünkü bu uygulamada bina içinde termal konforu korumak ve yoğuşmayı engellemek için panel altına yalıtım malzemesi konur. Bu yalıtım malzemesi aynı zamanda bina duvarlarını

hava geçirmez kılar ve bina nefes alamaz. Bu sisteme ait detay Şekil 2.22’de verilmiştir.



**Şekil 2.22** Fotovoltaik sistemlerin perde duvarlarda kullanım detayı [18]

Fotovoltaik perde duvar uygulamasını, yaygın olarak basınç plakaları ve strüktürel silikon çerçeve sistemi olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Bunlardan ilki olan basınç plakalar, cam ünitenin dikey ve yatay bölmelerinin plakalar ile kaplanarak bir araya getirilmesi ile oluşturulur. Bu plakalar birbirleriyle gölge yaratmayacak şekilde, binaların ön kısmına mekanik olarak sabitlenir.

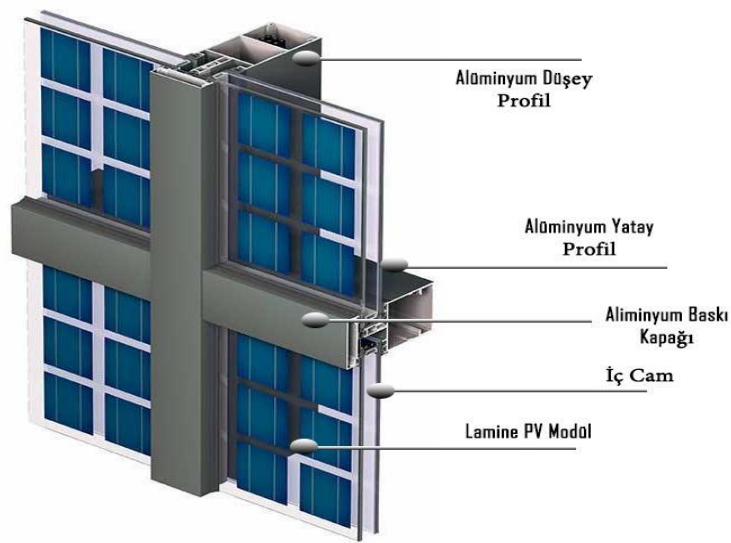
Yapısal silikon camlama sisteminde ise; gölge oluşumu gibi bir durum söz konusu olmadığından camın kenarları çerçeveye yapıştırılır. Ancak bu sistemlerde, hava sızdırmazlık sorunları ortaya çıkmaktadır. PV’lerin perde duvar olarak kullanımı Şekil 2.23’de örnek olarak görülmektedir.



**Şekil 2.23** Fotovoltaik sistemlerin perde duvarlarda kullanımına ait bir örnek [30]

### **Fotovoltaik sistemlerin bina dış cephelerine giydirme duvar şeklinde kullanımı**

Binanın dış kabuğunu oluşturan fotovoltaik sistemler giydirme cephe elamanı olarak kullanılabilirler. İki tür giydirme sistemi bulunmakla beraber; bunlardan ilki olan klasik giydirme cepheler, yatay ve düşey olarak konumlandırılmış taşıyıcılar üzerine monte edilmektedirler. Giydirme cephe sistemlerinde fotovoltaik verimliliği düşürmemek için, bu taşıyıcıların mümkün olduğunca az sayıda kullanılması gerekmektedir. Diğer bir uygulama yöntemi olan yapısal silikonlu giydirme cephe sisteminde camların tamamı veya bir bölümü taşıyıcı raylar üzerine yapıştırılmaktadır. Ancak bu sistemlerde gölgelenme durumu olmaz iken, yalıtım problemi ortaya çıkmaktadır. Fotovoltaik giydirme cephe sisteminin detayı Şekil 2.24’de verilmiştir.



**Şekil 2.24** Kapaklı PV giydirme cephe sistem detayı [18]

### **Fotovoltaik sistemlerin binalarda gölgeleme elemanı olarak kullanımı**

Fotovoltaik sistemler, sabit gölgeleme elemanı ve hareketli gölgeleme elemanı olarak iki farklı şekilde kullanılmaktadır. Bu kullanımın asıl amacı, bina içinde termal konfor koşullarını sağlayarak elektrik üretmektir. Isıtmanın istenmediği dönemlerde güneş ışınlarının iç mekâna girmesi önlenirken, ısıtmanın istendiği dönemlerde ise güneş ışınlarının iç mekâna direkt girmesi sağlanmalıdır. Bu durum, mimarların tasarım esnasında çok dikkatli olmaları gereken bir konudur. Güvenlik açısından gölgeleme elemanlarının montajı; çelik, ahşap, taş gibi farklı bileşenlerin kullanılması ile yapılmalıdır.

**Sabit gölgeleme elemanları:** direkt olarak binaya entegre edilerek hareket ettirilmeyen yada yönü değiştirilmeyen gölgeleme elemanlarının en basit halidir. Şekil 2.25’de yapımı 2008 yılında tamamlanan Muğla Üniversitesi Rektörlük binasında, 60° açıyla gölgeleme elemanı olarak kullanılan sabit güneş pili uygulaması görülmektedir. Bu uygulamada, pencerelerde oluşan gölgeler sayesinde soğutma giderleri azaltılarak enerji üretimi gerçekleştirilmektedir.



**Şekil 2.25** Fotovoltaiklerin sabit gölgeleme elemanı olarak kullanımına ait bir örnek (Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi) [31]

**Hareketli gölgeleme elemanları:** güneş ışığı yoğunluğu ve ihtiyacına göre dikey ya da yatay konumlandırılabilirler. Bu sistemde güneş hücresinde gölgeleme oluşmaması için tek aksla yönlendirilebilen gölgeleme elemanları tercih edilmektedir. Şekil 2.26’da hareketli PV gölgeleme elemanı örneği görülmektedir.



**Şekil 2.26** Fotovoltaik sistemlerin binalarda hareketli gölge elemanı olarak kullanımına ait bir örnek [32]

#### **2.4.2.3. Fotovoltaik sistemlerin binaların farklı bölümlerinde kullanımı**

Binalara estetik katıp aynı zamanda enerji üreterek, binaların enerji giderlerinin azaltılması için, fotovoltaik sistemler aşağıda şekillerde görüldüğü üzere bina bölümlerine entegre edilebilirler. Fotovoltaik sistemler Şekil 2.27’de görüldüğü gibi, balkon olarak da kullanılan verandalarda; Şekil 2.28’de görüldüğü gibi, koruma ve ısı kaybını önlemek için kepenklerde; Şekil 2.29’da görülen bina saçaklarında ve Şekil 2.30’da verilen bina korkuluklarında kullanılmaktadırlar.



**Şekil 2.27** PV’lerin verandalarda kullanımına ait bir örnek [33]



**Şekil 2.28** PV'lerin güneş kepenklerinde kullanımına ait bir örnek [34]



**Şekil 2.29** PV'lerin saçaklarda kullanımına bir örnek [33]



**Şekil 2.30** PV'lerin bina korkuluğunda kullanımına ait bir örnek [35]

#### 2.4.2.4. Fotovoltaik sistemlerin park ve bahçe aydınlatmasında kullanımı

Güneş enerjisi sayesinde, park ve bahçe aydınlatmaları yapılabilmektedir. Park ve bahçe aydınlatmalarında sistem üzerinde bulunan akü ve paneller sayesinde, gündüz depoladığı enerjiyle gece boyunca ışık verebilmektedirler. Sensörler yardımıyla gece olarak otomatik olarak yanarlar, gündüz olduğunda ise sönerler. Şekil 2.31’de kullanım alanına ait bir örnek verilmiştir.



Şekil 2.31 PV’lerin Park ve bahçe aydınlatmalarında kullanılmasına ait bir örnek [36]

#### 2.4.2.5. Fotovoltaik sistemlerin trafik alanlarında kullanımı

Trafik lambaları ve işaret lambaları da güneş enerjisinin kullanım alanları arasında yer almaktadır. Bu sistemler genelde akülü güneş enerjisi sistemleridir. Elektrikler kesildiği zaman akü devreye girer ve bu sinyal lambaları yanar. Sonuçta trafikte karmaşa ortadan kalkar ve trafik düzene girer. PV sistemlerinin trafikte kullanılmasına ait bir örnek Şekil 2.32’de verilmiştir.



Şekil 2.32 Trafik lambalarında PV’lerin kullanımına ait bir örnek



### 3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu tez çalışmasında PVsyst programı kullanılarak şebeke bağlantılı bir fotovoltaik sistemin tasarımı ve performans analizi yapılmıştır. Çalışma için öncelikle güneş enerjisi ve fotovoltaik sistemler üzerine yazılmış tezler, makaleler, araştırma yazıları, bildirimler ve duyurular detaylı olarak araştırılmış ve incelenmiştir. Daha sonra özele indirilerek PVsyst programı ile yapılan sistem tasarımlarını, kurulu sistemlerin program çıktıları ile karşılaştırmalarını ve performans değerlendirmelerini kapsayan literatür taraması titizlikle yapılmış ve bu çalışmalar aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

Lughi, Massi Pavan ve arkadaşları (2008) İtalya'da 1 MWp üzerinde kurulu güce sahip şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerin ekonomik analizini gerçekleştirerek maliyet karşılaştırmaları yapmışlardır. Ayrıca kadmiyum tellürid ince film güneş hücreleri ve yeni nesil nanoyapılı fotovoltaik malzemelerin geliştirilmesi hakkında bilgi vermişlerdir [37].

Bellini ve arkadaşları (2009) fotovoltaik modülün basitleştirilmiş modeli üzerinde çalışma yaparak, fotovoltaik modüller için, yalnızca üretici veri sayfaları tarafından sağlanan ve herhangi bir sayısal yöntem kullanılmasını gerektirmeyen parametreleri kullanarak gelişmiş bir matematiksel model oluşturmuşlardır. Model, voltaj değişimini güneş ışınımının bir fonksiyonu olarak hesaplamaya izin veren uygun bir düzeltme terimi gibi çeşitli iyileştirmeler yapılarak elde edilmektedir. Matematiksel modeli doğrulamak için çeşitli simülasyonlar ve deneysel sonuçlar kullanılmıştır. Sonuçların, önerilen modelin I-V karakteristik ölçümleri için spesifik bir toplama sistemi tarafından ölçülen deneysel verilerle iyi bir uyum gösterdiğini belirtmişlerdir [38].

Campbell ve arkadaşları (2009) Fotovoltaik sistemin LCOE denklemi ile maliyet hesaplaması yaparak hareketli ve sabit güneş panelleri arasında karşılaştırma yapmışlardır. Panel ve santral maliyetlerindeki hızlı düşüşe rağmen, tek eksenli izlemenin şimdi ve gelecekte en iyi sistem ekonomisini sağlayacağını belirtmişlerdir [39].

Doolla ve arkadaşı (2010) Hindistan Hükümeti tarafından açıklanan Ulusal Güneş Misyonu bağlamında farklı enlemlerde bulunan 1 MWp gücünde şebekeye bağlı güneş

fotovoltaik difüzyonu üzerindeki kapasite faktöründeki değişikliklerini analiz etmişlerdir. Hücre verimi, güneş ışınımı ve ortalama çevre sıcaklığı dikkate alınarak kapasite faktörünü belirlemek için matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Ulusal Güneş Misyonu tarafından belirlenen hedefin, şu anda yüksek hücre ve modül üretim artış oranı ile elde edilebilir olduğunu, şebekeye bağlı PV'de maliyetin düşürülmesi gerektiğini belirtmişlerdir [40].

Loredana Cristaldi ve arkadaşları (2012) basitleştirilmiş yeni bir fotovoltaik panel modülü üzerinde çalışma gerçekleştirmişlerdir. Panel modülünü bir diyot, bir direnç ve bir voltaj üreticisi arasındaki seri bağlantıdan oluşan bir elektrik ağı olarak tanımlamışlardır. Önerilen modelin, PV panelinin belirli bir sıcaklık ve radyasyon değeri için ürettiği maksimum gücü tahmin etmek için kullanıldığını belirtmişlerdir [41].

Benth Stridh (2012) tarafından Avrupa lokasyonunda bulunan hem sabit eğim açılı hem de iki eksenli üç farklı 1 MW gücüne sahip fotovoltaik güneş enerjisi santrallerinde kir ve kar temizliğinin ekonomik yararının değerlendirilmesi üzerinde PVsyst programı ile modelleme yapmıştır. Kar örtüsü, daha soğuk iklime sahip ülkelerde geçerli olan özel bir kirlenme durumu olarak görüldüğü ve diğer alanlarda temizlik maliyetinin kaybedilen enerji ile başa baş olduğunu belirtmiştir [42].

Vasilis Fthenakis ve Yuanhao Yu (2013) büyük Güneş Enerjisi Santralinden etrafında oluşan ısı adası etkisi potansiyelinin analizini gerçekleştirmişlerdir. 18 aylık ayrıntılı verinin analizi, çoğu gün, güneş dizisinin geceleri tamamen soğutulduğunu ve dolayısıyla bir ısı adası etkisinin ortaya çıkmasının olası olmadığını belirtmişlerdir. Simülasyon sonuçların ayrıca, güneş alanlarının arasındaki erişim yollarının önemli bir soğutmaya izin verdiğini ve bu nedenle güneş çiftliğinin büyüklüğünün artmasının çevre sıcaklığını etkilemeyebileceğini ve bu hipotezi test etmek için büyük (örneğin 1 milyon m<sup>2</sup>) güneş alanlarının simülasyonuna ihtiyaç duyulduğunu savunmuşlardır [43].

Fezzani ve arkadaşları (2014) Fotovoltaik dizilerde oluşan Gölgeleme Etkilerini MATLAB Tabanlı program ile Modellenmesini yapmışlardır. Bishop tarafından önerilen modele dayanarak kısmen gölgeli çalışan güneş pilleri çalışmasına Matlab

ortamında geliştirilen modeller kullanılarak kısmen gölgelenmiş çalışan güneş pilleri ve PV modülleri için bir simülasyon metodolojisi önermişlerdir. Simülasyon sonucunda, gölgelemenin etkisinin ihmal edilemediğini ve fotovoltaik sistemlerin kurulumunda dikkate alınması gerektiğini belirtmişlerdir [44].

Chu ve arkadaşları (2014) 48 MWe gücünde Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralinden güç çıkışının tahminini gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlarda, kısa vadeli güneş entegrasyonu için akıllı gerçek zamanlı yeniden tahmin etme ve gölgelenmeden dolayı güneş değişkenliğini azaltma potansiyelini gösterdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, inverter kontrolü, düzenleme, hızlı talep kontrolü ve gerçek zamanlı sevkiyat ile ilgili olduğunu belirtmişlerdir [45].

Irwanto ve arkadaşları, (2014) farklı ortam sıcaklıklarının ve farklı ışımaya olaylarının, tasarladıkları Fotovoltaik hücre üzerindeki etkisini, PVSyst programı ile analiz etmişlerdir. PVSyst simülasyonu sonucunda fotovoltaik hücre verimliliğinin, ışımaya ve ortam sıcaklığından etkilendiğini belirterek, fotovoltaik modül hücresinin verimliliğinin arması sonucunda, sistemin geri ödeme süresinin kısılacacağını ve fotovoltaik hücrenin ömrünün uzayacağını belirtmişlerdir [46].

Michael ve arkadaşları (2014) Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santrallerinde, toz kir, ve diğer kirletici etmenlerin fotovoltaik modüller üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Yapılan analiz sonucunda kirlenme kayıplarının, ışınım ve sıcaklığın ardından fotovoltaik santrallerin performansını etkileyen üçüncü en önemli çevresel faktör olduğunu, diğer performans faktörlerini izlemek için aynı dikkatle ölçülmesi gerektiği tezini savunmuşlardır [47].

Claude Ziad ve Nazih (2014) Lübnan'da aynı iklim koşulları ve coğrafi özelliklere sahip olduğu varsayılarak, 100 MW gücünde PV Çiftliği, Güneş Bacası ve CSP Kulesi arasında maliyet ve verimlilik açısından karşılaştırma yapmışlardır. Güneş Bacasının CSP Kulesi ve Fotovoltaik Çiftliği ile karşılaştırıldığında yeterince verimli olmadığı belirterek, CSP Kulesinin sıcak ortamlarda (çöller vb.) ortalama ortam sıcaklığının yüksek (25 oC 'nin üzerinde) olduğu durumlarda kullanılması tavsiye edilirken, Fotovoltaik Çiftliği, ortam sıcaklığının düşük olduğu ülkeler için kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir [48].

Samba ve arkadaşları (2014) Gambiya'da kırsal elektrifikasyonlar için 1 MW gücüne sahip fotovoltaik santrallerinin teknik ve ekonomik değerlendirilmesini gerçekleştirmişlerdir. Analiz için tüm yıl boyunca yüksek güneş ışınım değerine sahip Farafenni kasabasının PV santral yatırımları için uygun bir kasaba olduğu belirtilmiştir. Gambiya için karlı ve yüksek verimli bir proje olduğunu savunmuşlardır [49].

Bing ve arkadaşları (2015) Doha, Katar'da bulunan Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santrallerinde toz ve hava koşullarının performansı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Toz konsantrasyonu, rüzgar hızı ve bağıl nem, yüzey kirlenmesini etkileyen en önemli faktörlerden biri olduğunu ve güç kaybına neden olduğunu belirterek, temizlik indeksinin günlük değişimi ile ortamdaki çevresel değişkenler arasındaki matematiksel ilişki hakkında araştırma yapılması gerektiğini belirtmişlerdir [50].

Sebastian ve arkadaşları (2015) Güney Afrika'da kurulan ve kurulması planlanan fotovoltaik Güneş Enerjisi Santrallerinin bir yıllık güç ve enerji arzı görünümünü simülasyon ile analiz etmişlerdir. Santralin ne kadar iyi performans gösterdiğini ancak bir yıllık faaliyetlerden sonra anlaşılabileceğini, Güney Afrika, bu sektördeki daha fazla yatırım çıkarlarından yararlanmak için mükemmel bir konumda olduğunu savunmuşlardır [51].

Pietruszko ve arkadaşları (2009) Polonya'nın Varşova şehrinde bir okulun çatısında bulunan 1 kW gücünde şebekeye bağlı kristal silisyum güneş hücrelerine sahip fotovoltaik sistemin IEC 61724 standardına göre performans analizini gerçekleştirmişlerdir. Analiz sonunda Polonya'nın çok iyi ışımaya koşullarına sahip olmamasına rağmen, fotovoltaiklerin geliştirilmesinin hala teknik açıdan başarıyla uygulanabileceğini ve benzer projeler için bir itici güç olacağını belirtmişlerdir [52].

