

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KAYSERİ ŞARTLARINDA ÇATI TİPİ BİR FOTOVOLTAİK  
SİSTEMİN ENERJİ ÜRETİM DEĞERLERİNİN İNCELENMESİ VE  
MALİYET ANALİZİ**

**KAAN TAŞDAN**

**KOCAELİ 2023**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KAYSERİ ŞARTLARINDA ÇATI TİPİ BİR FOTOVOLTAİK**  
**SİSTEMİN ENERJİ ÜRETİM DEĞERLERİNİN**  
**İNCELENMESİ VE MALİYET ANALİZİ**

**KAAN TAŞDAN**

**Doç. Dr. Özcan ATLAM**

**Danışman, Kocaeli Üniv.**

.....

**Prof. Dr. Fatma Çanka KILIÇ**

**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.**

.....

**Prof. Dr. Gamze GENÇ**

**Jüri Üyesi, Erciyes Üniv.**

.....

**Tezin Savunulduğu Tarih: 10.07.2023**

## ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmada,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler

..... tarafından ..... no'lu proje

kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....  
(İmza)

Kaan TAŞDAN

## YAYINLAMA VE MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki makale, kitap, tebliğ, lisans, patent gibi çalışmalarda kullanımı, danışmanımın isim hakkı saklı kalmak koşuluyla ve her iki tarafın bilgisi dâhilinde bana ait olacaktır.

Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan **“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.

Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.

Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

.....

(İmza)

Kaan TAŞDAN

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Hızlı nüfus artışı, artan sanayileşme ve kentleşme ile birlikte enerji ihtiyacı düzenli bir şekilde artmaktadır. Enerji talebinin büyük kısmını karşılayan geleneksel fosil kaynakların çevre ve doğaya verdiği zararlar enerjide kaynak çeşitliliğini zorunlu kılmıştır. Bu noktada sürdürülebilir bir yaşam için temiz enerji kaynakları hayati bir öneme sahiptir. Sanayi, enerji tüketiminin en yoğun olduğu sektörlerden biridir. Sanayide enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması; fosil yakıt kullanımını azaltarak sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde düşürmektedir. Bu çalışmada Kayseri’de bulunan bir fabrikanın elektrik tüketiminin çatı tipi güneş enerjisi sistemi ile karşılanması ele alınmıştır.

Bu çalışma sürecinde vaktini ve engin bilgilerini benden esirgemeyen, değerli danışman hocam Doç. Dr. Özcan ATLAM’a, tez süresince bilgi birikimi ve desteğini sürekli yanımda hissettiğim Dr. Öğr. Üyesi Selman ÇAĞMAN’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışma boyunca beni bir an olsun yalnız bırakmayıp maddi-manevi bütün desteklerini esirgemeyen kıymetli aileme şükranlarımı sunarım.

Mayıs-2023

Kaan TAŞDAN

## İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ.....	i
YAYINLAMA VE MÜLKİYET HAKLARI .....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	ix
ÖZET .....	xi
ABSTRACT .....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	3
3. GÜNEŞ ENERJİSİ.....	9
3.1. Dünyada Güneş Enerjisi .....	10
3.2. Türkiye’de Güneş Enerjisi .....	12
4. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER .....	17
4.1. Fotovoltaik Tanımı ve Tarihi .....	17
4.2. Fotovoltaik Hücre ve Çalışma İlkesi.....	18
4.3. Fotovoltaik Hücre Çeşitleri.....	19
4.3.1. Kristal Silisyum Fotovoltaik Hücreler.....	19
4.3.2. İnce Film Fotovoltaik Hücreler .....	22
4.4. Fotovoltaik Sistem Bileşenleri.....	22
4.4.1. Fotovoltaik Paneller.....	23
4.4.2. Akü .....	25
4.4.3. İnverter (Evirici).....	25
4.4.4. Şarj Kontrol Cihazı.....	27
4.5. Fotovoltaik Sistem Bağlantı Türleri .....	29
4.5.1. On-Grid (Şebekeye Bağlı) Fotovoltaik Sistemler .....	29
4.5.2. Off-Grid (Şebeke Bağlantısız) Fotovoltaik Sistemler .....	30
5. MATERYAL VE METOD .....	31
5.1. PVsyst Yazılımı .....	31
5.2. Endüstriyel Çatı Tipi Fotovoltaik Sistem Tasarımı .....	34
5.2.1. PVsyst Aracılığı ile Coğrafi Konum ve Meteorolojik Değerlerin Belirlenmesi.....	34
5.2.2. Panel Yönelimleri, Eğim Açısı ve Azimut Açılarının Belirlenmesi .....	36
5.2.3. Fotovoltaik Panel ve Eviricinin PVsyst Programına Tanımlanması .....	38
5.2.4. Endüstriyel Çatı GES Uygulamasının 3D Çizimi .....	41
5.3. Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliğinin İncelenmesi.....	42
6. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	46
6.1. PVsyst Simülasyon Sonucuna Göre Şebekeye Bağlı FV Sistemin Performans Analizi .....	46
6.2. Endüstriyel Çatı GES Gerçek Üretim Değerleri.....	50
6.3. PVsyst Simülasyon Sonucunda Elde Edilen Tahmini Üretim Değerleri .....	51
6.4. Sistemin Ekonomik Değerlendirilmesi.....	53
6.4.1. Sistemin Yatırım Değeri ve İşletme Gideri .....	53
6.4.2. Ekonomik Analiz Sonuçları .....	54
6.5. Karbon Salınım Değerleri.....	56

7. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	57
KAYNAKLAR.....	60
EKLER .....	66
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	74
ÖZGEÇMİŞ.....	75



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Dünyada 2010-2020 yılları arası güneş enerjili termal sistemlerin kapasite değişimi .....	11
Şekil 3.2. 2010-2020 yılları arasında dünyada kurulu FV güç değerleri .....	11
Şekil 3.3. Avrupa'nın güneş enerjisi potansiyel haritası .....	12
Şekil 3.4. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli atlası .....	13
Şekil 3.5. Türkiye'nin aylık güneş radyasyon değerleri .....	13
Şekil 3.6. Türkiye'nin aylık güneşlenme süreleri .....	14
Şekil 3.7. Türkiye'nin elektrik üretiminin enerji kaynak bazında dağılımı, 2021 yılı .....	15
Şekil 3.8. Türkiye'nin güneş enerjisi üretiminin yıllık bazda değişimi .....	16
Şekil 3.9. Türkiye'de güneş enerjisinin toplam elektrik üretimi içindeki payının yıllara göre değişimi .....	16
Şekil 4.1. Üretilen ilk modern güneş hücresi .....	17
Şekil 4.2. Fotovoltaik hücre yapısı ve çalışma şekli .....	19
Şekil 4.3. Kristal silisyum fotovoltaik hücre üretim aşamaları .....	20
Şekil 4.4. Farklı geometrilere sahip monokristal fotovoltaik hücreler .....	21
Şekil 4.5. Polikristal fotovoltaik hücre .....	21
Şekil 4.6. İnce film fotovoltaik hücre .....	22
Şekil 4.7. Fotovoltaik sistem bileşenleri .....	23
Şekil 4.8. Güneş pili, modül ve dizi .....	23
Şekil 4.9. Fotovoltaik panel yapısı .....	24
Şekil 4.10. Şebekeye bağlı (on-grid) fotovoltaik sistemler için evirici .....	26
Şekil 4.11. Şebekeden bağımsız (off-grid) fotovoltaik sistemler için evirici .....	27
Şekil 4.12. MPPT şarj kontrol cihazı .....	28
Şekil 4.13. Şebekeye bağlı fotovoltaik sistem .....	30
Şekil 4.14. Şebeke bağlantısız fotovoltaik sistem .....	30
Şekil 5.1. PVsyst V7.2 programının açılış ekranı .....	32
Şekil 5.2. PVsyst programı şebekeye bağlı proje yönetim sayfası .....	33
Şekil 5.3. PVsyst programında tesisin konumunun belirlenmesi .....	34
Şekil 5.4. PVsyst programı üzerinde alınan bölgenin meteorolojik verileri .....	35
Şekil 5.5. GEPA'ya göre bölgenin aylık ışınım şiddetleri .....	35
Şekil 5.6. Ön tarafta kalan panellerin azimut değerlerinin belirlenmesi .....	36
Şekil 5.7. Arka tarafta kalan panellerin azimut değerlerinin belirlenmesi .....	37
Şekil 5.8. Alan tipi, azimut açısı ve eğimin program arayüzünde tanımlanması .....	37
Şekil 5.9. PVsyst arayüzünde modül ve evirici tanımlama sayfası .....	38
Şekil 5.10. Panelin elektriksel değerlerinin programa girilmesi .....	39
Şekil 5.11. Panelin mekaniksel değerlerinin programa girilmesi .....	40
Şekil 5.12. Panelin sıcaklık katsayılarının programa girilmesi .....	40
Şekil 5.13. Tasarlanan sistem bileşenlerinin PVsyst arayüzünde tanımlanması .....	41
Şekil 5.14. PVsyst simülasyon programı modelleme sayfası .....	41
Şekil 5.15. Endüstriyel çatı GES uygulamasının 3D çizimi .....	42
Şekil 5.16. Lisanssız elektrik üretimi başvuru bilgi ve belgeleri .....	43
Şekil 5.17. Lisanssız elektrik üretimi başvuruları için yol haritası .....	43
Şekil 5.18. 01/01/2021 tarihinden itibaren uygulanacak nihai tarife tablosu .....	45

Şekil 6.1. Aylık üretim ve kayıp miktarları .....	46
Şekil 6.2. Referans verimin aylık dağılımı .....	47
Şekil 6.3. Nihai verimin aylık dağılımı .....	47
Şekil 6.4. Sistemin aylık performans oranının değişimi ve ortalama yıllık değeri .....	48
Şekil 6.5. Sistemin enerji kayıp diyagramı.....	49
Şekil 6.6. GES santrali gerçek üretim değerleri .....	51
Şekil 6.7. GES santrali öngörülen üretim değerleri.....	51
Şekil 6.8. Kurulum ve işletme maliyetlerinin PVsyst arayüzünde tanımlanması .....	54
Şekil 6.9. Sistemin ekonomik analiz sonuçları.....	54
Şekil 6.10. Yıllık nakit akışı .....	55
Şekil 6.11. Yıllara göre birikmiş nakit akışı.....	55
Şekil 6.12. Gider dağılımı .....	56
Şekil 6.13. Karbon salınımının zamana göre değişim grafiği .....	56



## TABLolar DİZİNİ

Tablo 3.1. Dünyada kurulu FV sistem kapasitesi en fazla olan ülkeler .....	12
Tablo 3.2. Türkiye'nin güneşlenme potansiyelinin bölgesel olarak dağılımı .....	14
Tablo 3.3. 2021 yılında Türkiye'de bulunan elektrik enerjisi üretim tesislerinin kaynak bazında adet ve kurulu güç dağılımı.....	16
Tablo 5.1. Kullanılan FV panelin verileri.....	39
Tablo 6.1. Simülasyon sonucu elde edilen aylık ve yıllık ışıma, enerji ve sıcaklık değerleri.....	48
Tablo 6.2. Santral Üretim Değerleri Kıyaslaması .....	52
Tablo 6.3. GES yatırım maliyeti.....	53