Hasimah ve arkadaşları (2009) Malezya Meteoroloji Hizmetleri Bölümü'nden aldıkları ortalama aylık güneş ışınımı ve ortalama ortam sıcaklığı verilerini kullanarak, monokristal, polikristal, amorf silisyum ve kadmiyum tellürür gibi dört farklı şebekeye bağlı fotovoltaik sistemin analizini RETScreen ve PVSyst programı ile gerçekleştirmişlerdir. Mono-kristalin ve polikristalin, yüksek yatırım maliyeti ile daha

yüksek yıllık enerji getirileri sağlarken, amorf silikon ve kadmiyum tellürid, düşük yatırım maliyeti ve kWh başına düşük enerji üretim maliyeti oranı ile daha az yıllık verim sağladığı sonucuna varmışlardır [53].

Saeid Veysi ve arkadaşları (2013) Queensland Üniversitesi'ndeki 1,2 MW gücünde fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralinin analizini 21 aylık süre boyunca toplanan 1 dakikalık veriler ile performansını değerlendirmişlerdir [54].

Sures ve arkadaşları (2014) çatı üzerine monte edilmiş 43 kW gücünde şebekeye bağlı amorf silisyum ince film güneş hücresinin performans analizini gerçekleştirmişlerdir. Fotovoltaik sistemin çalışma performansı incelenerek, performans endeksleri, toplam verim, spesifik verim ve performans oranı belirlenmiştir. Bakım işletme konularında bilgi verilmiştir [55].

Runhsheng ve arkadaşları (2010) aylık yatay ışımaya dayanan farklı eğim açısı ayarlama modu ile güneş panellerinde gelen yıllık ışımının tahmin edilmesi için matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Hesaplamalarla güneş panellerinin eğim açısının aylık ayarlamasının pratik uygulamalarda anlamsız olduğunu ve mevsimsel optimum eğim açılarının ayarlandığında panellerin, yaklaşık % 3-5 oranında daha fazla ışımaya maruz kalacağı belirtilmektedir [56].

Steve ve arkadaşları (2011) Lee County'deki Davis Adalet Merkezi'ne ait 16.6 kW gücündeki şebekeye bağlı PV sistem ve Auburn Üniversitesi'nin Uzay Araştırma Enstitüsü'nün güneş enerjisi deney şebekesine bağlı güneş enerjili sistemin performanslarını ve optimum eğim açısını hesaplamak için PVsyst, PV Design ve Pro G yazılımları ile performans analizlerini gerçekleştirerek sonuçları karşılatırmışlardır [57].

Priya ve arkadaşları (2015) Hamirpur, Himachal Pradesh, Hindistan da kurulu 1 kWp gücündeki fotovoltaik sistemin, konumun ölçüm verileri dikkate alınarak PVsyst yazılımı kullanılarak tasarlanmış ve analizi yapılmış. Sistem tarafından üretilen toplam enerji miktarı ve sistemde meydana gelen çeşitli kayıplar analiz edilerek sistemin tüm yıl boyunca performans oranının 0.724 olduğu belirtilmiştir. Bu PV sisteminden elektrik üretiminin Hamirpur'un artan enerji ihtiyaçlarını karşılaması için uygun bir seçenek olduğunu söylemişlerdir [58].

Sun Jianping (2011) PVsyst yazılımını kullanarak tek eksenli izleme fotovoltaik sistemler için basit bir optimum düzen şeması oluşturmuşlardır. PVsyst yazılımını temel alan bu basit şema, PV santral yapısının diğer durumlarına da uygulanabilir olduğunu belirtmişlerdir [59].

Santhi ve arkadaşları (2012) şebekeden bağımsız PV-Rüzgat hibrit sistemlerin tasarımını, performans analizi ve maliyet analizini gerçekleştirmek için HOMER yazılımını kullanmışlardır. Analiz sonucunda elde edilen veriler ve yöntemlerin önerilen modelin performansını artırdığını belirtmişlerdir [60].

Bu çalışmada Yozgat ili Çalatlı Mevkiinde bulunan, 2017 yılında kurulumu gerçekleşen ve 2018 yılında devreye alınan Güneş Enerjisi Santrali'nin hem deneysel hem de sayısal çalışması yapılmış; kurulu sistemin üretim miktarı, verimi ve performansı incelenmiştir. PVsyst paket programı kullanılarak çalışma alanında kurulu bulunan sistemin sayısal (optimizasyon) çalışması yapılmıştır. Daha sonra çalışma bölgesinde kurulu bulunan Güneş Enerjisi Santralinin 2018 yılına ait deneysel verileri alınmış ve bu veriler işlenmiştir. Her iki yöntem ile elde edilen veriler kullanılarak Güneş Enerjisi Santrali'nin performansı değerlendirilmiş ve GES sisteminin kayıpları irdelenmiştir.

## 4. FOTOVOLTAİK SİSTEM TEORİSİ

Fotovoltaik (PV) sistemlerin modellenmesi için öncelikle modül verimini ve inverter verimini hesaplamaya gerek duyulur. PV modül verimi ve inverter verimi, sistem kayıplarının belirlenmesi açısından önemlidir.

### 4.1. Fotovoltaik Sistem Kapasitesi

Eğik düzleme gelen toplam güneş radyasyonu hesaplandıktan sonra, fotovoltaik sistemin enerji üretiminin belirlenmesinde aşağıdaki hesaplama modelinden yararlanılır [4].

$$E_t = A_c \times I_{t,s} \times \eta \times \eta_e \quad (4.1)$$

Burada  $A_c$ , PV panelin toplam yüzey alanını;  $I_{t,s}$ , s eğimli panelin birim metrekare yüzeyine gelen toplam güneş radyasyonu miktarını;  $\eta$ , PV modül verimini ve  $\eta_e$  ise inverter verimini ifade etmektedirler.

#### 4.1.1. Fotovoltaik modül verimi

Literatürde dış ortam sıcaklığının bir fonksiyonu olarak birçok PV modül verimi hesaplama yöntemleri mevcuttur. Yöntemlerden en çok kabul görmüş olanı aşağıdaki gibi ifade edilmiştir [61].

$$\eta = \eta_{ref} \left\{ 1 - \beta_{ref} \left[ T_a - T_{ref} + (T_{NOCT} - T_a) \frac{I_{t,\beta}}{I_{NOCT}} \right] \right\} \quad (4.2)$$

Burada  $T_a$ , dış ortam sıcaklığını;  $T_{ref}$ , referans sıcaklık değerini;  $\eta_{ref}$ , referans sıcaklık değerindeki hücre verimini (Modül tablosu);  $T_{NOCT}$ , NOCT koşullarındaki hücre sıcaklığını;  $I_{NOCT}$ , NOCT koşullarındaki radyasyon değerini;  $\beta_{ref}$ , hücre veriminin dış ortam sıcaklığından etkilenme katsayısını ifade etmektedirler.

NOCT olarak belirtilen ifade, açık devre koşullarında aşağıdaki değerlerde yapılan ölçümleri tanımlamaktadır. Açık devre koşulları sırası ile radyasyon değeri,  $I_{NOCT}=800$  Wh/m<sup>2</sup>; hava sıcaklığı,  $T_{air}=20$  °C; Ortalama rüzgâr hızı,  $V_{wind}=1$  m/s verilerinden oluşmaktadır.

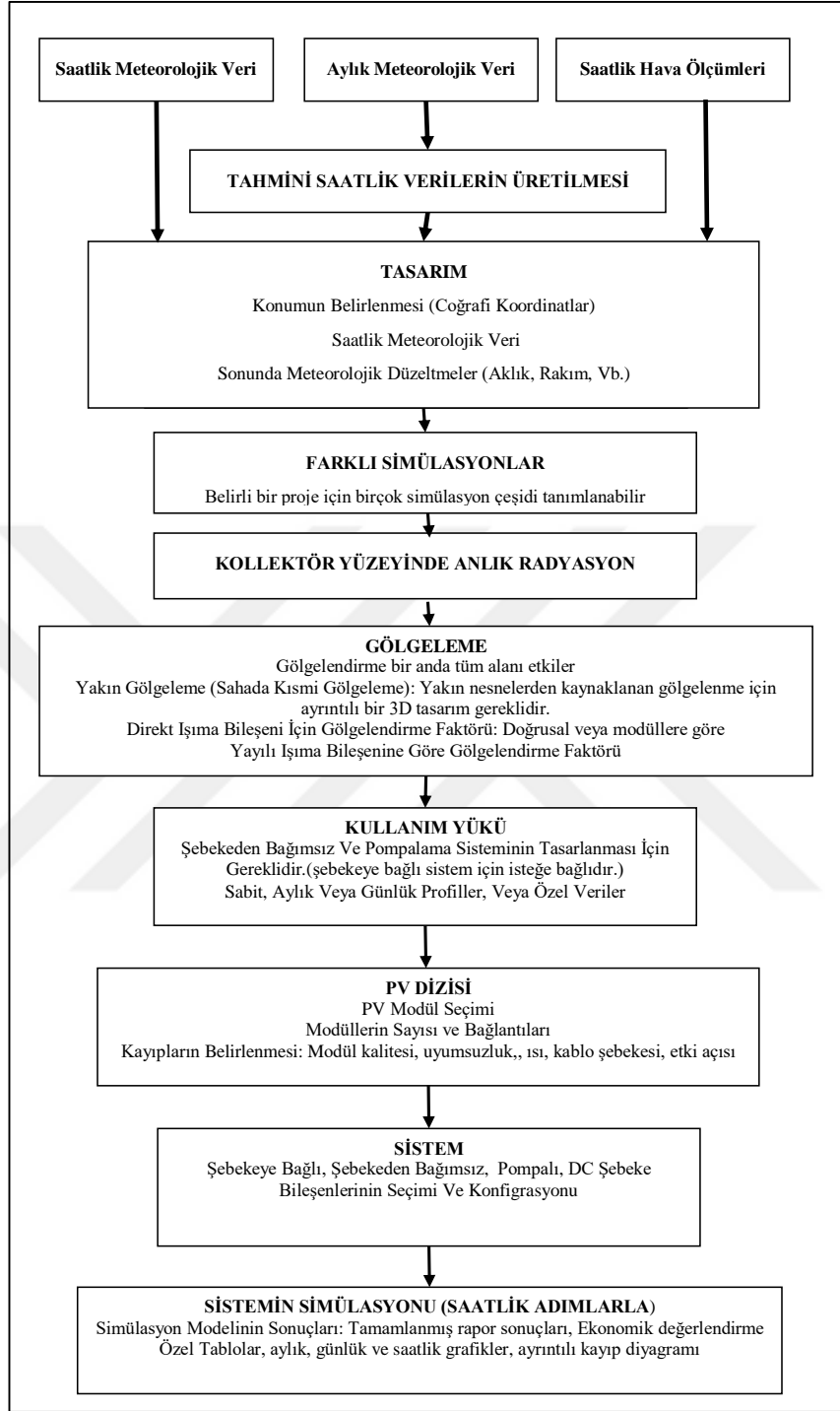
#### **4.1.2. İverter verimi**

Fotovoltaik sistemden üretilen doğru akımın şebekeye verilebilmesi ve kullanılabilmesi için alternatif akıma çevrilmesi sürecinde, enerjinin bir kısmı inverter verimi değeri ( $\eta_e$ ) doğrultusunda kayba uğramaktadır. Yapılan bu tez çalışmasında; Yozgat Çalatl Köyü mevkiinde kurulu bulunan ve COŞKUNLAR A.Ş.'ye ait fotovoltaik sistemde kullanılan her bir inverterin verimi, sistem üzerinden yapılan ölçümler sonucunda % 71,2 olarak bulunmuştur.

#### **4.2. Model Algoritması**

Yukarıda verilen yöntemlerin, farklı kombinasyonlarda kullanılmasıyla da PV sisteminden elde edilen elektrik enerjisi üretimi hesaplanabilir. Bu çalışmada, PV sisteminin tasarlanmasında ve analizinde PVsyst 6.7.9 programı kullanılmıştır. Bu programın izlediği algoritma Şekil 4.1'de verilmiştir.





Şekil 4.1 PVsyst Program algoritması

#### 4.2.1. Meteorolojik verilerin bileşenlerine ayrıştırılması

Program algoritmasında yatay düzleme gelen toplam radyasyon değerlerinin, yayılı (difüz) ve direkt bileşenlerine ayrıştırılmasından önce; yatay düzleme gelen toplam radyasyon değeri verilerinin oluşturulması gerekmektedir. Bu verilerin elde edilmesi için literatürde verilen güneş ışınımı hesaplama yöntemlerini kullanmak yerine; ölçüm yapılan bölgeye ait meteoroloji istasyonlarından elde edilen verileri kullanmak, PV sisteminin kapasitesinin hesaplanmasında daha doğru sonuçlar vermektedir. Bu açıdan Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden (DMİGM) veri talebinde bulunulmuştur. DMİGM'den alınan veriler Tablo 4.1'de verilmiştir.

Bu tabloda aylara göre verilen “Uzun Yıllar Aylık Ortalama Günlük Toplam Global Güneşlenme Şiddeti (Wh/m<sup>2</sup>)” verileri, 2000 ile 2009 yılları arasında yapılan ölçümlerin ortalamalarına göre hesaplanmış değerlerdir.

**Tablo 4.1** Yozgat bölgesi için DMİGM'den alınan aylık ortalama günlük toplam güneşlenme şiddeti verileri [2]

	Uzun Yıllar Aylık Ortalama Günlük Toplam Global Güneşlenme Şiddeti (Wh/m <sup>2</sup> )
Ocak	1317,616
Şubat	1881,111
Mart	3514,4
Nisan	3980,427
Mayıs	5166,213
Haziran	5132,015
Temmuz	5265,12
Ağustos	5505,827
Eylül	5230,232
Ekim	2790,659
Kasım	3047,485
Aralık	1022,485
Toplam	39853,36

Algoritmada her bir ay için Tablo 1.1’de belirtilen ortalama gün sayısı değerleri doğrultusunda saatlik bazda güneş radyasyonu hesabı yapılmıştır. Bu açıdan günlük toplam elde edilen meteorolojik verilerin hesaplanmasında da saatlik radyasyon tahminleme modeli kullanılmıştır [62]. Model aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$r = \frac{I(\text{günlük toplam radyasyon})}{I(\text{saatlik toplam radyasyon})} \quad (4.3)$$

Yukarıdaki eşitlik formüsel olarak ise denklem (4.4)’deki gibi verilmiştir.

$$r = \frac{\pi}{24} (a + b \cos h) \frac{\cos h - \cos H_B}{\sin H_B - \frac{\pi \cdot H_B}{180} \cos H_B} \quad (4.4)$$

Burada r, günlük toplam radyasyonun saatlik toplam radyasyona oranıdır.

Modeldeki a ve b katsayıları ise aşağıdaki denklemler ile ifade edilmektedir.

$$a = 0,409 + 0,5016 \sin(H_B - 60) \quad (4.5)$$

$$b = 0,6609 + 0,4767 \sin(H_B - 60) \quad (4.6)$$

#### **4.2.2. Yatay düzleme gelen toplam radyasyonun difüz ve direkt radyasyon bileşenlerine ayrıştırılması**

Algoritmanın ilk adımında meteorolojik verilerin saatlik verilere ayrıştırılmasından sonra, toplam radyasyon saatlik olarak yayılı (difüz) ve direkt bileşenlerine ayrıştırılabilir. Oluşturulan algoritmada yayılı ve direkt radyasyon ayrıştırma adımında yayılı (difüz) radyasyon için başka bir model önerilmiştir. Bu modelde yatay bir yüzeye gelen difüz radyasyon miktarı, toplam radyasyon miktarının %20’si olduğu öne sürülmüştür. Bu durumda matematiksel model aşağıdaki gibi oluşturulur.

$$I_d = 0,2 \cdot I \quad (4.7)$$

### 4.2.3. Eğik düzleme gelen difüz ve direk radyasyonun hesaplanması

Algoritmanın bir sonraki adımında s açısı kadar eğimli yüzey için ayrı ayrı direkt ve yayılı (difüz) radyasyon değerleri hesaplanmıştır.

Eğik düzleme gelen direkt güneş radyasyonu aşağıda verilen denklem ile hesaplanabilir [4].

$$I_{d,s} = I_d \cdot R_d \quad (4.8)$$

Burada  $I_d$  ve  $I_{d,s}$  sırasıyla yatay ve eğik düzlemlere gelen anlık direk güneş ışınım miktarlarını;  $R_d$  ise direkt radyasyon için oran faktörünü ifade eder ve aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$R_d = \frac{\cos g}{\cos z} \quad (4.9)$$

Güneş Açıları konu başlığı altında tanımlamaları yapılan güneş geliş açısı ( $g$ ) ve zenit açısı ( $z$ ) açılarının cosinus değerleri aşağıdaki denklemler ile hesaplanmaktadır.

$$\cos g = \cos(d) \cdot \cos(e - s) \cdot \cos(h) + \sin(d) \cdot \sin(e - s) \quad (4.10)$$

$$\cos z = \cos(d) \cdot \cos(e) \cdot \cos(h) + \sin(d) \cdot \sin(e) \quad (4.11)$$

Denklemlerinde geçen  $d, e, s$  ve  $h$  açıları, Güneş Açıları konu başlığı altında incelenmiştir.

Eğik düzleme gelen difüz (yayılı) radyasyon değerleri hesaplanırken, genellikle Hay modeli kullanılır. Geliştirilen bu model, eğik düzleme gelen difüz radyasyonun ve  $F_{Hay}$  katsayısının bir fonksiyonu olarak tanımlanır [63].

$$F_{Hay} = \frac{I - I_d}{I_o} = \frac{I_b}{I_o} = \frac{I_{b,n} \cdot \cos z}{I_o} \quad (4.12)$$

Burada s kadar eğimli bir yüzeye gelen difüz radyasyon, 4.13 numaralı denklemdeki gibi ifade edilmektedir.

$$I_{d,s} = I_d \left\{ \left[ \frac{I - I_d}{I_o} \right] \cdot \left( \frac{\cos g}{\cos z} \right) + \left[ \frac{1 + \cos s}{2} \right] \cdot \left[ 1 - \frac{(I - I_d)}{I_o} \right] \right\} \quad (4.13)$$

#### 4.2.4. Eğik düzleme gelen yansıyan radyasyonun hesaplanması

Eğik düzleme gelen yansıyan güneş radyasyonu aşağıdaki denklem ile hesaplanabilmektedir.

$$I_{r,s} = \frac{1}{2} \rho \cdot I \cdot (1 - \cos s) \quad (4.16)$$

Burada  $\rho$  yerin yansıtma katsayısıdır ve farklı yüzeyler için Tablo 4.2'de verilen değerleri almaktadır.

**Tablo 4.2** Farklı yüzeylerin yansıtma katsayıları [4].

Yüzey Cinsi	Ortalama Yansıtma Katsayısı ( $\rho$ )
Kar (Yeni yağmış veya buz kaplı)	0,75
Sonbahardaki ormanlar	0,26
Yeşil çim	0,26
Beton kaplı alan	0,22
Kuru çim	0,20
<b>Topraklar(kil, balçık, vs.)</b>	<b>0,14</b>
Su yüzeyleri	0,07
Çam ormanları (kış)	0,07
Patika yolları	0,04

Uygulama bölgesinde kurulu bulunan fotovoltaik (PV) sistemin çevre zemini toprak yapısında olmasından dolayı, yapılan modelleme çalışmasında  $\rho$  katsayısı 0,14 alınmıştır.

#### 4.2.5. Eğik düzleme gelen toplam radyasyonun hesaplanması

Eğik düzleme gelen toplam radyasyon miktarı ( $I_s$ ); eğik düzleme gelen direkt radyasyon ( $I_{d,s}$ ), eğik düzleme gelen difüz radyasyon ( $I_{y,s}$ ) ve eğik düzleme gelen yansıyan radyasyon ( $I_{yan,s}$ ) miktarlarının toplamına eşittir [4] ve aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$I_s = I_{d,s} + I_{y,s} + I_{yan,s} \quad (4.17)$$

#### 4.2.6. Fotovoltaik sistem enerji modeli

Eğik düzleme gelen toplam radyasyon değerinin hesaplanması adımından sonra, bu değer PV sisteminin enerji modeline girdisi sağlanarak, PV sisteminin enerji çıktısı Denklem (4.18)'deki gibi hesaplanır [4].

$$E_t = A_c * I_s * \eta * \eta_e \quad (4.18)$$

Burada  $A_c$ , PV panelin toplam yüzey alanını;  $I_s$ , eğimli yüzeyin birim metrekare alanına gelen toplam güneş radyasyonu miktarını;  $\eta$ , PV modül verimini ve  $\eta_e$  ise inverter verimini ifade etmektedir.

#### 4.2.7. Fotovoltaik modülün verimi

PV sisteminin enerji modeline bir diğer girdisi ise, PV modüllerinin dış ortam sıcaklığına bağlı verim modelidir. PV modül veriminin hesaplanmasında çok kabul görmüş olanı aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir [61].

$$\eta = \eta_{ref} \left\{ 1 - \beta_{ref} \left[ T_a - T_{ref} + (T_{NOCT} - T_a) \frac{I_{t,s}}{I_{NOCT}} \right] \right\} \quad (4.19)$$

Burada  $T_a$  dış ortam sıcaklığını,  $T_{ref}$  referans sıcaklık değerini,  $\eta_{ref}$  referans sıcaklık değerindeki hücre verimini,  $T_{NOCT}$  NOCT koşullarındaki hücre sıcaklığını,  $I_{NOCT}$  NOCT koşullarındaki radyasyon değerini,  $\beta_{ref}$  hücre veriminin dış ortam sıcaklığından etkilenme katsayısını ifade eder.

NOCT koşulları; açık devre şartlarında, Radyasyon değeri  $I_{NOCT} = 800 \text{ Wh/m}^2$ , Hava sıcaklığı  $T_{air} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ , Ortalama rüzgâr hızı  $V_{wind} = 1 \text{ m/s}$  değerlerinde yapılan ölçümler ile sağlanır.

PV sistem verim modeli incelendiğinde, modele en önemli girdilerden biri de dış ortam sıcaklığının saatlik değişimidir. Bu nedenle, modele diğer bir meteorolojik girdi olan günlük saatlik ortalama sıcaklık değerinin dâhil edilmesi gereklidir.

#### **4.2.8. İnverter verimi**

Üretilen elektriğin şebekeye verilebilmesi ve kullanılabilmesi için, doğru akımın alternatif akıma çevrilmesi gerekir. Bu süreçte dönüştürülen enerjinin bir kısmı inverter verimi değeri doğrultusunda kayba uğrar. Yapılan çalışmada, Yozgat Coşkunlar işletmesindeki her bir inverterin verimi sistem üzerinden yapılan ölçüm sonucu % 71,2 olarak alınmıştır.



## 5. MATERYAL VE METOT

### 5.1. Fotovoltaik Sistemin tanıtılması

Bu çalışmada deneysel veri olarak Yozgat (E: 39,87°, B: 34,94° ve yükseklik 1254 m) Çalatlı bölgesinde kurulu bulunan ve Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de görülen fotovoltaik (PV) sistemden elde edilen veriler kullanılmıştır.



**Şekil 5.1** Uygulama bölgesinde bulunan Güneş Enerjisi Santralinin uydu görünümü

Uygulama Yozgat ilinde bulunmakta ve soğuk iklim bölgesinde yer almaktadır. Yozgat ili en düşük ortalama hava sıcaklığına  $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$  ile Şubat ayında sahip olurken, en yüksek hava sıcaklığına  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$  ile Temmuz ayında sahip olmaktadır. Fotovoltaik sistemde 4400 adet PV modül, alüminyum çerçeve ile birlikte çelik ayaklar üzerine monte edilerek karkas sistemler üzerine oturtulmuştur. Karkas sistemler arası mesafe 5 m olup, 25 derecelik açıyla modüller güneye yönlendirilmiştir. Güneş Enerjisi Santrali açık arazide bulunmakta ve  $7202\text{ m}^2$  panel alanına sahiptir. Etrafında bulunan binalar konum itibari ile sistem üzerinde gölgelenme oluşturmamaktadır.





**Şekil 5.2** Uygulama bölgesinde bulunan Güneş Enerjisi Santralinin üstten görünümü

### **5.2. Fotovoltaik Santralin Bulunduğu Alanın Coğrafi Bölgesinin Belirlenmesi**

Üzerinde çalışılan fotovoltaik sistemin Türkiye şartlarında performans analizini yapabilmek için, öncelikle aynı enlem üzerinde yer alan pilot iller ile birlikte, uygulamanın yapıldığı ile ait yerin coğrafi konum şartları belirlenmelidir.

Türkiye coğrafi konum olarak beş farklı iklim bölgesine ayrılmış olup bunlar; soğuk iklim, ılımlı nemli iklim, ılımlı kuru iklim, sıcak nemli iklim ve sıcak kuru iklim bölgesi olarak sınıflandırılmıştır. Bu bölgelerin harita üzerinde dağılımı Şekil 5.3’de görülmektedir. Diğer taraftan ilgili iklim bölgelerinin illere göre dağılımı ise Tablo 5.1’de verilmiştir.



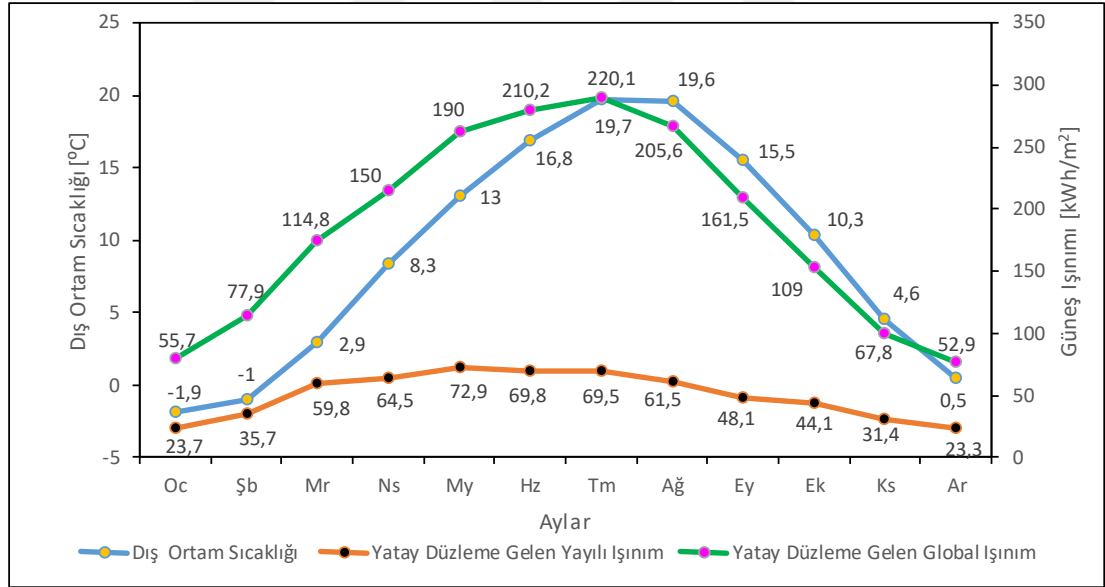
Şekil 5.3 İklim bölgelerinin Türkiye haritası üzerindeki dağılımı [64]

**Tablo 5.1** İllerin Türkiye iklim bölgelerine göre dağılımı

	Soğuk İklim Bölgesi	Ilımlı- Nemli İklim Bölgesi	Ilımlı-Kuru İklim Bölgesi	Sıcak Nemli İklim	Sıcak-Kuru İklim Bölgesi
36 °N				Hatay	
37 °N	Hakkâri		Burdur, Denizli, Isparta, Karaman,	Adana, Antalya, Aydın, Muğla, Osmaniye	Adıyaman, Gaziantep, Kahramanmaraş, Mardin, Şırnak Urfa, Kilis
38 °N	Bitlis, Muş, Van		Afyon, Aksaray, Elazığ, Konya, Nevşehir, Niğde, Uşak	İzmir, Mersin,	Batman, Diyarbakır, Malatya, Siirt,
39 °N	Ağrı,Bingöl, Erzincan, Sivas, Tunceli,	Balıkesir	Eskişehir, Kayseri, Kırşehir, Kütahya,	Manisa,	
40 °N	Bayburt, Erzurum, Gümüşhane, Kars, <u>Yozgat</u>	Amasya, Bursa, Çanakkale, Düzce, Kocaeli, Sakarya, Yalova	Ankara, Bilecik, Çorum, Iğdır, Kırıkkale, Tokat		
41 °N	Ardahan, Bolu, Kastamonu,	Artvin, Bartın, Edirne, Giresun, İstanbul, Karabük, Kırklareli, Ordu, Rize, Samsun, Tekirdağ, Trabzon, Zonguldak	Çankırı,		
42 °N		Sinop			

### 5.3. GES Santrali Kurulu Alanın Meteorolojik Verilerinin Derlenmesi

Uygulamanın bulunduğu bölgeye ait dış ortam sıcaklığının değişimi, yatay düzleme gelen global ve yayılı ışınım miktarlarının değişimi aylara göre Şekil 5.4'de verilmiştir. Burada, yatay düzleme gelen yayılı ışınım miktarının 72,9 kWh/m<sup>2</sup> ile Mayıs ayında en yüksek değere ve 23,3 kWh/m<sup>2</sup> ile Aralık ayında ise en düşük değere sahip olduğu görülmektedir. Yatay düzleme gelen global ışınım miktarının, 52,9 kWh/m<sup>2</sup> ile Aralık ayında en düşük değeri aldığı ve 220,1 kWh/m<sup>2</sup> ile en yüksek değere Temmuz ayında ulaştığı görülmektedir. Yıllık dış ortam sıcaklıklarının aylara göre dağılımını incelendiğinde, aylık ortalama en yüksek sıcaklığın Temmuz ayında 19,7 °C olduğu ve en düşük ortalama dış ortam sıcaklığının ise kış mevsiminin olduğu Ocak ayında -1,9 °C olduğu görülmektedir. Dolayısıyla aylık ortalama dış ortam sıcaklık değerleri değişiminin yatay düzleme gelen yayılı ve global ışınım değerleri değişimini doğru orantılı olarak takip ettiği söylenebilir.



Şekil 5.4 Yatay düzleme gelen global, yayılı ışınım ve dış ortam sıcaklık değerlerinin aylara göre dağılımı.

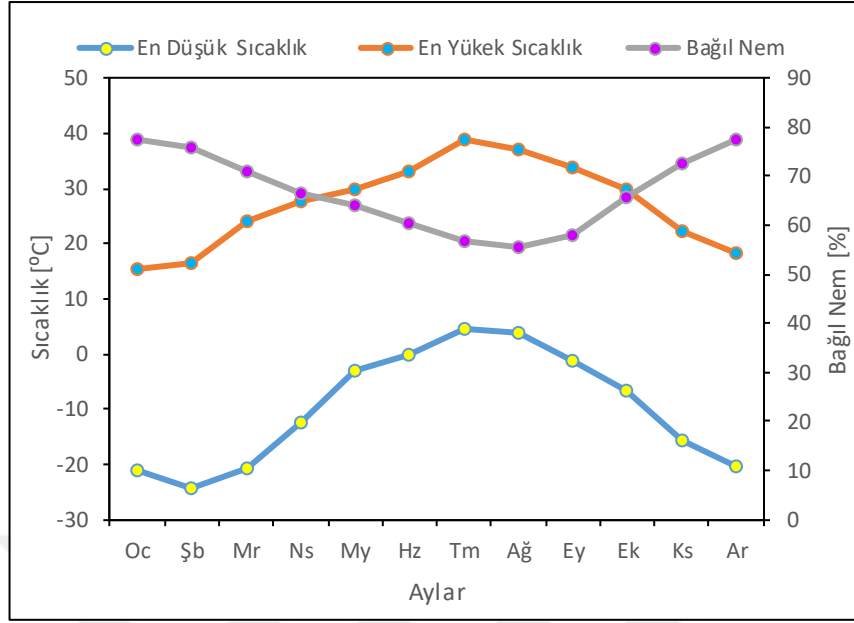
Uygulamanın kurulumu aşamasında, tasarlanan ve gerçekleştirilecek sisteme ait üretilecek enerji miktarının ve elde edilecek verimlerin belirlenmesi için Tablo 5.2'de sunulan Yozgat iline ait Meteorolojik hava olaylarının aylık ortalama verilerinin ve Şekil 5.5'da verilen aylara göre en düşük ve en yüksek sıcaklıkların bilinmesi önemlidir.

Tablo 5.2 incelendiğinde, uygulamanın bulunduğu alanın karasal iklim bölgesinde yer aldığı, yaz mevsiminin bulunduğu aylarda, gerçekleşen yağış miktarının çok düşük olduğu, ancak kış mevsiminin bulunduğu aylarda kar yağışlı günler ve donlu günlerin çok yüksek olduğu görülmektedir. Dolayısıyla sistem tasarımı gerçekleştirilirken bu bilgilerin dikkate alınması önemlidir.

**Tablo 5.2** Meteorolojik Hava Olaylarının Aylık Ortalama Gün Sayıları[2]

METEOROLOJİ K HAVA OLAYLARI	Aylık Ortalama Gün Sayıları											
	Oc	Şb	Mr	Ns	My	H z	T m	A ğ	E y	E k	Ks	Ar
Donlu Günler	24, 9	21, 6	18, 1	5,3	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	12, 3	20, 5
Kış Günü	10, 2	7,1	2,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	5,7
Yağışlı Günler	13, 6	13, 3	13, 6	14, 3	14, 0	9,1	3,2	2,4	4,2	7,7	9,6	13, 7
Kar Yağışlı Günler	11, 4	11, 0	8,2	2,9	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	3,5	8,0
Kar Örtülü Günler	18, 5	16, 4	8,4	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	3,5	11, 5
Dolulu Günler	0,1	0,2	0,4	0,9	0,9	0,5	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1
Kırağılı Günler	5,9	5,2	2,5	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,2	2,8	8,1	7,3
Sisli Günler	3,1	2,2	1,2	0,6	0,3	0,1	0,0	0,0	0,2	0,8	1,2	4,0
Orajlı Günler	0,1	0,1	0,4	2,1	4,7	3,9	1,3	0,9	1,0	0,7	0,2	0,1
Rüzgârlı Günler	3,5	3,3	4,4	5,7	4,8	4,1	5,6	4,3	3,0	2,6	2,9	3,9
Fırtınalı Günler	0,5	0,4	0,6	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,3