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

\$	: Dolar
°C	: Santigrat derece
Ah	: Amper saat
GW	: Cigawatt
GWth	: Cigawatt-termal
kWh	: Kilowatt saat
kWp	: Kilowatt peak
m <sup>2</sup>	: Metrekare
MW	: Megawatt
tCO <sub>2</sub>	: Ton karbondioksit
TL	: Türk Lirası
TWh	: Terawatt saat
W	: Watt

### Kısaltmalar

3D	: Üç Boyutlu Çizim
AC	: Alternating Current (Alternatif Akım)
AG	: Alçak Gerilim
AM	: Air Mass (Hava Kütlesi)
BAPV	: Binaya Eklemeli Fotovoltaik Sistem
BIPV	: Binaya Entegre Fotovoltaik Sistem
CdTe	: Kadmiyum Tellürid
CO <sub>2</sub>	: Karbondioksit
CSP	: Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi Sistemleri
DC	: Direct Current (Doğru Akım)
E <sub>dizi</sub>	: Dizilerden Üretilen Enerji
E <sub>şebeke</sub>	: Şebekeye Aktarılan Enerji
EVA	: Etil Vinil Asetat
FV	: Fotovoltaik
GEPA	: Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
GES	: Güneş Enerjisi Santrali
GSR	: Global Status Report (Küresel Yenilenebilir Enerji Raporu)
IEA	: International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
M.Ö.	: Milattan Önce
MPPT	: Maximum Power Point Tracking (Maksimum Güç Noktası İzleyicisi)
NASA	: National Aeronautics and Space Administration (Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi)
NO	: Azot Monoksit
OG	: Orta Gerilim
PET	: Polietilen Tereftalat
PWM	: Pulse Width Modulation (Darbe Genişlik Modülasyonu)
REN21	: Uluslararası Yenilenebilir Enerji Politika Ağı
SO <sub>2</sub>	: Kükürt Dioksit
STK	: Standart Test Koşulları

TEP : Ton Eşdeğer Petrol  
vd. : Ve Diğerleri  
Y<sub>f</sub> : Nihai Verim  
Y<sub>r</sub> : Referans Verim



# KAYSERİ ŞARTLARINDA ÇATI TİPİ BİR FOTOVOLTAİK SİSTEMİN ENERJİ ÜRETİM DEĞERLERİNİN İNCELENMESİ VE MALİYET ANALİZİ

## ÖZET

Günümüzde elektrik enerjisi modern hayatın vazgeçilmez bir unsuru haline gelmiştir. Dünyanın elektrik ihtiyacının büyük bir kısmı yenilenemez enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Bu kaynakların kısa bir gelecekte tükenecek olması, çevre ve insan sağlığı üzerinde oluşturduğu olumsuz etkiler, elektrik üretimi için çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarının giderek daha fazla talep görmesine neden olmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan Güneş, Dünya'nın sonsuz enerji kaynağıdır. Türkiye, güneş enerjisi potansiyeli bakımından Dünya'nın en zengin bölgeleri arasında yer almaktadır. Buna rağmen güneş enerjisi alanında FV (Fotovoltaik) sistem özelinde yapılan yatırımların yetersiz olduğu yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur. Bu nedenle yapılan bu çalışmada FV sistemler üzerinde yoğunlaşmış, ülkenin güneş enerjisi potansiyeli yüksek ve aynı zamanda sanayi şehirlerinden biri olan Kayseri'de örnek bir endüstriyel çatı tipi güneş enerjisi santrali ele alınmıştır. Bu kapsamda Mimar Sinan Organize Sanayi Bölgesi'nde Ocak 2021'de enerji üretimine başlayan 1620 kWp kurulu güçteki FV sistemin benzetimi PVsyst simülasyon programı ile gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonucunda FV sistemin performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Sistemde oluşan kayıplar incelenmiş ve sistemden öngörülen üretim miktarları belirlenmiştir. Bu değerler sayaçlardan alınan gerçek zamanlı üretim miktarları ile kıyaslanmıştır. Sonuç olarak simülasyon sonucu ve gerçekte oluşan üretim miktarlarının benzer olduğu gözlenmiştir. Bu bağlamda kurulacak endüstriyel uygulamalı güneş enerjisi santrallerinin ön hazırlık çalışmalarında faydalı olabilecek bir çalışma olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca yapılan maliyet analizine göre üretilen enerjinin değeri 0,055 \$/kWh ve proje yatırımının geri dönüş periyodu 3,6 yıl olarak bulunmuştur. Bunun yanında santralin yıllık 866,11 ton, tüm ömrü boyunca toplam 21.652,79 ton karbon salınımını önleyeceği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Elektrik Enerjisi, Fotovoltaik Sistem, Güneş Enerjisi Santrali, PVsyst.