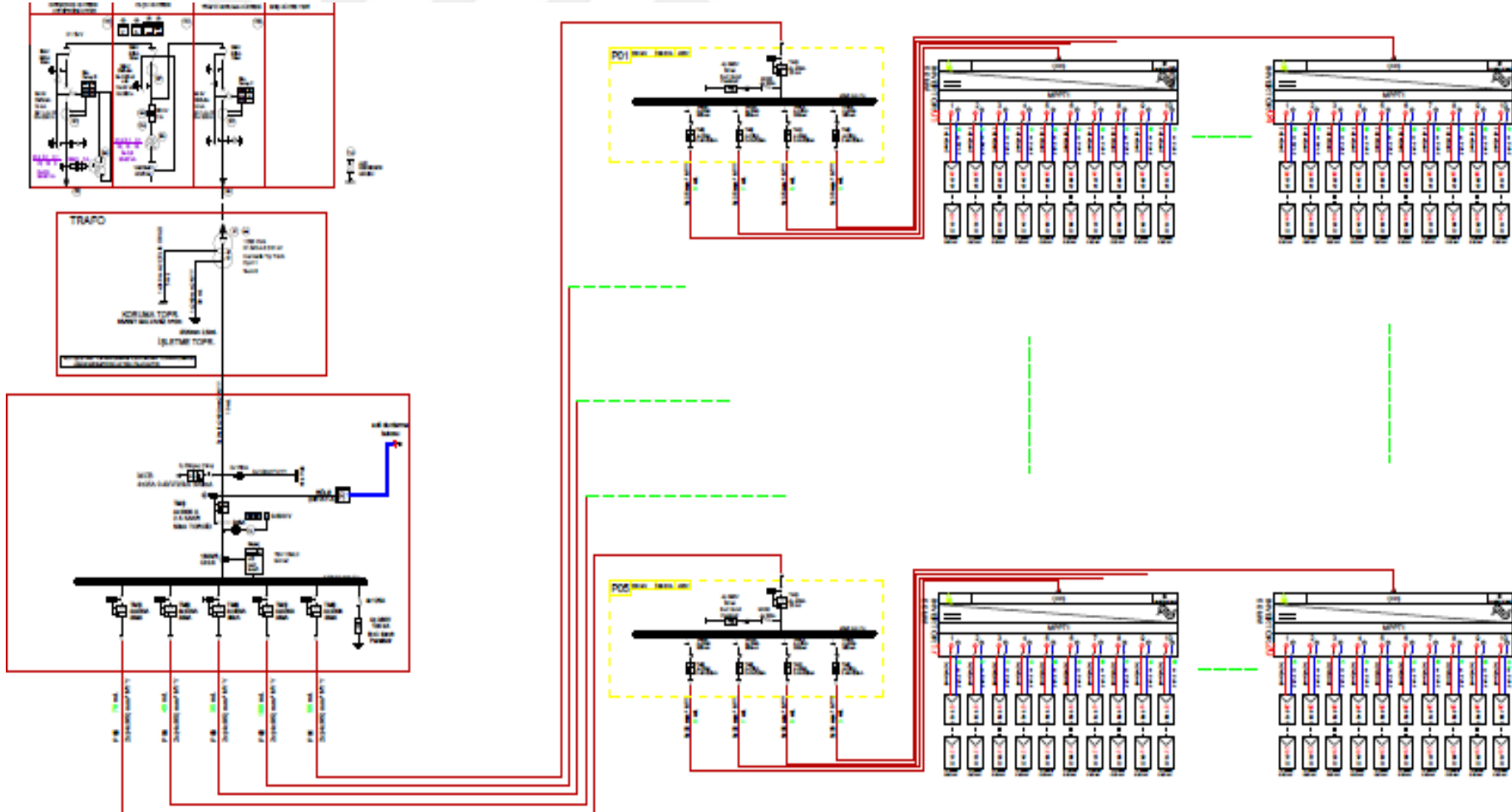
Sistemde gerçekleşen üretim miktarı ve verimi etkileyen bir diğer parametre olan bağıl nemin en düşük ve en yüksek sıcaklıklara bağlı olarak aylara göre değişimi Şekil 5.5’de verilmiştir. Uygulamanın bulunduğu alanın konumu ve iklim şartları göz önüne alındığında; Şubat ayında en düşük çevre sıcaklığın  $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$  ve en yüksek sıcaklığın  $16\text{ }^{\circ}\text{C}$  olduğu görülmektedir. Belirlenen sıcaklıkta havada bulunan su buharı miktarının, aynı sıcaklıkta havanın taşıyabileceği maksimum su buharı miktarına oranı “Bağıl Nem” olarak tanımlanırsa; bağıl nemin Şubat ayında yaklaşık %76 değerinde olduğu söylenebilir. Temmuz ayında ise en yüksek ortalama çevre sıcaklığı değerinin  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$  ve en düşük ortalama çevre sıcaklığı değerinin  $3,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  olduğu görülmektedir. Buna bağlı olarak Ağustos ayı için bağıl nem değerinin % 57 civarında olduğu Şekil 5.5’den de görülebilir.



**Şekil 5.5** Bağıl nem, en düşük ve en yüksek sıcaklık değer ortalamalarının aylara göre değişimi

#### 5.4. Fotovoltaik (PV) Sistem Özelliklerinin Belirlenmesi

Bu bölümde uygulamanın yapıldığı sistemde kullanılan fotovoltaik öğeler, paneller ve inverterler hakkında bilgiler verilecektir. Şekil 5.6'da verilen sistemin genel bağlantı şeması verilmiştir.



Şekil 5.6 Uygulama bölgesinde bulunan PV sisteminin genel bağlantı şeması

#### 5.4.1. Fotovoltaik modül ve panellerinin belirlenmesi ve entegrasyonu

Kurulu bulunan Güneş Enerjisi Santralinde Polikristal “JinKo” marka “JKM265p-60” modüller kullanılmıştır. İkinci nesil güneş hücrelerinin pahalı ve tedarikinin zor olmaları nedeniyle ve Birinci Nesil Güneş Hücresi içerisinde en çok kolay temin edilen ve ekonomik olması nedeniyle Polikristal güneş hücresi seçilmiştir. Üçüncü Nesil Güneş Hücreleri ise teknolojileri henüz gelişim aşamasındadır. Seçilen bu hücre; 1650x992x40 mm boyutlarında, 1,64 m<sup>2</sup> yüzey alanına sahip 265 Wp gücündedir. Her bir modülde 60 adet güneş hücresi bulunmaktadır. 4400 adet modül 25 derecelik bir eğim açısı ve 0°'lik azimut açısı ile Şekil 5.2’de görüldüğü üzere güneye bakacak şekilde yerleştirilmiştir. Sistemde tercih edilen panellere ait bilgiler Tablo 5.3’de verilmiştir.

**Tablo 5.3** Kullanılan panelin özellikleri

Maksimum güç	265 Wp
Güç toleransı	0~+ % 3
Maksimum güç noktasındaki voltajı	31,4 V
Maksimum güç noktasındaki akımı	8,44 A
Açık devre voltajı	38,6 V
Kısa devre akımı	9,03 A
NOTC	45±2°C
Sıcaklık katsayısı - açık devre voltajı	% -0,31°C
Sıcaklık katsayısı - kısa devre voltajı	% -0,06°C
Sıcaklık katsayısı – güç	% 0,41°C
Modül	Poll-cristalline
Modül verimi (ηref)	% 16,19

#### 5.4.2. PV sistemde kullanılan inverterlerin belirlenmesi ve entegrasyonu

İnverter, PV modüllerde üretilen doğru akımı alternatif akıma çeviren cihazlardır. İnverterler iki gruba ayrılabilir. Bunlardan birincisi şebekeden bağımsız inverterlerdir ve bunlar şebekeden izole sistemlerde kullanılmaktadır. Diğer tip inverter ise şebeke bağlı inverterler olup, bu tip inverterler dönüştürdüğü enerjinin kullanım fazlasını şebekeye iletmektedir.

Kurulu alandaki PV sistemde Şekil 5,7’de verildiği gibi “KACO” marka “blueplanet 50” model 20 adet inverter kullanılmıştır. Cihazın teknik özellikleri Tablo5.4’de verilmektedir.





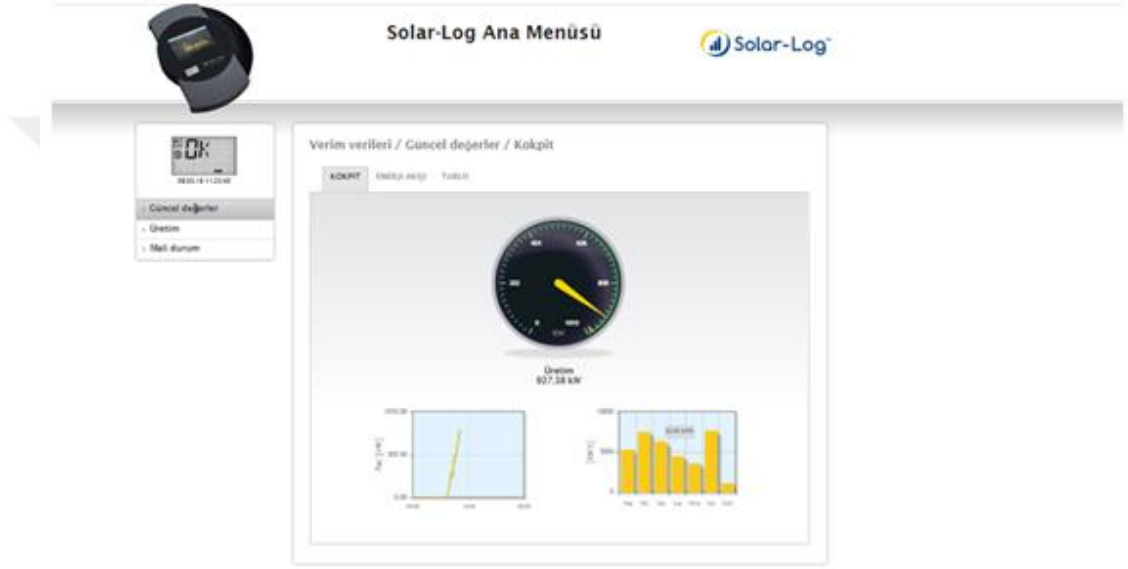
Şekil 5.7 Sistemde kullanılan inverterlere ait resim.

**Tablo 5.4** Kullanılan inverterin özellikleri

<b>İnverter marka/model: Kaco / blueplanet 50,0 TL3 Basic / M/XL</b>	
<b>DC giriş spesifikasyonları</b>	
Giriş voltaj aralığı	50 kW – 70 kW
MPPT aralığı	580* V - 900 V
Maksimum giriş akımı	150 A
<b>AC çıkış spesifikasyonları</b>	
Çıkış	50000 W
Voltaj	240 V – 415 V (bölgesel özelliklere bağlı)
Şebeke frekansı	50 – 60 Hz (bölgesel özelliklere bağlı)
Verim	% 98,50
<b>Genel spesifikasyonları</b>	
Gövde tipi	Alüminyum
Ölçüler (YxGxD)	760x500x425 mm
Ortam sıcaklığı aralığı	-20°C... +60°C
Ortam nem aralığı	% 95 bağıl neme kadar
Ses seviyesi	61 dB (A)
* Elektriksel veriler standart test koşullarında elde edilmiştir; 1000 W/m <sup>2</sup> radyasyon, ışık spektrumu AM 1,5 ve 25 °C hücre sıcaklığı. * NOCT koşulları: 800 W/m <sup>2</sup> radyasyon, ortam sıcaklığı 20 °C ve rüzgâr hızı 1 m/s.	

### 5.4.3. Veri kaydetme sisteminin tanıtımı ve entegrasyonu

Veri kayıt sisteminin sistemde kullanılan inverterlere entegrasyonu yapılmıştır. Bu sayede sistemde kullanılan inverterler doğru akımı alternatif akıma dönüştürürken, aynı zamanda sistemden üretilen elektrik enerjisinin veri kaydını da gerçekleştirmektedir. Şekil 5.8’de inverterlere bağlı bir bilgisayardan erişilebilen veri kayıt ara yüzü görülmektedir. Sistem, geçmişe dönük anlık, günlük, aylık ve yıllık toplam dönüştürülen elektrik enerjisi miktarlarını kayıt altına almaktadır.



**Şekil 5.8** Veri kaydetme sisteminin görünümü

Ayrıca veri kayıt sistemi, Şekil 5.9’da görüldüğü üzere inverterleri ayrı ayrı takip etme imkanı sunmaktadır.

Verim verileri / Güncel değerler / Tablo

KOKPIT ENERJİ AKIŞI TABLO

Invertör	Güç	Durum
invertör 1	46924 W	4-MPP
invertör 2	46150 W	4-MPP
invertör 3	47370 W	4-MPP
invertör 4	46422 W	4-MPP
invertör 5	47447 W	4-MPP
invertör 6	47905 W	4-MPP
invertör 7	46971 W	4-MPP
invertör 8	46776 W	4-MPP
invertör 9	48113 W	4-MPP
invertör 10	47858 W	4-MPP
invertör 11	47754 W	4-MPP
invertör 12	48361 W	4-MPP
invertör 13	48033 W	4-MPP
invertör 14	48192 W	4-MPP
invertör 15	48397 W	4-MPP
invertör 16	48068 W	4-MPP
invertör 17	47635 W	4-MPP
invertör 18	47156 W	4-MPP
invertör 19	46880 W	4-MPP
invertör 20	48213 W	4-MPP

© 2018 Solare Datensysteme GmbH | info@solar-box.com | SN: 1620022756 | Build Revision: 13017

Şekil 5.9 Veri kaydetme sistemindeki inverter sayısı görünümü

#### 5.4.4. Fotovoltaik santralin kurulumu ve işletmeye alınması

Coşkunlar A.Ş. alanına kurulu bulunan fotovoltaik sistem (Güneş Enerji Santrali) beş bölümden oluşmaktadır. Bu bölümlerde kullanılan sistem elemanları Tablo 5.5’de verilmiş olup detaylı olarak aşağıda açıklanmıştır.

**Fotovoltaik (PV) Panel:** Üzerine düşen güneş fotonlarını, yapısında bulunan yarı iletken malzemeler yardımı ile doğru akım şeklinde elektrik enerjisi dönüştüren (üreten) fotovoltaik hücrelerin bir araya gelerek oluşturduğu yapıdır.

**İnvertör:** Fotovoltaik panellerden aldığı doğru akımı (DC), sabit veya değişken frekanslı alternatif akıma çeviren eviricilerdir.

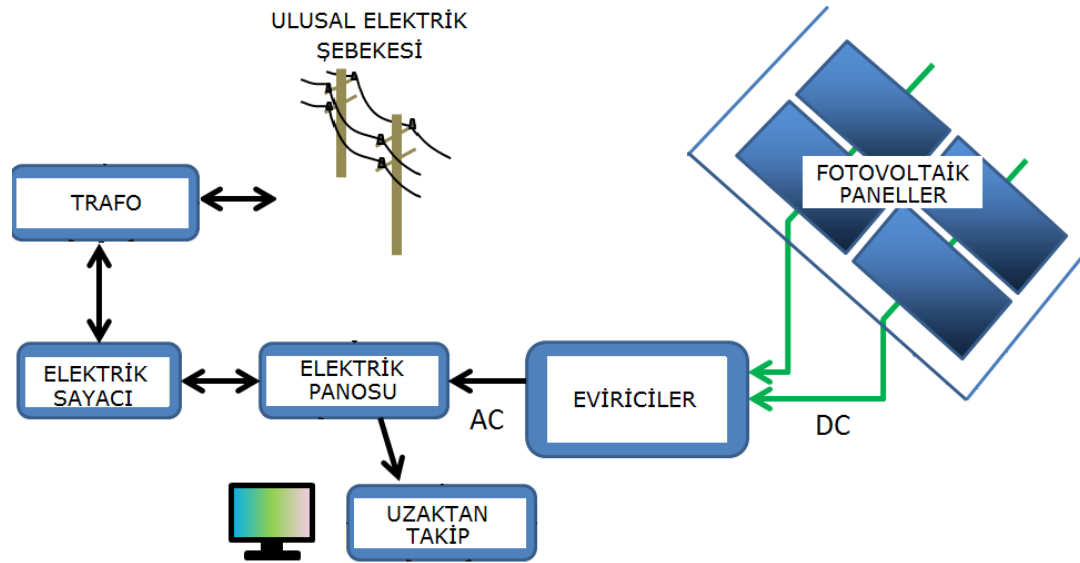
**Panel Taşıyıcı Sistemi:** Panelleri taşımak için galvanizli çelik ve alüminyum profillerden üretilmiş karkas yapıda bir sistemdir. Yardımcı sistem ve montaj aparatlarından oluşmaktadır.

**Elektrik Panosu:** İletim ve dağıtım için gerekli olan şalt malzemeleri ve kabloları muhafaza eden koruma kabinidir. Güneş enerjisi sistemlerinin güvenli bir şekilde ana trafoya bağlanmasını sağlayarak, oluşabilecek dalgalanmalar ve kısa devreleri en aza indirgerler.

**Tablo 5.5** Sistem elemanlarının adet, sayı ve kapasiteleri

Sistem elemanı	Adet / Sayı / Kapasitesi
Güneş hücresi	264000 Adet
Modül	4400 Adet / 265 Wp
Panel	880 Adet
Dizin	200 Adet
Seri	22 Adet
Kablolama	Bakır iletkenli 20,8/36 kW tek damarlı kablo
İnvertör	20 adet / 50 kW
Trafo	1 Adet
Azimet açısı	0°
Eğim açısı	25°
Panel genişliği x Yüksekliği x Kalınlığı	1650x992x40 mm

**Trafo:** İnvertörlerden (Evirici) gelen alçak gerilimi, içinde bulunan transistörlerle orta gerilime yükselterek ulusal şebeke hattına uygun şekilde nakleden bir cihazdır.



**Şekil 5.10** Güneş Enerjisi Santrali çalışma şeması [65]

Yukarıda Şekil 5.10'da örnek olarak verilen basit bir güneş enerjisi sisteminde ilk kurulumda elde edilen verimi arttırmak ve oluşabilecek yüksek maliyetleri azaltmak için aşağıdaki işlem adımlarının takip edilmesi gereklidir.

- Uygulamanın yapılacağı alan belirlenerek, etrafı çevrilmelidir.
- Uygulamada kullanılacak malzemeler tedarik edildikten sonra, panellerin montajının yapılacağı karkas sistem tasarlanıp, projeye uygun montajı yapılmalıdır. Montaj tamamlandığında kontrolleri sağlanmalıdır.
- Fotovoltaik paneller tasarlandığı şekilde seri veya paralel bağlanarak yerine montaj edilmelidir.
- İnverterlerin sistem üzerinde planlanan yerlere montajı yapılmalıdır.
- Tüm inverterlerin alçak gerilim (AG) bağlantı noktalarına bağlantısı yapılmalıdır.
- Trafo bağlantıları yapılmalıdır.
- Baştan itibaren her nokta tekrar kontrol edilmelidir.
- Sistem işletmeye alınıp denemeleri yapılarak test edilmelidir.

### **5.5. PVsyst Programının Tanıtımı ve Kullanımı**

Fotovoltaik sistemler tasarlanırken, sistemin kurulacağı yerin coğrafi konumu, bu yerin güneşlenme değerleri, kullanılacak fotovoltaik panel ve evirici özellikleri gibi pek çok dikkat edilmesi ve değerlendirmeye alınması gereken husus vardır. Geliştirilmiş simülasyon programları sayesinde, bu incelemeleri yapmak ve gerçeğe yakın bir sistem tasarlamak daha kolaydır. Geniş bir seçim yelpazesine sahip olan program ayrıca bölge seçimi, panel, inverter tasarımı imkânları da sunmaktadır.

#### **5.5.1. PVsyst programın tanıtımı**

Kurulu bulunan Fotovoltaik uygulamanın sayısal analizi, İsviçre tabanlı yazılım olan PVsyst programı ile yapılmıştır. PVsyst paket programı; pompalı sistemler, şebeke bağımlı ve şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemlerin tasarımı ve analizlerini gerçekleştiren, benzer programlara göre daha detaylı olarak hesaplama yapabilen ve bir çok değişken ile gerçek sonuçlara yakın değerler veren, simülasyon programıdır.

Ayrıca PVsyst programı ile aynı zamanda üç boyutlu modellemeler hazırlanarak, güneşin doğuşu ve batışı anında, güneş panelleri üzerine düşen gölgelenme durumları da analiz edilebilmektedir.