# INVESTIGATION AND COST ANALYSIS OF THE ENERGY GENERATION VALUES OF A ROOF TYPE PHOTOVOLTAIC SYSTEM IN KAYSERİ CONDITIONS

## ABSTRACT

Today, electrical energy has become an indispensable element of modern life. Most of the world's electrical needs are met by non-renewable sources. These resources will be depleted in the short future, and their negative effects on the environment and human health have caused an increasing demand for environmentally friendly renewable energy sources for electricity production. The Sun, a renewable energy source, is the endless energy source of the Earth. Turkey is amongst the richest regions of the world in terms of solar energy potential. Despite this, it has been demonstrated by studies that the investments made in the field of solar energy specific to the PV (Photovoltaic) system are insufficient in Turkey. For this reason, in this study, focused on PV systems, an exemplary industrial roof type solar power plant in Kayseri, which is one of the industrial cities of the country with high solar energy potential, is discussed. In this context, the simulation of the PV system with an installed power of 1620 kWp, which started energy production in Mimar Sinan Organized Industrial Zone in January 2021, was carried out with the PVsyst simulation program. As a result of the simulation, evaluation of the performance of the PV system was made. The losses in the system were examined and the production amounts predicted from the system were determined. These values are compared with the real-time production quantities taken from the meters. As a result, it has been observed that the production quantities obtained as a result of simulation and the real-time production values are close to each other. In this context, it has been concluded that there is a study that can be useful in the feasibility studies of industrial applied solar power plants to be established. In addition, according to the cost analysis, the energy unit price was found to be 0,055 \$/kWh and the investment payback period was 3,6 years. In addition, it has been determined that the power plant will prevent 866,11 tons of carbon emissions per year and a total of 21,652.79 tons of carbon emissions throughout its lifetime.

**Keywords:** Electrical Energy, Photovoltaic System, Solar Power Plant, PVsyst.

## 1. GİRİŞ

Enerji, bir cisim veya sistemin iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanır. İnsanlık tarihi boyunca günlük yaşamın sürdürülebilmesi için enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmuştur. Yiyecek, su ve barınma gibi canlıların temel ihtiyaçları yanında aydınlatma, ısıtma, soğutma gibi işlemler enerji kavramı ile doğrudan ilintilidir. İnsanlar ateşi keşfederek ısınma ihtiyacını karşılamış, suyu kullanarak toprağı işleyip yiyeceklerini yetiştirmiş ve elektriği bularak hanelerini aydınlatmışlardır.

Elektrik, gündelik hayatta en sık kullanılan enerji kaynaklarından biridir. Elektrik enerjisinin üretiminde neredeyse bütün enerji kaynaklarının kullanılabilir olması, tüketim açısından kullanım kolaylığı sağlaması, kullanım alanının geniş olması ve çevreyi kirletmeyen bir enerji türü olması onu diğer kaynaklardan üstün kılmıştır (Tunalı ve Ulubaş, 2017). Şehir ve binaların aydınlatılması, ev aletleri, elektronik cihazlar, haberleşme araçları, makineler elektrik enerjisinin kullanım alanlarından bazılarıdır. Sanayi devrimi ile başlayan endüstrileşme süreci ile birlikte elektrik başta sanayi olmak üzere tarım, inşaat, sağlık, haberleşme, ulaşım gibi birçok sektörde kullanılagelmiştir. Günümüzde ise bilim ve teknolojiye yaşanan gelişmelerle birlikte elektrik enerjisi modern hayatın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir.

Hızlı nüfus artışı, kentleşme, sanayileşme ve teknolojiye yaşanan ilerleyişle birlikte dünyada elektrik tüketimi her geçen yıl artmaktadır. Dünyanın elektrik üretiminin büyük bir kısmı yenilenemez enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Yenilenemez enerji kaynakları fosil yakıtlar (kömür, petrol, doğal gaz) ve nükleer enerjiden oluşur. Bu kaynakların kısa bir gelecekte tükenecek olması, çevre ve insan sağlığı üzerinde oluşturduğu olumsuz etkiler enerjide kaynak çeşitliliği konusunu gündeme getirmiştir. Bu bağlamda çevre dostu, düşük maliyetli, kullanımı kolay, sürdürülebilir kaynaklar olan yenilenebilir enerji kaynakları fosil kaynaklara alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları; güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidrolik enerji, biyokütle enerjisi ve jeotermal enerjidir.

Dünyanın temel enerji kaynağı güneştir. Güneşin yaydığı ısı ve ışık kaynağına güneş enerjisi denir (Üçgül ve Elibüyük, 2017). Güneş enerjisinin şiddeti dünya atmosferinin dışında yaklaşık olarak  $1370 \text{ W/m}^2$  değerindedir. Bu değer tamamı atmosfer nedeniyle

yeryüzüne ulaşamaz. Ancak bu enerjinin küçük bir bölümü bile, tüm dünyanın enerji tüketimi ve gereksiniminden çok yüksektir. Güneş enerjisi alanındaki araştırmalar petrol krizinin yaşandığı 1970'li yıllardan itibaren artarak devam etmiştir. Bu çalışmalarla birlikte çevre dostu güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerlemiş, bakım-onarım maliyetleri düşmüş ve kullanım alanı genişlemiştir. (URL-1).

Güneş enerjisinden uygulanabilir formda enerji elde etmek için birçok teknoloji bulunmaktadır. Bunlardan biri olan fotovoltaik hücre teknolojisi güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Fotovoltaik hücre teknolojisi ile oluşturulan sistemlere fotovoltaik sistemler adı verilmektedir. Bir fotovoltaik sistem tasarlanırken coğrafi konum, arazi tipi, panel ve evirici başta olmak üzere sistem elemanlarının verimliliği gibi birçok önemli konu bulunmaktadır. Bunun için kurulum öncesinde sistemin hangi şartlarda verimli olacağını belirlemek adına bir ön çalışma yapılması çok önemlidir. Günümüzde gelişmiş simülasyon programları ile bu çalışmalar kolayca yapılabilmektedir. (Aksangör, 2019).