### 5.5.2. PVsyst programının kullanımı

Uygulama alanında bulunan şebekeye bağlı sistem için, sistemin bulunduğu bölge programdan seçilerek, ilgili alana ait bölgenin meteorolojik verileri olan enlem ve boylam değerleri, rakım, güneşlenme süreleri ve ortalama sıcaklık değerleri sistemin veri tabanından çekilir. Fotovoltaik sisteme ait bu veriler elde edildikten sonra, uygulamada kullanılan panellere ait olan alan, eğim açısı ve gölgeleme bilgileri programa girilir. Sistemde kullanılan ve programın veri tabanında mevcut olan inverter ve panel bilgileri programın ara yüzünden seçilerek simülasyona başlanılır.

Programın oluşturulması sonucunda, sistemin yıllık ürettiği elektrik gücü, sistemden aylık ortalama üretilebilecek elektrik enerjisi miktarları, sistemin aylara göre performans oranları, sistem kayıpları vb. sisteme ait diğer parametreler hesaplanır.

### 5.6. Fotovoltaik Sistemin Üretim/Kayıp Analizinde Kullanılan Performans Parametreleri

Uygulama alanında kurulu bulunan Fotovoltaik sisteme ait performans parametrelerinin hesaplanması aşağıda verilen eşitlikler ile yapılmaktadır. Parametrelerden ilki olan toplayıcının anlık enerjisi (TAE), kollektör düzleminde anlık global ışımayı ifade etmektedir. Diğer bir performans parametresi ise Normalize dize üretimi (NDÜ) olup aşağıdaki eşitlikle ifade edilir [66].

$$NDÜ = \frac{\text{Dizi çıkışındaki etkin enerji}}{\text{Nominal kurulu güç}} \quad (5.1)$$

Kullanılan performans parametrelerinden bir diğeri ise, Normalize Sistem Üretimi (NSÜ) olup, belli periyotta şebekeye gönderilen enerjinin nominal kurulu güce oranı olarak ifade edilir ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanır [66].

$$NSÜ = \frac{\text{Şebekeye gönderilen enerji}}{\text{Nominal kurulu güç}} \quad (5.2)$$

Uygulamada bulunan Fotovoltaik sistemin analizinde kullanılan performans oranı (PR); normalize sistem üretiminin toplayıcının anlık enerjisine oranı olarak tanımlanmakta ve aşağıda verilen eşitlik ile hesaplanmaktadır [66].

$$PR = \frac{NSÜ}{TAE} \quad (5.3)$$

Normalize dizi kayıpları (NDK), toplayıcının anlık enerjisi ile normalize dizi üretimi arasındaki farktır. Normalize sistem kayıpları (NSK) ise, normalize dizi üretimi ile normalize sistem üretimi arasındaki fark olup aşağıdaki eşitlikler ile ifade edilirler [66].

$$\text{NDK} = \text{TAE} - \text{NDÜ} \quad (5.4)$$

$$\text{NSK} = \text{NDÜ} - \text{NSÜ} \quad (5.5)$$

LCR, normalize dizi kaybının toplayıcının anlık enerjisine oranıdır [66].

$$\text{LCR} = \frac{\text{NDK}}{\text{TAE}} \quad (5.6)$$

LSR ise, normalize sistem kaybının toplayıcının anlık enerjisine oranını ifade etmektedir [66].

$$\text{LSR} = \frac{\text{NSK}}{\text{TAE}} \quad (5.7)$$



## **6. BULGULAR VE TARTIŞMA**

Yapılan analiz çalışmasında Yozgat ilinde kurulu bulunan Coşkunlar A.Ş.'ye ait uygulama örneğinden elde edilen gerçek veriler ile PVsyst programı kullanılarak elde edilen sayısal veriler birlikte kullanılmıştır.

Uygulama bölgesinde kurulu bulunan GES sisteminin tüm donanım ve yardımcı elemanları dikkate alınarak bu sistem paket programda modellenmiş, daha sonra kurulu sistemin bilgisayar simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Yapılan simülasyon çalışmasında sistemden elde edilen enerji miktarı, sistemde oluşan kayıplar ve buna bağlı olarak sistemin değişen performans oranı değerleri elde edilmiştir. Fotovoltaik sistemin performans değerlendirmesi, programdan alınan veriler ile gerçek sistemden elde edilen veriler karşılaştırılarak yapılmıştır.

### **6.1. Verilerin İşlenmesi ve Değerlendirilmesi**

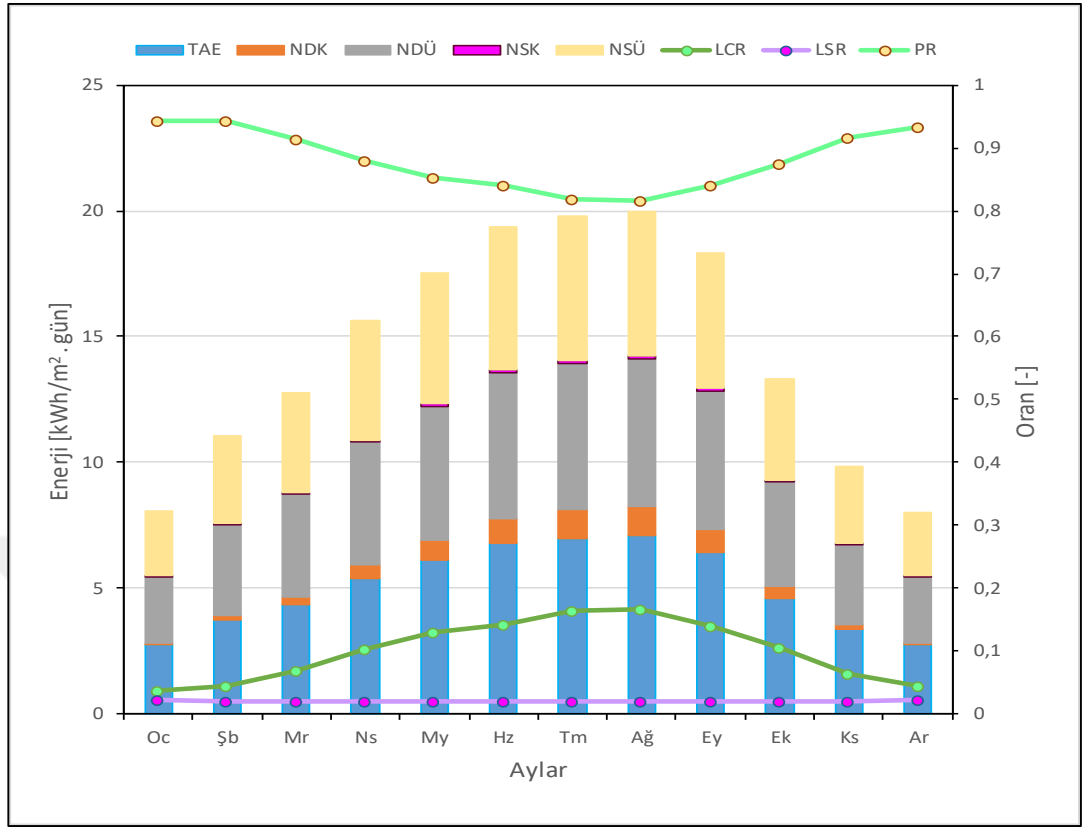
Yozgat ilinde bulunan fotovoltaik uygulama sistemine ait teknik bilgiler paket programa girilmiştir. Söz konusu uygulama için PVsyst programı ile simülasyon çalışması yapılmış ve programdan sayısal değerler alınmıştır. Diğer taraftan kurulu alanda bulunan sistemin üzerinden alınan ham deneysel veriler işlenmiş, sistemin üretim ve kayıpları işlenen bu veriler ile değerlendirilmiş ve program çıktıları ile birlikte sistemin performans analizi yapılmıştır. Bu yapılan analiz sonuçları grafikler ile şekillerde verilmiştir. Grafikler yorumlanarak sistemin üretimi, kayıpları ve performans oranları aylara göre değerlendirilmiştir.

#### **6.1.1. Çalışma bölgesinde kurulu bulunan sistemin üretim/kayıp analizinin yapılması ve performansının irdelenmesi**

Yozgat Çalathı mevkiinde bulunan Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santrali için yapılan sayısal çalışmada; birim metre kare alan için aylara göre bulunan günlük ortalama üretim/kayıp ve performans oranı değerleri Şekil 6.1'de verilmiştir. Burada en yüksek NSÜ değerine 5,76 kWh/kWp/gün ile Ağustos ayında ulaşmıştır ve en düşük değer ise 2,53 kWh/kWp/gün ile Aralık ayında görülmüştür. Buna bağlı olarak sistemden elde edilen aylık performans oranları karşılaştırıldığında; 0,943 değeri ile Ocak ayı performans oranının en yüksek olduğu ve 0,816 ile Ağustos ayında ise en düşük

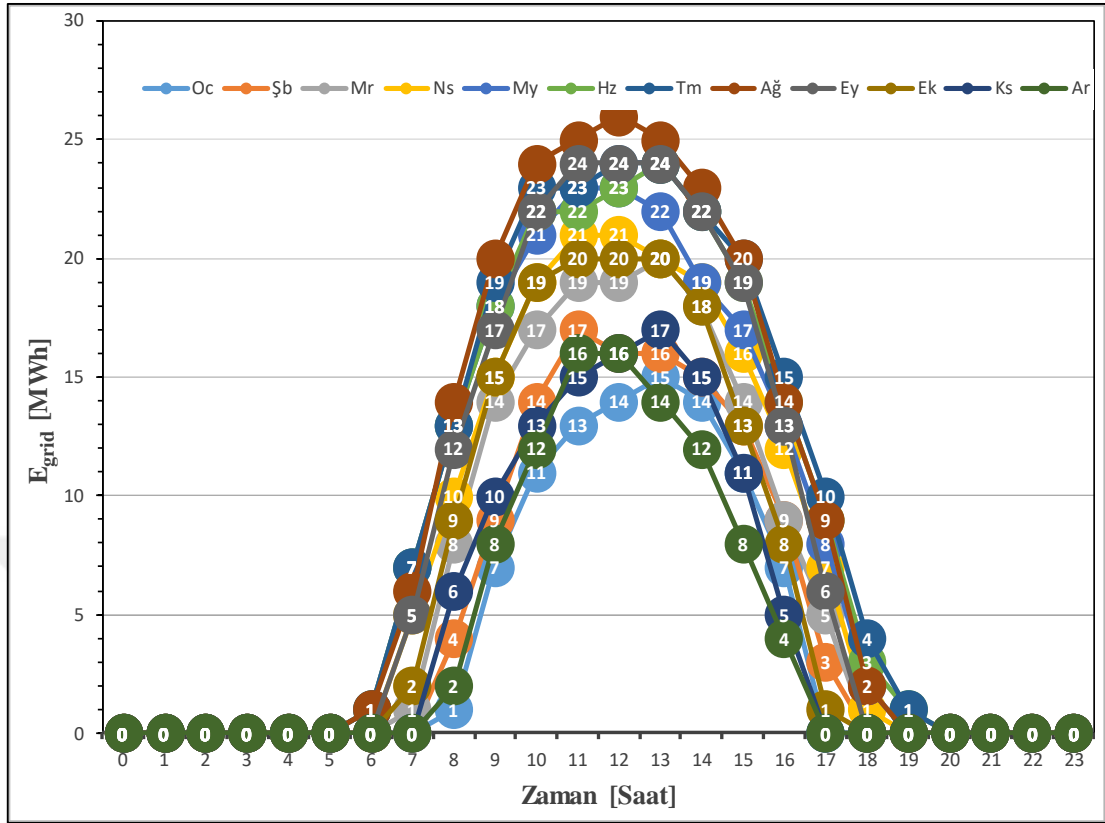
performans oranının elde edildiği görülmüştür. Sistemin üretimleri incelendiğinde en yüksek değerlere Ağustos ayında ulaşılmıştır. Bu değerler; toplayıcının anlık enerjisinin 7,06 kWh/m<sup>2</sup>.gün olduğu, NDÜ değerinin 5,88 kWh/kWp/gün olduğu ve son olarak NSÜ değerinin ise 5,76 kWh/m<sup>2</sup>.gün olduğu belirlenmiştir. Diğer taraftan aylık sistem kayıpları incelendiğinde; en yüksek değerlere NDK = 1,173 kWh/m<sup>2</sup>.gün ve NSK = 0,124 kWh/m<sup>2</sup>.gün değerleri ile Ağustos ayında ulaşılmıştır. Ağustos ayında LCR oranı 0,166 olarak en yüksek değeri alırken, yine bu ayda LSR oranı ise 0,018 değeri ile en düşük değere ulaştığı görülmektedir. Buna bağlı olarak sistemde en yüksek performans oranına ise Ocak ayında ulaşıldığı ve bu değer yaklaşık % 94,3 civarında olduğu görülmektedir.

Üretim miktarının en düşük olduğu Aralık ayı incelendiğinde; toplayıcının anlık enerjisinin 2,71 kWh/m<sup>2</sup>.gün, NDÜ değerinin 2,59 kWh/kWp/gün ve son olarak NSÜ değerinin ise 2,53 kWh/kWp/gün olarak gerçekleştiği görülmektedir. Diğer taraftan sistem kayıpları incelendiğinde; Aralık ayında NDK değerinin 0,119 kWh/m<sup>2</sup>.gün, NSK değerinin ise 0,056 kWh/m<sup>2</sup>.gün olduğu görülmektedir. Aralık ayında gerçekleşen LCR değerinin 0,044 olduğu ve LSR değerinin ise 0,021 olduğu görülmektedir. Buna bağlı olarak bu ayda performans oranı ise yaklaşık % 93,5 civarındadır.



**Şekil 6.1** Birim metrekare panel alanı için aylara göre günlük ortalama kayıp/üretim miktarları ve performans oranları. [TAE: Toplayıcının Anlık Enerjisi (kWh/m<sup>2</sup>.gün), NDK: Normalize Dizi Kayıpları (kWh/m<sup>2</sup>.gün), NDÜ: Normalize Dizi Üretimi (kWh/kWp/gün), NSK: Normalize Sistem Kayıpları, NSÜ: Normalize Sistem Üretimi (kWh/kWp/gün), LCR: Dizi Kaybı / Anlık Enerji Oranı LSR: Sistem Kaybı / Anlık Enerji oranı PR: Performans Oranı].

Şekil 6.2’de aylara göre şebekeye verilen saatlik ortalama enerji miktarları görülmektedir. Şebekeye verilen enerjinin en yüksek olduğu zaman dilimi; güneşin tepe noktasında olduğu, güneş ışınlarının tüm panellere dik geldiği ve gölgelenmenin minimum olduğu öğle saatleridir. Ağustos ayında şebekeye verilen en yüksek enerji miktarının saat 12:00 da 26 MWh olduğu; bu saatte ortalama hava sıcaklığın en yüksek MAÇS = 19,6 °C ve PAÇS = 22,3 °C değerlerinde bulunduğu ve sıcaklığa bağlı olarak bağıl nemin en düşük % 56 değerinde seyrettiği görülmektedir.



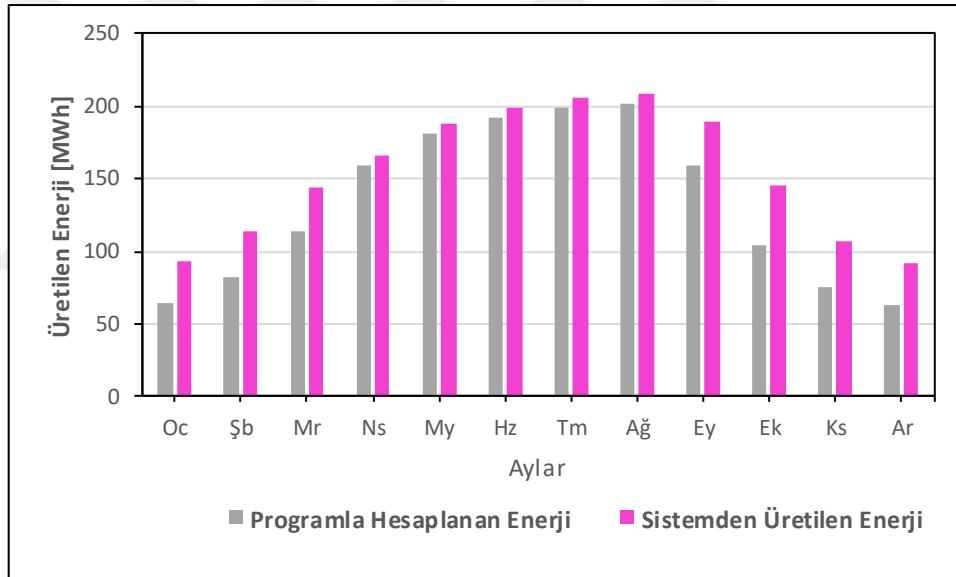
Şekil 6.2 Aylara göre saatlik ortalama şebekeye verilen enerji miktarı

### 6.1.2. Sayısal verilerle birlikte deneysel verilerin değerlendirilmesi

Coşkunlar A.Ş. Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralinden elde edilen enerjinin yıllık gerçek üretim değerleri ile programdan alınan değerlerin karşılaştırılması Şekil 6.3'de verilmiştir. Sistemde 2018 yılı boyunca 1859 MWh enerji üretilirken, PVsyst simülasyon programına bakıldığında 1851 MWh enerji üretimi hesaplanmıştır.