Bu tez çalışmasında Kayseri ili Mimar Sinan Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan bir fabrikanın elektrik tüketiminin fotovoltaik güneş enerjisi sistemi ile karşılanmasının istenmesi durumunda tasarlanacak sistemin teknik ve maliyet analizinin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda PVsyst simülasyon yazılımı kullanılmıştır. Sistemin coğrafi konumu PVsyst aracında belirtilerek bölgenin meteorolojik verileri, simülasyon yazılımında bulunan Meteororm veritabanı üzerinden sentetik olarak üretilmiştir. Fotovoltaik sistem tasarımı şebeke bağlantılı olacak şekilde program üzerinde yapılarak simülasyon sonuçları yorumlanmıştır. Bu bağlamda sistemin performans ve ekonomik değerlendirilmesi gerçekleştirilmiş, teorik üretim miktarı ile gerçek zamanlı üretim verileri karşılaştırılarak sistem kayıpları analiz edilmiştir.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu tez çalışmasında yapılacak olan çalışma için öncelikle güneş enerjili sistem uygulamaları konusunda hazırlanmış tez çalışmaları, makaleler, raporlar, duyurular, bildiriler ve araştırma yazıları incelenmiştir. Tez konusu özelinde daha önce yapılan çalışmalar incelenmiştir. Bu kapsamda ilk olarak PVsyst yazılımı kullanılarak yapılan çatı tipi fotovoltaik sistemler araştırılmıştır. Bunun yanında diğer simülasyon programları ile yapılan sistem tasarımları ve sistemlerin performans değerlendirmelerini kapsayan literatür taraması gerçekleştirilmiştir.

Yalçın yaptığı doktora tezinde; Ankara'da bulunan bir uygulama çiftliğinin güneş enerjisi potansiyelini araştırarak elde edilen bulgular eşliğinde tesise yapılacak olan en verimli FV sistemi PVsyst yazılımını kullanarak belirlemiştir (Yalçın, 2010).

Işık vd. yaptıkları çalışmalarında; İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Elektrik-Elektronik Fakültesi binalarının çatılarına kurulacak fotovoltaik sistemin teknik hesaplamalarını önce denklemlerle, sonra PV\*SOL yazılımını kullanarak hesaplamıştır. Ayrıca analitik hesaplamalarla bulunan enerji üretim değerleri ile benzetim sonucu farklı tasarım seçenekleri ile detaylı olarak hesaplanan üretim değerleri karşılaştırılarak hata oranları belirtilmiştir. Yüzey azimut açısının sıfır olduğu tasarım biçiminde enerji üretim değerinin en yüksek olduğu sonucuna varılmıştır (Işık ve diğ., 2015).

Reddy vd. yaptıkları çalışmalarında; Hindistan'da bulunan bir üniversite kampüs binasındaki kurulu 10 kWp güçteki çatı tipi GES sistemini incelemiştir. Bu çalışma okulun aydınlatma, klimalar, havalandırma sistemi ve laboratuvarında bulunan elektrikli makinelerin tüketim değerleri dikkate alınarak yapılmıştır. Kullanılan paneller, batarya grubu ve evirici özellikleri belirtilerek henüz kurulum aşamasında olan sistem tanıtılmıştır. Üniversitenin yenilenebilir enerji kaynaklarına desteğini sürdürerek gelecekte bu sistemi 100 kWp gücüne çıkarmayı hedeflediği belirtilmiştir (Reddy ve diğ., 2015).

Soualmia ve Chenni yaptıkları çalışmalarında; Cezayir'de bulunan 15 MW'lık şebekeye bağlı bir FV sistemin enerji performansını değerlendirmek için PVsyst yazılımını kullanmışlardır. Simülasyon sonucunda yıllık enerji üretimi 23.735 MWh, sistemin performans oranı %83,9 olarak bulunmuştur (Soualmia ve Chenni, 2016).

Ceylan yaptığı tez çalışmasında; İTÜ’de bulunan Enerji Enstitüsü binalarının çatılarına kurulacak olan şebeke bağlantısız bir fotovoltaiik sistem tasarımı ve benzetimi yapmıştır. PV\*SOL yazılımı kullanılarak yapılan benzetim sonucu fotovoltaiik sistemin %72,3 verimle çalışacağı ve sistem performans oranının %79,8 olarak hesaplanmıştır. Yıllık 88.642 kWh elektrik enerjisi üreten sistemin enstitünün yıllık elektrik tüketiminin %25’ini karşılayacağı ve enerjinin birim maliyetinin 0,95 TL/kWh olacağı bulunmuştur (Ceylan, 2018).

Dondariya vd. yaptıkları çalışmalarında; Hindistan’ın Ujjain bölgesindeki bir konutun çatı tipi FV sistemini incelemişlerdir. Şebekeye bağlı sistemin kurulu gücü 6,4 kWp olup 20 adet 320 W Mono-Kristal tipli panel kullanılmıştır. Modelleme ve simülasyon işleminde PV\*SOL, SolarGIS, PVGIS ve SISIFO gibi yazılımlar kullanılarak çıkan sonuçlar kıyaslanmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre yıllık şebekeye verilen elektriğin %85,30’u FV sistemden sağlanmaktadır. Sistemin performans oranı %75,01 olarak hesaplanmıştır. Şebekeden alınan yıllık elektrik miktarının FV sistemle %41,09 oranında azaldığı sonucuna varılmıştır (Dondariya ve diğ., 2018).