Üretim miktarı, güneşlenme süresinin en fazla olduğu Ağustos ayında 220,596 MWh olarak gerçekleşirken, aynı ay için simülasyon programında 202 MWh olarak üretileceği hesaplanmıştır. Sistemden üretilen enerji miktarının en düşük olduğu ay ise; 93,152 MWh ile Aralık ayı olup, bu ay için simülasyon programından alınan elektrik enerjisi miktarının yaklaşık 63,3 MWh olduğu belirtilmiştir. Simülasyon sonuçları ile gerçek değerler arasındaki farkların asıl nedeni; 2018 yılında gerçekleşen güneşlenme sürelerinin ve çevre sıcaklık değerlerinin, bilgisayar programının kullandığı uzun yıllar sonucu elde edilen ortalama meteorolojik verilerden yüksek olmasıdır. Çünkü kurulu Güneş Enerji Santrali elektrik üretimi, geçmiş yıllara bağlı olarak mevsimsel ve iklim koşullarına göre değişiklik gösterebilmektedir. Şekil 6.3'de gerçek değerler ile simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında; Nisan, Mayıs, Haziran ve

Temmuz aylarında aralarındaki farkın çok az olduğu, ancak Aralık ve Ocak aylarında ise bu farkların arttığı görülmektedir. Sonuç olarak diğer aylara oranla Aralık ve Ocak aylarında üretilen enerji miktarının programdan elde edilen değerden yüksek olduğu görülmektedir. 2018 yılına ait meteorolojik verilerin bilgisayar programında kullanılması durumunda; Santral verileri ile PVsyst programından elde edilen sonuçlar arasında farkın olmayacağı, birbirine daha yakın değerlerde olabileceği öngörülmektedir. Bir başka yol ise; on yıllık santral veri ortalamaları ile program sonuçları karşılaştırılırsa, program sonuçları ile santralden alınan gerçek veriler arasındaki farkın kaybolacağı düşünülmektedir. Ayrıca kurulu santralin yeni olması nedeniyle, sistem ve sistemi oluşturan elemanların verimlerinin daha yüksek olması da farkların oluşmasına bir başka etkidir.

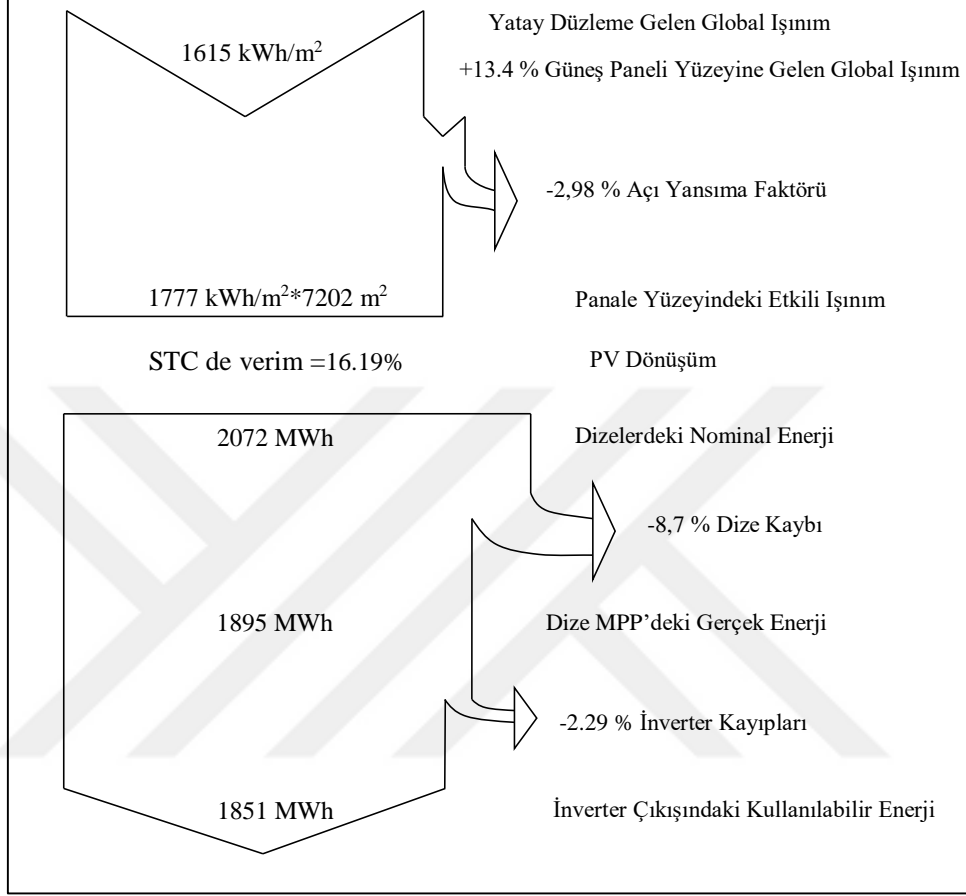


**Şekil 6.3** Kurulu GES Üretim değerleri ile simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması

### 6.1.3. GES santralının performansının belirlenmesi ve değerlendirilmesi

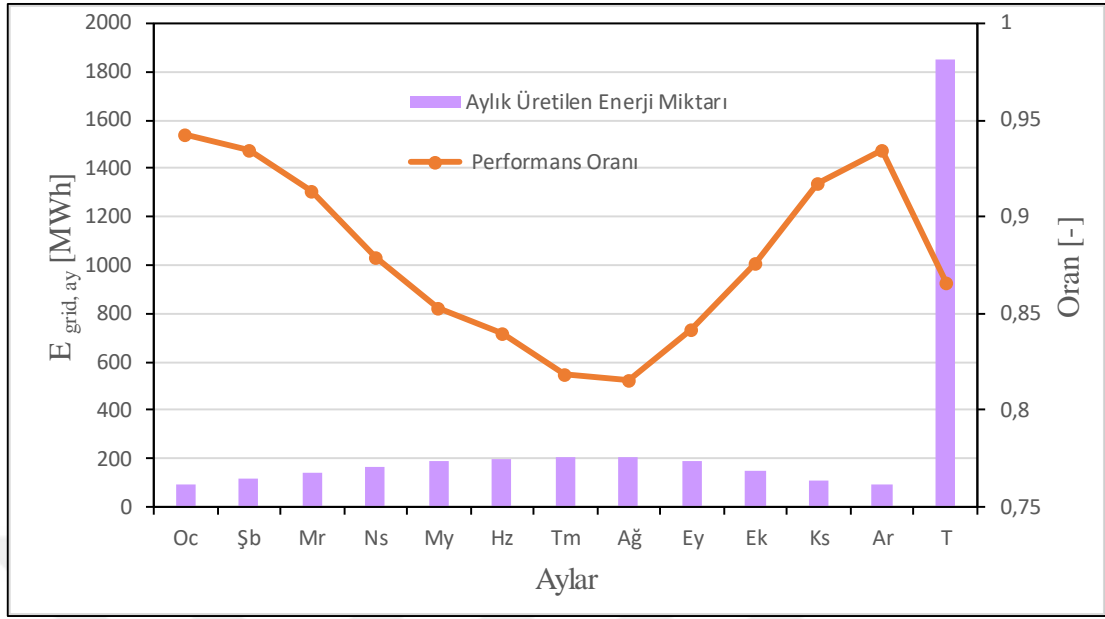
Uygulamanın gerçekleştirildiği GES sistemi için yapılan simülasyondan elde edilen enerji miktarı ve kayıpları detaylı olarak diyagram şeklinde Şekil 6.4'de verilmiştir. İlgili diyagram da uygulamanın bulunduğu alanda gerçekleşen ve yatay düzleme gelen yıllık ortalama global ışınım miktarı  $1615 \text{ kWh/m}^2$  olarak hesaplanmıştır. Bu ışınımın % 13,4'ü, güneye dönük  $25^\circ$ 'lik açıyla yerleştirilen fotovoltaik panel yüzeyinden geldiği görülmektedir. Sistemde oluşan kayıpların, sırasıyla % 8,7 ile dizi kayıplarından ve % 2,29 ile inverter kayıplarından oluştuğu görülmektedir. Bu

kayıpların sonucunda şebekeye verilebilecek yıllık enerji miktarının ortalama 1851 MWh olacağı öngörülmektedir.



**Şekil 6.4** Programa ait sistem kayıp diyagramı

Şekil 6.5'deki grafikte bir yıl boyunca şebekeye verilen ortalama enerji miktarlarının ( $E_{grid, ay}$ ) ve performans oranlarının aylık değişimleri görülmektedir. Şekil 6.5'deki grafik incelendiğinde; şebekeye verilen en yüksek enerji miktarının Ağustos ayında 208,13 MWh olduğu görülürken, en düşük değere ise Aralık ayında (91,53 MWh) ulaşılmıştır.



**Şekil 6.5** Aylara göre şebekeye verilen enerji miktarları ve performans oranları

Kayıplar, modül dizisi uyumsuzluğu kaybı, Ohmik kablolama kaybı, serideki maksimum güç noktasındaki sanal enerji kaybı ve global inverter kayıplarından oluşmaktadır. Bu kayıpların aylara göre değişimi Şekil 6.6’da verilmiştir. Hücreler ile invertörleri birbirine bağlayan kabloların uzunluğunun mümkün olduğunca kısa mesafede olması gerekir. Fotovoltaik sisteme ait kayıplar grafikten detaylı olarak incelendiğinde; en fazla sistem kaybının olduğu ayın Ağustos ayında gerçekleştiği görülmektedir.

En fazla kaybın olduğu Ağustos ayı detaylandırıldığında; modül dizisi uyumsuzluğundan gerçekleşen kaybın 2404 kWh olduğu, ohmik kablolama kaybının 2759 kWh olduğu, inverter kayıplarının 5260 kWh olduğu şekilde görülmektedir. Seride bulunan maksimum güç noktasındaki sanal enerji kaybı ise Ağustos ayı için 213386 kWh olarak hesaplanmıştır.

Kayıp miktarlarının en düşük olduğu Aralık ayına bakıldığında ise, modül dizisi uyumsuzluğundan gerçekleşen kaybın 1048 kWh olduğu, ohmik kablolama kaybının 698 kWh olduğu, inverter kayıplarının 2011 kWh olduğu görülmüştür. Seride bulunan maksimum güç noktasındaki tahmin edilen sanal enerji kaybı ise Aralık ayı için 93542 kWh olarak belirlenmiştir.



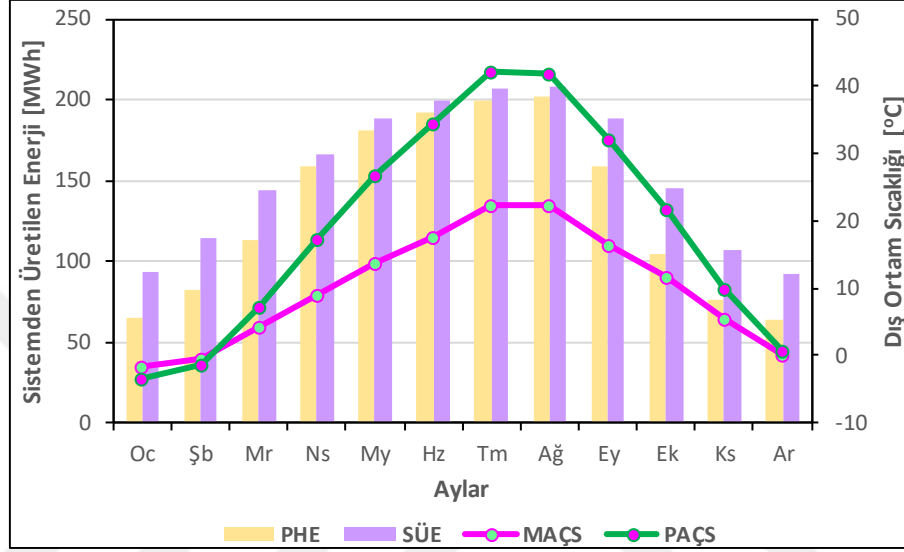
**Şekil 6.6** Aylara göre ortalama detaylı sistem kayıpları [ 1: Modül dizisi uyumsuzluğu kaybı (kWh), 2: Ohmik kablolama kaybı (kWh), 3: Serideki maksimum güç noktasındaki sanal enerji kaybı (kWh), 4: Global İnverter kayıpları (kWh)]

Santralin üretmiş olduğu enerji miktarı ile simülasyon programından üretilen enerji miktarlarının aylara göre değişimi Şekil 6.7’de görülmektedir. Burada sistemden üretilen enerji miktarının en fazla 220,596 MWh ile Ağustos ayında olduğu ve aynı ay için programla hesaplanan enerji miktarının ise 202 MWh olduğu görülmektedir. Sistemden ölçülen en düşük üretilen enerji miktarı 93,152 MWh ile Aralık ayında olup, bu ay için programla hesaplanan en düşük değer ise, 63,3 MWh olduğu görülmektedir.

Şekil 6.7’de ortalama çevre sıcaklıklarına bakıldığında; programdan alınan değer, meteorolojiden alınan değerden yüksek olduğu görülmektedir. Diğer taraftan üretilen enerji miktarlarına da bakıldığında; aynı durum burada tam tersi yönde olduğu söylenebilir. Ancak üretilen enerji miktarı ile programdan elde edilen enerji miktarı arasında çok küçük farklılıklar bulunmaktadır. Bunun nedeni; program hesaplamalarında kullanılan verilerin on yıllık ortalama meteorolojik verilere dayandığı, ancak kurulu alanda bulunan sistemden elde edilen veriler ise sadece 2018 yılı meteorolojik verilerini kapsadığıdır. Bunun yanında; mevsim geçişlerinde



meteorolojik hava olayları nedeniyle gerçekleşen verilerdeki dalgalanmalar ve 2018 yılı tahmin edilen güneşlenme sürelerinin on yıllık meteorolojik ortalama verilerine göre farklılık göstermesi de; sistemden alınan değerler ile hesaplanan değerler arasında farklılıklara neden olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı da sistemden üretilen enerji, programdan hesaplanan değerlere göre yüksek çıkmaktadır.



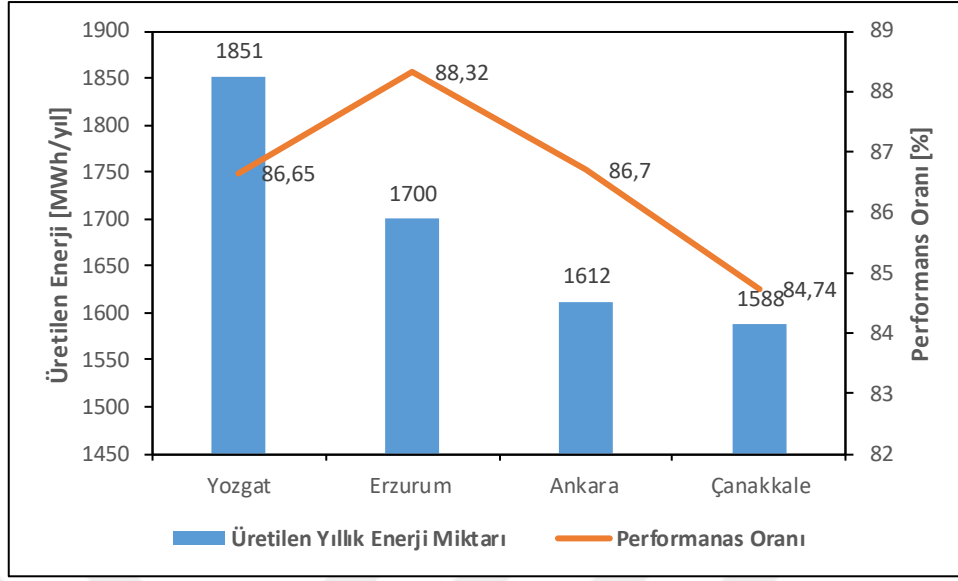
**Şekil 6.7** Üretilen enerjilerin ve dış ortam sıcaklıklarının aylara göre değişimi [PHE: Programla hesaplanan enerji, SÜE: Sistemden üretilen enerji, MAÇS: Meteorolojiden alınan çevre sıcaklığı, PAÇS: Programdan alınan çevre sıcaklığı].

#### 6.1.4. Sayısal simülasyonları yapılan fotovoltaik sistemlerin performanslarının değerlendirilmesi ve birbirleri ile karşılaştırılması

Uygulama alanında kurulu bulunan fotovoltaik sistemin performansını değerlendirmek için; aynı enlem üzerinde yer alan ancak farklı iklim bölgelerinde bulunan pilot illerde (Erzurum, Çanakkale ve Ankara) kurulacak Fotovoltaik sistemlerin aynı sistem özelliklerini içerecek şekilde program simülasyonları yapılmıştır. Seçilen pilot illere ait üretilen ortalama aylık enerji miktarları ile aylık performans oranları, uygulamanın bulunduğu ilde bulunan GES santralinin verileri ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Fotovoltaik sistemin performansı, hava koşullarına, panellerin güneşle yaptığı açığa ve güneşlenme sürelerine göre değişmektedir. Yozgat'ta Kurulu bulunan sistemin benzeri diğer pilot illerde kurulmuş olsa dahi; Şekil 6.8'de görüldüğü gibi bu illerdeki

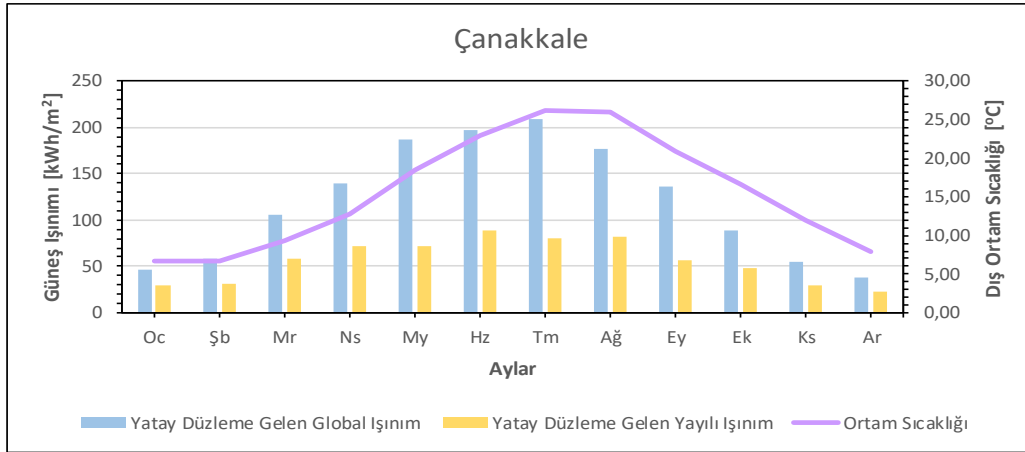
olası santraller için PVsyst programından hesaplan değerlerde ve buna bağılı olarak performans oranlarında farklılıklar olacaktır. Programla hesaplanan enerji miktarları ve performans oranları karşılaştırıldığında; Yozgat ilinde % 86,65 performans oranı ile yıllık yaklaşık 1851 MWh enerji üretileceğı öngörülmekte iken, Erzurum'da % 88,32 performans oranı ile yıllık 1700 MWh enerji, Ankara'da % 86,7 performans oranı ile yıllık 1612 MWh enerji ve Çanakkale'de % 84,74 performans oranı ile yaklaşık yıllık 1588 MWh enerji üretileceğı öngörülmektedir. Bu durumun en önemli nedeni, pilot iller aynı enlem üzerinde olsalar dahi; her ilin on yıllık meteorolojik veri ortalamalarının birbirine göre farklılık göstermesidir. Örneğın meteorolojik verilere bakıldığında, pilot iller içerisinde bağılı nemin en düşük olduğı il Erzurum'dur ve bu ilde kurulacak santralin performans oranı da en yüksektir. Bunun sebebi, bağılı nemin düşük olması ile sistem kayıplarının en aza indirgenmesidir. Yağmurlu havalarda bağılı nemin yüksek olduğı düşünülürse, ıslak havanın yoğunluğı artacaktır ve dolayısıyla bu havanın elektrik akımlarını yutma kabiliyeti yükselecektir. Bu nedenle de sistem kayıpları büyüyecektir. Bir başka önemli nedenlerinden birisi ise; kurulacak fotovoltaik sistem panellerinin ilgili illere ait uygun eğim açılarında konumlandırılmaması ve PVsyst programında kurulu sistemin eğim açısı dikkate alınarak simülasyonun yapılmasıdır. İlgili illerde kurulacak sistemler için uygun şartlarda ve eğim açısında simülasyon yapıldığı öngörüldüğünde; gerçek sistemlerin verileri ile simülasyon sonuçları arasında kayda değer bir farkın oluşmayacağı öngörülmektedir.



**Şekil 6.8** Aynı enlemde yer alan farklı iklim bölgelerinde bulunan aynı sistemin yıllık üretilen enerjisi ve sistem verimi

Şekil 6.9, Şekil 6.11 ve Şekil 6.13’de sunulan Çanakkale, Ankara ve Erzurum illeri için dış ortam sıcaklığı, yatay düzleme gelen global ve yayılı ışınımın aylara göre değişimi görülmektedir ve bu değerler PVsyst programından elde edilen veriler ile oluşturulmuştur.

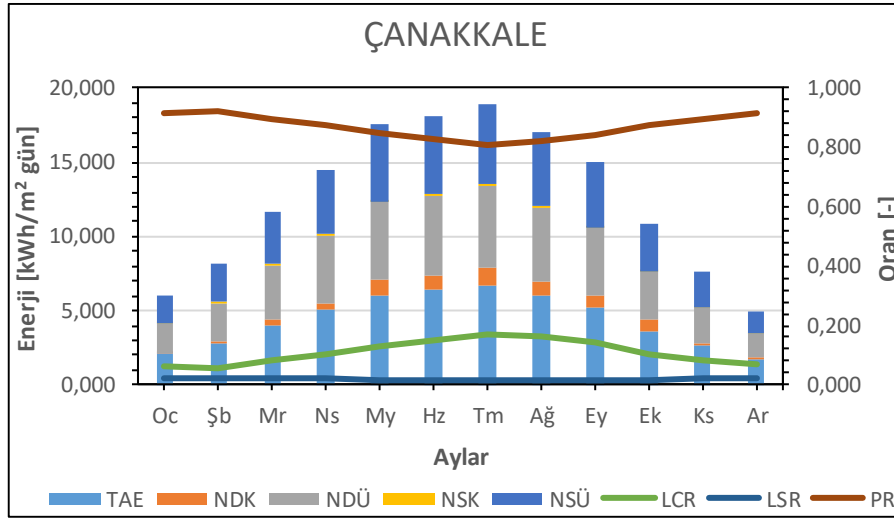
Ilımlı ve nemli iklim bölgesinde yer alan Çanakkale ili için güneş ışınım miktarlarının ve ortalama sıcaklıkların aylara göre değişimi Şekil 6.9’da verilmiştir. Grafik incelendiğinde Temmuz ayında ortalama dış ortam sıcaklığının 26,3 °C, yatay düzleme gelen global ışınımın 209,8 kWh/m<sup>2</sup> ve yatay düzleme gelen yayılı ışınımın 80,60 kWh/m<sup>2</sup> olarak en yüksek değerde olduğu görülmektedir. En düşük verilerin ise; yatay düzleme gelen global ışınımının 37,2 kWh/m<sup>2</sup>, yatay düzleme gelen yayılı ışınımın 22,9 kWh/m<sup>2</sup> ve dış ortam sıcaklığının 7,9 °C olarak Aralık ayında olduğu görülmektedir.



**Şekil 6.9** Çanakkale ili için yatay düzleme gelen global, yayılı ışınım ve dış ortam sıcaklığının aylara göre ortalama dağılımı.

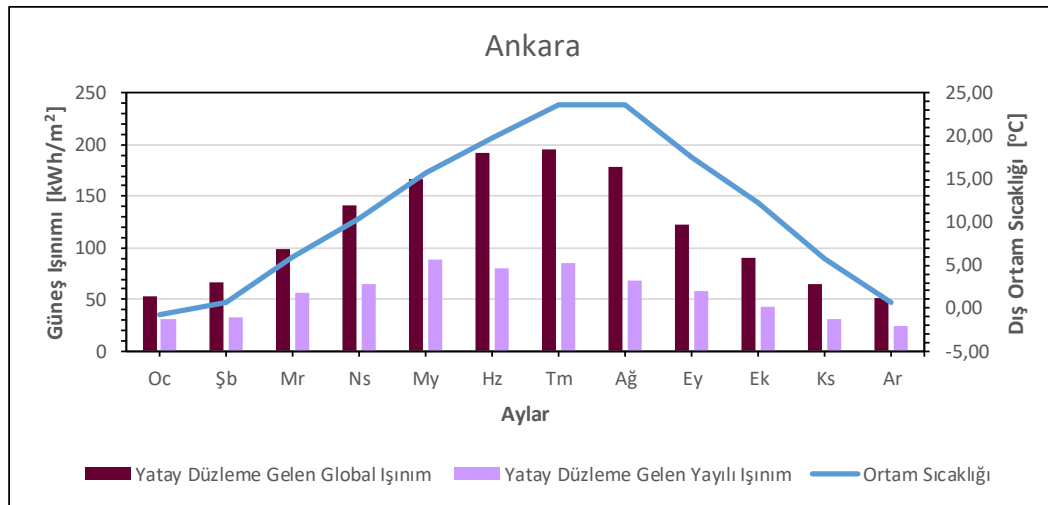
Şekil 6.10'da Çanakkale ili için aylara göre günlük ortalama üretilen enerjinin ve kayıpların değişimi ile birlikte performans oranları verilmiştir. Verilerin en düşük olduğu Aralık ayına bakıldığında; toplayıcının anlık enerjisinin  $1,70 \text{ kWh/m}^2.\text{gün}$ , NDÜ'nin  $1,59 \text{ kWh/m}^2.\text{gün}$  ve NSÜ'nin ise  $1,55 \text{ kWh/m}^2.\text{gün}$  olduğu görülmektedir. Buna mukabil bu ay için sistem kayıpları incelenirse; NDK'nın  $0,113 \text{ kWh/m}^2.\text{gün}$ , NSK'nın  $0,036 \text{ kWh/m}^2.\text{gün}$  olarak en düşük değerde seyrettiği görülmektedir. Gerçekleşen dizi kayıplarının, anlık enerjiye oranı (LCR)'nin  $0,066$  olduğu ve sistem kayıplarının, anlık enerjiye oranı (LSR)'nin ise  $0,021$  olduğu görülmektedir. Bu değerlere bağlı olarak öngörülen sistemin performans oranının ise Aralık ayı için yaklaşık % 91,3 olduğu tespit edilmiştir.

Üretim miktarının en yüksek olduğu ay olan Temmuz ayı incelediğinde; toplayıcının anlık enerjisinin (TAE)  $6,69 \text{ kWh/m}^2.\text{gün}$  olduğu, dizilerde gerçekleşen üretimin (NDÜ)  $5,54 \text{ kWh/m}^2.\text{gün}$  olduğu ve son olarak da sistem üretiminin (NSÜ) ise  $5,43 \text{ kWh/m}^2.\text{gün}$  olduğu Şekil 6.10'dan anlaşılmaktadır. Diğer taraftan sistem kayıpları incelenirse; dizi kayıplarının (NDK)  $1,151 \text{ kWh/m}^2.\text{gün}$  olduğu, sistem kayıplarının (NSK)  $0,115 \text{ kWh/m}^2.\text{gün}$  olduğu görülmektedir. Gerçekleşen dizi kayıplarının, anlık enerjiye oranı (LCR)'nin  $0,172$  olduğu ve sistem kayıplarının, anlık enerjiye oranı (LSR)'nin ise  $0,017$  olduğu belirlenmiştir. Buna bağlı olarak öngörülen sistemin performans oranının (PR) ise yaklaşık % 81,1 civarında seyrettiği görülmektedir.



**Şekil 6.10** Çanakkale ili için birim metrekare panel alanı için aylara göre günlük ortalama kayıp/üretim miktarları ve performans oranları.

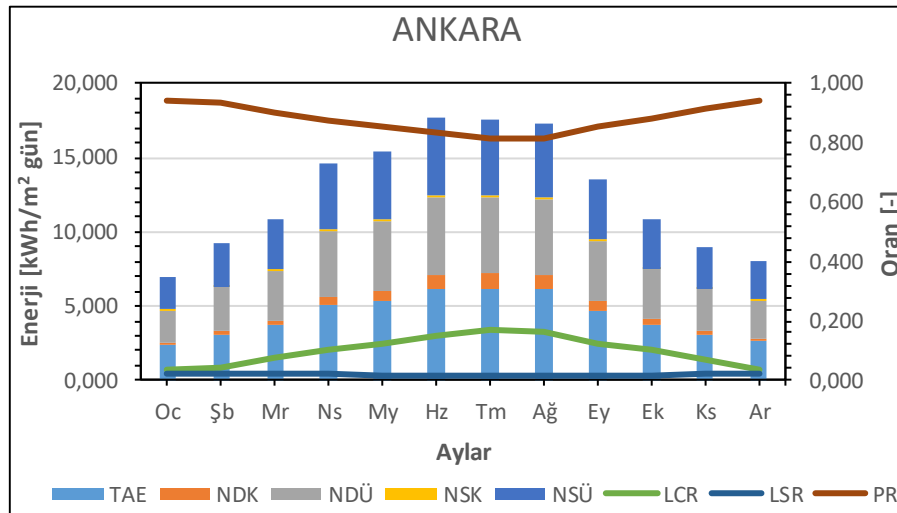
Ilımlı ve kuru iklim bölgesinde yer alan Ankara ili için güneş ışınım miktarlarının ve ortalama sıcaklıkların aylara göre değişimi Şekil 6.11’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde Temmuz ayında ortalama dış ortam sıcaklığının 23,7 °C, yatay düzleme gelen global ışınımın 196,4 kWh/m<sup>2</sup> ve yatay düzleme gelen yayılı ışınımın 85,10 kWh/m<sup>2</sup> olarak en yüksek değerde olduğu görülmektedir. En düşük verilerin ise; yatay düzleme gelen global ışınımının 52,2 kWh/m<sup>2</sup>, yatay düzleme gelen yayılı ışınımın 23,8 kWh/m<sup>2</sup> ve dış ortam sıcaklığının 0,7 °C olarak Aralık ayında olduğu görülmektedir.



**Şekil 6.11** Ankara ili için yatay düzleme gelen global, yayılı ışınım ve dış ortam sıcaklığının aylara göre ortalama dağılımı.

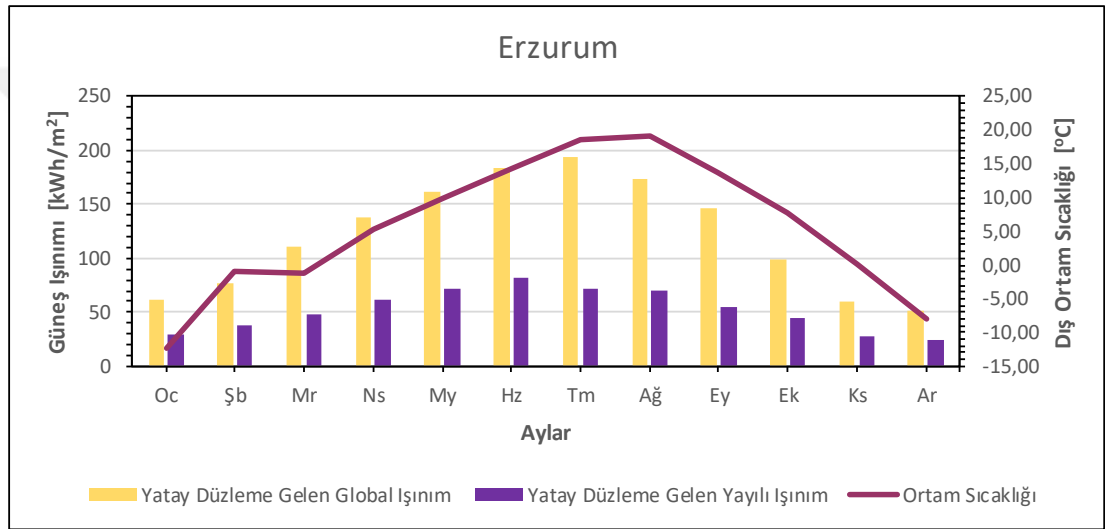
Şekil 6.12’de Ankara ili için aylara göre günlük ortalama üretilen enerjinin ve kayıpların değişimi ile birlikte performans oranları verilmiştir. Verilerin en düşük olduğu Aralık ayına bakıldığında; toplayıcının anlık enerjisinin 2,69 kWh/m<sup>2</sup>.gün, NDÜ’nin 2,59 kWh/m<sup>2</sup>.gün ve NSÜ’nin ise 2,53 kWh/m<sup>2</sup>.gün olduğu görülmektedir. Buna mukabil bu ay için sistem kayıpları incelenirse; NDK’nın 0,103 kWh/m<sup>2</sup>.gün, NSK’nın 0,056 kWh/m<sup>2</sup>.gün olarak en düşük değerde seyrettiği görülmektedir. Gerçekleşen dizi kayıplarının, anlık enerjiye oranı (LCR)’nin 0,038 olduğu ve sistem kayıplarının, anlık enerjiye oranı (LSR)’nin ise 0,021 olduğu görülmektedir. Bu değerlere bağlı olarak öngörülen sistemin performans oranının ise Aralık ayı için yaklaşık % 94 olduğu tespit edilmiştir.

Üretim miktarının en yüksek olduğu ay olan Temmuz ayı incelediğinde; toplayıcının anlık enerjisinin (TAE) 6,19 kWh/m<sup>2</sup>.gün olduğu, dizilerde gerçekleşen üretimin (NDÜ) 5,14 kWh/m<sup>2</sup>.gün olduğu ve son olarak da sistem üretiminin (NSÜ) ise 5,030 kWh/m<sup>2</sup>.gün olduğu Şekil 6.12’den anlaşılmaktadır. Diğer taraftan sistem kayıpları incelenirse; dizi kayıplarının (NDK) 1,047 kWh/m<sup>2</sup>.gün olduğu, sistem kayıplarının (NSK) 0,107 kWh/m<sup>2</sup>.gün olduğu görülmektedir. Gerçekleşen dizi kayıplarının, anlık enerjiye oranı (LCR)’nin 0,169 olduğu ve sistem kayıplarının, anlık enerjiye oranı (LSR)’nin ise 0,017 olduğu belirlenmiştir. Buna bağlı olarak öngörülen sistemin performans oranının (PR) ise yaklaşık % 82 civarında seyrettiği görülmektedir.



Şekil 6.12 Ankara ili için birim metrekare panel alanı için aylara göre günlük ortalama kayıp/üretim miktarları ve performans oranları.

Soğuk iklim bölgesinde yer alan Erzurum ili için güneş ışınım miktarlarının ve ortalama sıcaklıkların aylara göre değişimi Şekil 6.13’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde Temmuz ayında ortalama dış ortam sıcaklığının 18,72 °C, yatay düzleme gelen global ışınımın 193,5 kWh/m<sup>2</sup> ve yatay düzleme gelen yayılı ışınımın 72,36 kWh/m<sup>2</sup> olarak en yüksek değerde olduğu görülmektedir. En düşük verilerin ise; yatay düzleme gelen global ışınımının 50,9 kWh/m<sup>2</sup>, yatay düzleme gelen yayılı ışınımın 24,63 kWh/m<sup>2</sup> ve dış ortam sıcaklığının -8 °C olarak Aralık ayında olduğu görülmektedir.

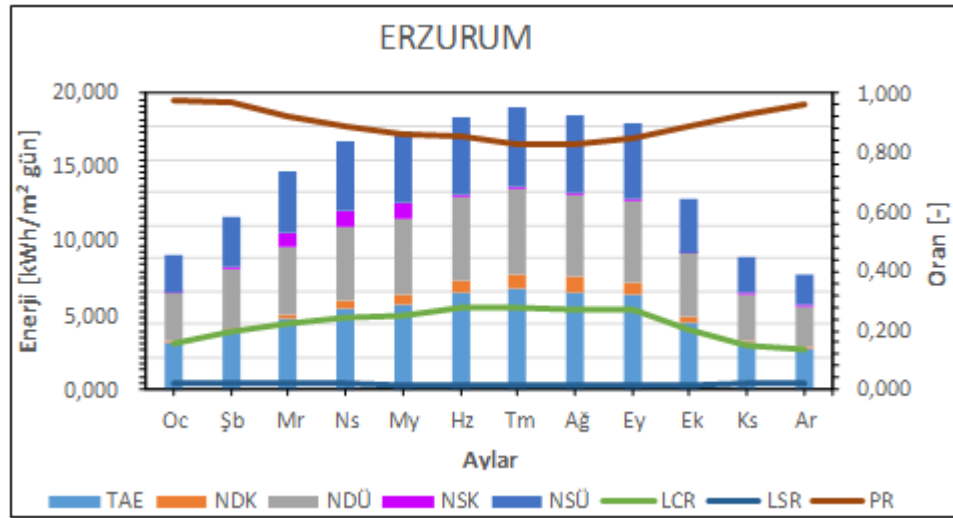


**Şekil 6.13** Erzurum ili için yatay düzleme gelen global, yayılı ışınım ve dış ortam sıcaklığının aylara göre ortalama dağılımı.