Majidzade yaptığı tez çalışmasında; Denizli’de bulunan 2,5 kW gücündeki şebeke bağlantılı bir FV sistemin tasarım ve uygulamasını gerçekleştirmiştir. Sistemin tasarımında MATLAB Simulink ve PV\*SOL Premium yazılımları kullanılmıştır. Yapılan benzetimin ardından sistemin kurulumu yapılmış, sistemin ürettiği enerji ve bu enerjinin kalitesine ait veriler gözlemlenerek şebekeye bağlı bir sistemin bütünleşmesi tüm mertebeleri ile gerçekleştirilmiştir (Majidzade, 2018).

Yücel yaptığı çalışmada; Denizli’de bulunan özel bir lisenin çatısına minimum işletme maliyetli bir GES kurulumunu modellemiştir. Bunun için HOMER yazılımı kullanılmıştır. Çalışmada 1, 5 ve 10 yıllık tüketim değerleriyle tasarlanan FV sistemden üretilmesi planlanan aynı sürelerdeki üretim değerleri kıyaslanıp gerekli analizler yapılmıştır. Sonuç olarak saatlik ortalama yük profillerine göre yapılan tasarımın sonuç değerleri ile HOMER yazılımının sonuç değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür (Yücel, 2018).

Aksangör yaptığı çalışmada; Ankara ilinde bulunan bazı kampüs binalarının elektrik ihtiyacının FV sistemle karşılanmasını ele almıştır. Bu kapsamda PVsyst yazılımı

kullanılarak şebeke bağlantılı bir sistem tasarımı ve benzetimi gerçekleştirilerek ilgili hesaplamalar yapılmıştır. Buna göre FV sistem kurulu gücü 604,8 kWh, yıllık üretilen enerji değeri 729,67 MWh, şebekeye verilen yıllık enerji miktarı 712,3 MWh, sistemin performans oranı ise %84,1 olarak bulunmuştur (Aksangör, 2019).

Bayrakçı ve Gezer yaptıkları çalışmalarında; Aydın ili Çine ilçesine kurulması planlanan 1 MW gücündeki güneş enerjisi santralini maliyet analizini çeşitli analiz yöntemleri ile gerçekleştirmişlerdir. Santralin enerji hesaplamaları PV\*SOL yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Kullanılacak malzeme ve panel seçimi, saha özellikleri ve bölge seçimi gibi konular detaylı şekilde incelenerek yatırımın en doğru şekilde kullanılması amaçlanmıştır (Bayrakçı ve Gezer, 2019).

Çelebi yaptığı çalışmasında; Adıyaman'da bulunan bir fabrika çatısında kurulu bir güneş enerji santralini incelemiştir. Şebeke bağlantılı sistemin tasarım ve benzetimi PVsyst yazılımı ile yapılmıştır. Teorik olarak üretilen enerji miktarı ile tesisin gerçek zamanlı üretim değerleri kıyaslanarak sonuçların birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu sebeple gelecekte kurulacak olan endüstriyel tipi FV santraller için bu çalışmanın örnek olabileceği yargısına varılmıştır. Yapılan ekonomik analiz ile üretilen enerjinin birim maliyeti yaklaşık 0,08 \$/kWh olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte projenin 2,3 yılda kendisini amorti edeceği belirtilmiştir (Çelebi, 2019).

Eremkere tez çalışmasında; Tekirdağ'da bulunan bir üzüm suyu işleme tesisinin çatı alanı için teorik, saha ve teknik güneş enerjisi potansiyelini belirleyerek FV sistemle üretilecek enerji miktarı ve karbon emisyon değerini PVsyst ve RETScreen yazılımlarını kullanarak gerçekleştirmiştir. Sistem tasarımında tekli kristal, çoklu kristal ve amorf silisyum FV modül tipleri kullanılmıştır. Tesiste üzüm suyu üretiminin gerçekleştiği zamanda tüketilen enerji miktarı aylık 4.059,822 kWh olarak hesaplanmıştır. Bölgenin yıllık güneş ışınım miktarı 1543 kWh/m<sup>2</sup> bulunmuştur. Tek kristal, çoklu kristal ve amorf silisyum sistem tasarımları için yıllık elektrik üretim değerleri sırasıyla 1219-1280-1291 kWh, performans oranları; %85, %84 ve %80 olarak hesaplanmıştır (Eremkere, 2019).

Güneş yaptığı çalışmada; Manisa ili Soma ilçesinde bulunan örnek iki katlı bir evin çatısına FV sistem kurulmasını incelemiştir. Çatı tipi FV sistemler binaya ekleme (BAPV) ve binaya entegre (BIPV) olarak iki ayrı başlık altında incelenmiştir. Güneş

enerjisinden elektrik üretmek için daha çok BAPV kullanılmakta olduğu belirtilerek BAPV bir sistem tasarlanmıştır. Sistemin benzetimi PVsyst yazılımı ile yapılmıştır. Proje ile ilgili mevzuatlar araştırılarak yasal süreçler göz önüne alınmıştır. Sistemin üretim, performans ve maliyet analizi yapılmıştır (Güneş, 2019).

Belmahdi ve El Bouardi yaptıkları çalışmalarında; Fas'ın kuzeyine 1 MW'lık şebeke bağlantılı bir PV sistem tasarımı ve modellemesini PVsyst yazılımı ile gerçekleştirmişlerdir. FV modüllerin sabit ve mevsimsel şartlara göre değişken açılı olmak üzere iki ayrı durum incelenerek sonuçlar analiz edilmiştir (Belmahdi ve El Bouardi, 2020).