Şekil 6.14’de Erzurum ili için aylara göre günlük ortalama üretilen enerjinin ve kayıpların değişimi ile birlikte performans oranları verilmiştir. Verilerin en düşük olduğu Aralık ayına bakıldığında; toplayıcının anlık enerjisinin 2,54 kWh/m<sup>2</sup>.gün, NDÜ’nin 2,50 kWh/m<sup>2</sup>.gün ve NSÜ’nin ise 2,44 kWh/m<sup>2</sup>.gün olduğu görülmektedir. Buna mukabil bu ay için sistem kayıpları incelenirse; NDK’nın 0,039 kWh/m<sup>2</sup>.gün, NSK’nın 0,056 kWh/m<sup>2</sup>.gün olarak en düşük değerde seyrettiği görülmektedir. Gerçekleşen dizi kayıplarının, anlık enerjiye oranı (LCR)’nin 0,015 olduğu ve sistem kayıplarının, anlık enerjiye oranı (LSR)’nin ise 0,022 olduğu görülmektedir. Bu değerlere bağlı olarak öngörülen sistemin performans oranının ise Aralık ayı için yaklaşık % 96,3 olduğu tespit edilmiştir.

Üretim miktarının en yüksek olduğu ay olan Temmuz ayı incelendiğinde; toplayıcının anlık enerjisinin (TAE) 6,09 kWh/m<sup>2</sup>.gün olduğu, dizilerde gerçekleşen üretimin

(NDÜ) 5,16 kWh/m<sup>2</sup>.gün olduğu ve son olarak da sistem üretiminin (NSÜ) ise 5,05 kWh/m<sup>2</sup>.gün olduğu Şekil 6.14'den anlaşılmaktadır. Diğer taraftan sistem kayıpları incelenirse; dizi kayıplarının (NDK) 0,93 kWh/m<sup>2</sup>.gün olduğu, sistem kayıplarının (NSK) 0,109 kWh/m<sup>2</sup>.gün olduğu görülmektedir. Gerçekleşen dizi kayıplarının, anlık enerjiye oranı (LCR)'nin 0,153 olduğu ve sistem kayıplarının, anlık enerjiye oranı (LSR)'nin ise 0,018 olduğu belirlenmiştir. Buna bağlı olarak öngörülen sistemin performans oranının (PR) ise yaklaşık % 82,9 civarında seyrettiği görülmektedir.



**Şekil 6.14** Erzurum ili için birim metrekaare panel alanı için aylara göre günlük ortalama kayıp/üretim miktarları ve performans oranları.

Aynı enlem üzerinde bulunan ancak farklı iklim bölgelerinden seçilen pilot iller ile yapılan karşılaştırma sonucunda ise en fazla enerji üretiminin olduğu il Yozgat olduğu açıkça görülmektedir. Bunun sebebi ise kurulu sistemin tüm özelliklerinin (eğim açısı, panel yerleşimi ve panel özellikleri vb. ) seçilen pilot illere göre değerlendirilmesi olmuştur. Elde edilen sonuçlara göre farklı iklim bölgelerinde yer alan sistemin uygun eğim açısı, yerleşim düzeni ve panel özellikleri dikkate alındığında istenilen enerji miktarını elde etmek mümkün olacağı kanaati hâsıl olmuştur.



## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmamda Yozgat ilinde Çalatlı Mevkiinde 1MW kurulu güce sahip Güneş Enerjisi Santrali'nden alınan gerçek veriler ile PVsyst programının koşturulması sonucu elde edilen verilerin karşılaştırılması olarak analizi yapılmış ve kurulu sistemin performansı incelenmiştir. Bunun yanında Yozgat ili ile aynı enlemde bulunan illere ait (Erzurum, Ankara ve Çanakkale) PVsyst programı sonuçları elde edilmiş ve Yozgat ili sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmadan elde edilen bulgular incelendiğinde;

- Ocak ayında 0,943 değeri ile en yüksek performans oranına ulaşılırken; Ağustos ayında ise 0,816 değeri ile en düşük performans oranı gerçekleşmiştir. Ağustos ayında LCR oranı 0,166 iken, yine bu ayda LSR oranının ise 0,018 değerindedir. Ocak ayında ise LCR oranı 0,035 iken, yine bu ayda LSR oranı ise 0,021 değerinde seyretmektedir.
- Ağustos ayında şebekeye verilen en yüksek enerji miktarının saat 12:00 da 26 MWh olduğu; bu saatte ortalama hava sıcaklığın en yüksek MAÇS = 19,6 °C ve PAÇS = 22,3 °C değerlerinde bulunduğu ve sıcaklığa bağlı olarak bağıl nemin en düşük % 56 değerinde seyrettiği görülmektedir.
- Kurulu bulunan sistemde 2018 yılı boyunca 1859 MWh enerji üretilirken, PVsyst simülasyon programı çıktısına bakıldığında sistemin 1851 MWh enerji üreteceği öngörülmüştür.
- Üretim miktarı, güneşlenme süresinin en fazla olduğu Ağustos ayında 220,596 MWh olarak gerçekleşirken, aynı ay için programdan 202 MWh olarak üretileceği hesaplanmıştır. Sistemden üretilen enerji miktarının en düşük olduğu ay ise; 93,152 MWh ile Aralık ayı olup, bu ay için programdan alınan elektrik enerjisi miktarının yaklaşık 63,3 MWh olduğu belirtilmiştir.
- Kurulu sistemden şebekeye verilen en yüksek enerji miktarının Ağustos ayında 208,13 MWh olduğu görülürken, en düşük değere ise Aralık ayında 91,53 MWh ile ulaşılmıştır.
- Kurulu alanda bulunan santralin bilgisayar programı sonuçlarına bakıldığında; sistemde en fazla gerçekleşen kayıplar toplamı 223,81 MWh ile Ağustos

ayında olurken, en düşük sistem kayıplar toplamı Aralık ayında 97,3 MWh olarak belirlenmiştir.

- Kurulu sistem özellikleri dikkate alınarak tasarlanan ve aynı enlemde yer alan ancak farklı iklim bölgelerinde bulunan pilot iller için (Erzurum, Ankara, Çanakkale) hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalara göre Yozgat ilinde % 86,65 performans oranı ile yıllık 1851 MWh, Erzurum'da % 88,32 performans oranı ile yıllık 1700 MWh, Ankara'da % 86,7 performans oranı ile yıllık 1612 MWh ve Çanakkale'de % 84,74 performans oranı ile yıllık 1588 MWh enerji üretileceği öngörülmektedir.

Simülasyon programından elde edilen sonuçlar ile gerçek sonuçların analizi bize ileride sistemin performans parametrelerinin nasıl değişeceğine dair fikir vermektedir. Türkiye gibi önemli güneş ışınımına sahip ülkemizin bu potansiyelini büyük bir fırsata çevireceği ve ileride yapılacak olan çalışmalarda performans artımı için gerekli çalışmaların yapılarak bu bilgilerin geliştirmelere ışık tutacağı öngörülmektedir. Bu nedenle bu çalışma, tasarım aşamasında olan PV sistemleri için, yapılan fizibilite çalışmalarına büyük katkı sağlayacaktır.

## 8. KAYNAKLAR

1. <https://evrimagaci.org/gunes-nedir-gunesi-ne-kadar-taniyoruz-8006> adresinden alındı
2. [http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g\\_enj\\_tekno.aspx](http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx) adresinden alındı
3. Cooper, P. (1969). The Absorption of Solar Radiation in Solar Stills. *Solar Energy*, 333-346.
4. Duffie, J., & Beckman, W. (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes*. New Jersey: Wiley.
5. Klein, S. (1977). Calculation of Monthly Average Insolation on Tilted Surfaces. *Solar Energy*, 325-329.
6. Bulut, D. D. (2009, Şubat 9-13). Güneş Enerjisi Isıl Uygulamaları. *Temiz Enerji Teknolojileri Kursu*. Gaziantep.
7. Miguel, A., Bilbao, J., Aguiar, R., Kambezidis, H., & Negro, E. (2001). Diffuse Solar Irradiation Model Evaluation in The North Mediterranean Belt Area. *Solar Energy*, 143-153.
8. Wong, L., & Chow, W. (2001). Solar radiation model. *Applied Energy*, 69:191-224.
9. Kılıç Demircan, A., & Gültekin, D. (2015, May 28-30). Binalarda Pasif ve Aktif Güneş Sistemlerinin İncelenmesi. *TÜBAV Bilim* (s. 36-51). ANKARA: 2. International Sustainable Buildings Symposium.
10. Zorer, G. (1995). 1995 ; Dersliklerde Edilgen Sistemle Isısal Konforun Sağlanmasında Tasar Ölçütü Olarak Bir Değerlendirme Yöntemi Oluşturulması. *Doktora Tezi* . İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi.
11. Ajder, A. (2011). Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemleri İçin Optimum Eğim Açısının Hesaplanması. İstanbul: YTÜ.
12. [http://benkoltd.com/suyapo/TemizEnerji/Gunes\\_Elektrik/gunes\\_enerji1.asp](http://benkoltd.com/suyapo/TemizEnerji/Gunes_Elektrik/gunes_enerji1.asp) adresinden alındı
13. <http://arkasolutions.com/infilesfaq.html> adresinden alındı
14. <https://www.enerjisistemlerimuhendisligi.com/gunes-pili-fotovoltaik-panel-nasil-calisir.html> adresinden alındı
15. <https://web.itu.edu.tr/~kaymak/PV.html> adresinden alındı
16. Gielen, D. (2012). Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series. *Irena*, 4-11.

17. Kıncay, P., Bekiroğlu, Y., & Yumurtacı, Y. Güneş Pilleri. *Fotovoltaik Piller*.
18. Roberts, S., & Guariento, N. (2009). *Building integrated photovoltaics : A Handbook*. Birkhäuser.
19. <http://solar.inventoturkiye.com/a-si-thin-film-solar-panel-a-si-ince-film-gunes-paneli/> adresinden alındı
20. <http://www.muhendisbeyinler.net/boya-duyarli-gunes-pilleri> adresinden alındı
21. Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi. (2013). *Karaman İli Enerji İhtisas Endüstri Bölgesi İlanına Yönelik Fizibilite Etüt Raporu*. Karaman: Karaman Bilim Sanayi Ve Teknoloji İl Müdürlüğü.
22. Efe, S. B., & Kocaman, B. (2017). Yenilenebilir Enerji Kaynaklı Hibrit Sistemin Fiziksel Olarak Gerçeklenmesi ve Analizi. *5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science* (s. 1471). Bakı: Academic Platform.
23. Yıldız, Ö. F., Yılmaz, M., & Çelik, A. (2019). Hava Limanlarında Fotovoltaik Sistemlerin Kullanılması. *ULIBTK'!) 22th Congress of Thermal Sciences and Technology*.
24. <http://solar.inventoturkiye.com> adresinden alındı
25. Türe, E. (2008). *Çatı Malzemesi Olarak Güneş Enerjisi Sistemleri*. İstanbul: 4. Ulusal Çatı & Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler” Sempozyumu.
26. <http://solarpowerauthority.com/solar-shingles-an-alternative-to-solar-panels/>, adresinden alındı
27. [www.pamsolar.com.tr](http://www.pamsolar.com.tr) adresinden alındı
28. [www.solaraccreditation.com](http://www.solaraccreditation.com). adresinden alındı
29. <http://www.strutchannelfittings.com> adresinden alındı
30. <http://solar.inventoturkiye.com/fotovoltaik-perde-duvar> adresinden alındı
31. <http://www.mutek.mu.edu.tr/> adresinden alındı
32. <https://timesofmalta.com/articles/view/near-zero-carbon-buildings.675689> adresinden alındı
33. <http://www.windandsun.co.uk/products/Solar-PV-Panels/Solarwatt-PV-Panels/Solarwatt-Frameless-Panels#.XcxZM1czbIU> adresinden alındı
34. <https://www.swr.de/swr2/wissen/solare-fensterlaeden/-/id=661224/did=15839086/nid=661224/116eio/index.html> adresinden alındı

35. [http://www.townzaun.com/11170\\_solar\\_balcony.html](http://www.townzaun.com/11170_solar_balcony.html) adresinden alındı
36. <http://solar.inventoturkiye.com/portfolio/fotovoltaik-aydinlatma-sistemleri/> adresinden alındı
37. Lugh, V., Massi Pavan, A., Quaia, S., & Sulligoi, G. (2008). Economical Analysis and Innovative Solutions for Grid Connected PV Plants. *International Symposium on Power Electronics* (s. 211 - 216). Speedham: IEEE.
38. Bellini, A., & Bifaretti, S. (2009). Simplified model of a photovoltaic module. *Electronics* (s. 3–7). AE: IEEE.
39. Campbell, M., Blunden, J., Smeloff, E., & Aschenb, P. (2009). Minimizing utility-scale PV power plant leveled cost of energy using high- capacity factor configurations. *2009 34th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)* (s. 421–426). Philadelphia: IEEE.
40. Doolla, S., & Banerjee, R. (2010). Diffusion of grid-connected PV in India: An analysis of variations in capacity factor. *35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference* (s. 2349-2352). Honolulu: IEEE.
41. Cristaldi, L. e. (2012). A simplified model of photovoltaic panel. *2012 IEEE I2MTC -International Instrumentation and Measurement Technology Conference, Proceedings* (s. 431-436). IEEE.
42. Stridh, B. (2012). Evaluation of economical benefit of cleaning of soiling and snow in PV plants at three European locations. *38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference* (s. 1448-1451). Austin: IEEE.
43. Yu, Y., & Fthenakis, V. (2013). Analysis of the potential for a heat island effect in large solar farms. *2013 IEEE 39th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)* (s. 3362-3366). Tampa: IEEE.
44. Fezzani, A., Mahammed, I. H., & Said, S. (2014). MATLAB-based modeling of shading effects in photovoltaic arrays. *2014 15th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA)* (s. 781-787). Hammamet: IEEE.
45. Chu, Y. U. (2014). Short-term reforecasting of power output from a 48 MWe solar PVplant . *Solar Energy*, 68- 77.
46. Irwanto, M. et al. (2014). Analysis simulation of the photovoltaic output performance. *Proceedings of the 2014 IEEE 8th International Power Engineering and Optimization Conference* (s. 477-481). PEOCO: IEEE.
47. Gostein, M., Caron, J. R., & Littmann, B. (2014). Measuring soiling losses at utility-scale PV power plants. *2014 IEEE 40th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)* (s. 885–890). Denver: IEEE.

48. Bayeh, C. Z., & Moubayed, N. (2014). Comparison between PV farms, solar chimneys and CSP towers in Lebanon: Influence of temperature and solar irradiance on the output power. *International Conference on Renewable Energies for Developing Countries 2014* (s. 211-216). Beirut: IEEE.
49. Sowe, S. K. (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* (s. 389-398). IEEE.
50. Guo, B., Javed, W., Figgis, B. W., & Mirza, T. (2015). Effect of dust and weather conditions on photovoltaic performance in Doha, Qatar. *2015 First Workshop on Smart Grid and Renewable Energy (SGRE)* (s. 1-6). Doha: IEEE.
51. Giglmayr, S., Brent, A., Gauché, P., & Fechner, H. (2015). Utility-scale PV power and energy supply outlook for South Africa in 2015. *Renewable Energy*, 779-785.
52. Pietruszko, S. M., Fetlinski, B., & Bialecki, M. (2009). Analysis of the performance of grid connected photovoltaic system. *2009 34th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)* (s. 48-51). Philadelphia: IEEE.
53. Hasimah, A., Khalid, M., & Mohammad, Y. (2009). Assessment of PV Cell Performance Under Actual\Malaysia Operating Condition. *Assessment of PV Cell Performance Under Actual\Malaysia Operating Condition* (s. 1-5). Adelaide: IEEE.
54. 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)* (s. 1-6). Hobart: IEEE.
55. Singh, S., Kumar, R., & Vijay, V. (2014). Performance monitoring of 43 kW thin-film grid-connected roof-top solar PV system. *2014 IEEE 6th India International Conference on Power Electronics (IICPE)* (s. 1-5). Kurukshetra: IEEE.
56. Tang, R., & Liu, X. (2010). Installation design of solar panels with seasonal adjustment of tilt angles. *APPEEC*.
57. 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. *2011 37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference* (s. 1994-1999). Seattle: IEEE.
58. Yadav, P., Kumar, N., & Chandel, S. (2015). Simulation and performance analysis of a 1kWp photovoltaic system using PVsyst. *2015 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC)* (s. 358-363). Chennai: IEEE.

59. Jianping, S. (2011). An optimum layout scheme for photovoltaic cell arrays using PVSYST. *2011 International Conference on Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer (MEC)* (s. 243-245). Jilin: IEEE.
60. Lakshmi, M. V., babu, C. S., & Prasad, G. S. (2012). Design of off-grid homes with Renewable energy sources. *IET Chennai 3rd International on Sustainable Energy and Intelligent Systems (SEISCON 2012)* (s. 297-303). Tiruchengode: IEEE.
61. Skoplaki, E., & Palyvos, J. (2009). On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations. *Solar Energy*, 614-624.
62. Collares-Pereira, M., & Rabl, A. (1979). The average distribution of solar radiation-correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values. *Solar Energy*, 155-164.
63. Hay, John E., (1976). A revised method for determining the direct and diffuse components of the total short-wave radiation. *Atmosphere*, 278-287.
64. [http://geography.humanity.ankara.edu.tr/turkiye-iklim-arastirmalari/adresinden alindi](http://geography.humanity.ankara.edu.tr/turkiye-iklim-arastirmalari/adresinden%20alindi)
65. [http://makale.eceylan.com/1-mva-gunes-enerji-santrali-kurulum-asamalari/adresinden alindi](http://makale.eceylan.com/1-mva-gunes-enerji-santrali-kurulum-asamalari/adresinden%20alindi)
66. [https://www.pvsyst.com/help/ adresinden alindi](https://www.pvsyst.com/help/)

## ÖZGEÇMİŞ

1992 yılında Erzurum’da doğan Mehmet YILDIZ, “ilk, orta ve lise ” öğrenimini sırasıyla Horasan Fatih İlkokulu, Horasan Kurtuluş Ortaokulu ve başladığı Erzincan Anadolu Lisesi eğitimini, İstanbul Sultangazi Atatürk Lisesinde tamamlamıştır. 2012 yılında kazandığı Bozok Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü tamamlayıp aynı yıl yüksek lisans eğitimine Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında başlamıştır.

2016 yılından beri TSE Yozgat Temsilciliği bünyesinde Makine Mühendisi olarak çalışmaya devam etmektedir.

### **İletişim Bilgileri**

Adres: TSE Yozgat Temsilciliği Karatepe Mah. H. Ahmet Yesevi Cad. NO:57

66100/YOZGAT

Telefon: (354) 2121030 (Dahili:7910)

E-posta: mmhmtlydz@gmail.com