Duman ve Güler yaptıkları çalışmalarında; Türkiye'deki şebeke bağlantılı çatı tipi FV sistemlerin ekonomik analizini incelemişlerdir. Bunun için kuzey, güney ve merkez olmak üzere üç ayrı bölgeden 9 farklı şehir seçilerek 5 kWp kurulu güçteki sistem HOMER yazılımı ile modellenmiştir. Finansal model olarak geri ödeme süresi, iç verim oranı ve karlılık hesaplanmıştır. Simülasyon ve teorik hesaplamalar sonucu Türkiye'de çatı tipi 5 kW kurulu güçteki bir sistemin geri ödeme süresi 7,75-14,43 yıl, iç verim oranı %13,68-%6,87 ve kârlılık indeksi 2,02-1,28 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak Türkiye'de konutlarda çatı tipi FV sistem teşviklerinin artırılması ve bölgeler arasındaki güneş potansiyeli farklılıklarının göz önünde bulundurarak bölgesel bir destek mekanizması geliştirilmesi gerektiği önerilmiştir (Duman ve Güler, 2020).

Homood vd. yaptıkları çalışmalarında; Elâzığ ilinde bulunan bir konutun çatısına şebeke bağlantılı bir FV sistem tasarımı ve benzetimi gerçekleştirmişlerdir. 6,96 kW gücündeki sistem simülasyonu PVsyst ve PV\*SOL yazılımları kullanılarak yapılmıştır. Yıllık enerji üretimi, performans oranı ve sistemin verimi her iki yazılımda hesaplanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuçların her iki yazılımda da benzer şekilde çıktığı gözlemlenmiştir (Homood ve diğ., 2020).

İzgi ve Özcan yaptıkları çalışmalarında; Bursa'nın Osmangazi ilçesinde, mono-kristal, poli-kristal ve ince film üç fotovoltaik teknoloji ile oluşturulan 1 MW şebekeye bağlı fotovoltaik santralin aylık ve yıllık performans analizini gerçekleştirmişlerdir. PV teknolojilerinin simülasyon ve modellenmesi için PVsyst ve PV\*SOL programları kullanılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre mono-kristal modüllü santralin 1416 MWh,

poli-kristal modüllü tesisin 1202 MWh ve ince film modüllü sistemin 1150 MWh enerji üreteceği hesaplanmıştır. Sistemlerin ortalama performans oranlarının sırasıyla %85, %72,1 ve %70 olacağı ön görülmüştür. Ayrıca yıllık enerji üretimi ile yüksek performans gösteren mono-kristal fotovoltaik teknolojisi kullanılarak; Türkiye'deki farklı iklim koşulları altında sistem değerlendirilmesi yapılmış, analizler sonucunda yüksek güneş radyasyon değerine sahip Antalya ili 1806 MWh enerji üretimiyle üstün bir performans gösterdiği gözlemlenmiştir (İzgi ve Özcan, 2020).

Kayıkçı yaptığı çalışmada; Aydın ili kırsalında bulunan bir evin elektriğinin güneş ve rüzgâr enerjisinden oluşan hibrit bir sistem tarafından üretilmesinin analizini gerçekleştirmiştir. Sistemin modellenmesi için HOMER yazılımı kullanılmıştır. Konutun elektrik ihtiyacı günlük 2,68 kW pik yük olarak hesaplanmıştır. 19 kW'lık şebeke bağlantılı FV sistemin devreye alınmasıyla enerji birim fiyatının -0,0354 TL/kWh olacağı belirlenmiştir. Sonuç olarak en uygun hibrit enerji sisteminin; 5 kW güneş enerjisi santrali ile 1,5 kW rüzgâr enerjisi santrali olacağı sonucuna varılmıştır. Sistemin karbon emisyonunu %58 oranında azaltacağı öngörülmüştür. (Kayıkçı, 2020).

Kılıcı yaptığı çalışmada; Kayseri ilindeki 5 farklı FV sistem tasarımını gerçekleştirmiştir. Her bir sistemin kurulu gücü sabit olarak 1189,76 kWp olarak belirlenmiştir. Sistemlerin üretim analizleri PVsyst simülasyon programı aracılığı ile yapılmıştır. En yüksek enerji üretiminin 2391,6 MWh ile hareketli ve çift yüzeyle panel ile yapılan sistem olduğu gözlemlenmiştir. Sabit sistem ile hareketli sistemler karşılaştırıldığında ortalama %13 ile %15 arasında hareketli sistemin daha fazla enerji ürettiği sonucuna varılmıştır (Kılıcı, 2020).

Mukherji vd. yaptıkları çalışmalarında; Hindistan'da bir üniversitenin çatısına kurulu 50 kWp gücündeki GES'in tekno-ekonomik ve ekolojik analizini gerçekleştirmişlerdir. 2017 yılı boyunca incelenen santralin yıllık 64.149,35 kWh elektrik üretimi gerçekleştirerek üniversitenin toplam elektrik tüketiminin %24'ünü karşıladığı sonucuna varılmıştır. Yapılan ekolojik analiz sonuçlarına göre tesis bir yılda 102 ton CO<sub>2</sub>, 128 kg SO<sub>2</sub>, 268 kg NO, ve 7033 kg kül uzaklaştırmıştır (Mukherji ve diğ., 2020).

Akkaya ve Oy çalışmalarında; Türkiye'de farklı radyasyon verilerine sahip iki farklı bölgede bulunan üç şehirde (Samsun, Bayburt, Mersin) farklı kurulu güçlerde şebeke

bağlantılı ve şebeke bağlantısız çatı tipi FV sistem tasarımlarını yapmıştır. PVGIS, PVsyst ve HOMER programları kullanılarak yapılan benzetimler sonucu Türkiye'nin her bölgesinin güneş enerjisi alanında verimli olduğu sonucuna varılmıştır. Üç il için de aylık ve yıllık mahsuplaşma için en ideal tasarımın 10 kW'lık şebekeye bağlı FV sistem olduğu tespit edilmiştir (Akkaya ve Oy, 2021).

Ateş ve Singh, Manisa Celal Bayar Üniversitesi kampüsünde bulunan kurulu gücü 30 kWp çatı üstü FV sistemin yıllık performansını incelemişlerdir. Yıllık enerji üretimi 45.592 kWh olan sistemin performans oranı %83,61 olarak hesaplanmıştır. Tesisin incelendiği yıl olan 2018'de toplam 23,5 ton karbon emisyonu gerçekleşmiştir. Teorik olarak yapılan hesaplamalar ile gerçek zamanlı üretim kıyaslanarak değerlerin birbirine yakın çıktığı gözlemlenmiştir (Ateş ve Singh, 2021).

Çınaroğlu yaptığı çalışmada; Kilis ilinde bulunan, üç adet şebeke bağlantılı PV sistemin son üç yıla ait enerji üretim değerleri ile PVsyst simülasyon programı aracılığıyla oluşturulan aynı özelliklerdeki sistemlerin verileri karşılaştırılmıştır. Ayrıca; Kilis 7 Aralık Üniversitesi'nin elektrik ihtiyacının bir kısmının FV sistemlerle karşılanması için tasarlanacak sistemden üretilebilecek enerji miktarı simülasyon programında hesaplanmıştır (Çınaroğlu, 2021).

Nguyen ve Van, Vietnam merkezinde bulunan bir konutun çatısına 8,36 kWp kurulu gücünde şebeke bağlantılı FV sistemin tasarımı, simülasyonu ve maliyet analizini gerçekleştirmişlerdir. PVSyst yazılımı kullanılarak yapılan benzetim sonucu tesisin yıllık enerji üretim miktarı 11.106 kWh bulunmuştur. Yıllık verimi %81,17 olan sistemin yatırım geri ödeme süresi 12 yıl olarak hesaplanmıştır (Nguyen ve Van, 2021).

Yıldırım ve Aktacir, Şanlıurfa'da eğitim binalarının çatılarında kullanılmak üzere seçilen FV panellerin enerji üretim miktarlarını hesaplamışlardır. Çalışmada tek kristal (mono-Si), çoklu kristal (poly-Si) ve kadmiyum tellür (CdTe) olmak üzere üç farklı FV teknolojiye sahip paneller kullanılmıştır. Binaların çatı alanları, azimut açıları ve ışınım değerleri hesaplanmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda en yüksek enerji üretiminin yıllık bazda 345 kWh ile tek kristal (mono-Si) panellerde gerçekleştiği gözlenmiştir. Çoklu kristal (poly-Si) ve kadmiyum tellür (CdTe) paneller için enerji üretim değerleri sırasıyla 311 kWh ve 234 kWh olarak bulunmuştur (Yıldırım ve Aktacir, 2021).

### 3. GÜNEŞ ENERJİSİ

Gezeganimizden yaklaşık 150 milyon km uzaklıkta bulunan güneş, sahip olduğu potansiyel ile evrendeki tüm etkileşimleri yönlendiren temel bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi, güneş çekirdeğinde meydana gelen füzyon olayı ile hidrojen gazının helyum gazına dönüşmesi sonucu açığa çıkan ışıma enerjisidir. Bu enerjinin şiddeti dünya atmosferinin dışında metrekare başına 1370 W değerindedir. Buna karşılık, yeryüzüne ulaşan miktarı atmosferden dolayı metrekare başına 0-1100 W değerleri arasındadır. Güneşten Dünya üzerine yıllık olarak  $1,5 \times 10^{18}$  kWh'lik bir enerji gelmektedir ve bu miktar, dünyada insanoğlunun bir yılda kullandığı enerjinin 15-16 bin katıdır (Yalçın, 2010).

Güneş ışınımının tamamı yeryüzüne ulaşmaz. Işınım miktarının %17,5'lik kısmı atmosferde tutulur, %35'i yansıma yoluyla geri döner. Geri kalan ışınım miktarı yeryüzüne gelir ve ısıya dönüşür. Yeryüzündeki yaşamı mümkün kılan bu ısı sayesinde dünyanın sıcaklığı artar ve rüzgâr hareketleri ve okyanus dalgalanmaları meydana gelir. Bitkiler güneş ışınımının %1'den azını kullanarak bitkisel yaşamın kaynağı olan fotosentez olayını gerçekleştirir. Güneş, nükleer dışında bütün enerji kaynaklarının doğrudan veya dolaylı olarak kökenidir (Kılıç, 2015).

Yüzyıllardan beri insanlar evlerini ısıtmak, yiyeceklerini yetiştirmek ve aydınlanmak için Güneş'i kullanmışlardır. Güneşin bilinçli olarak bir enerji kaynağı olarak kullanılması M.Ö. 400'lü yıllara dayanır. Socrates (M.Ö. 400) evlerin güneşin daha fazla girdiği güney cephelerine bakmasını teşvik ederek ısı ve ışıktan yararlanma yoluna gitmiştir. Güneş enerjisinden alet kullanılan ilk uygulama, M.Ö. 215'te Syracuse'yi kuşatan gemileri güneş ışınımını odaklayarak yakan Arşimet tarafından yapılmıştır. Güneş enerjisinden faydalanma çalışmaları ise 17. yüzyılda Galile'nin merceği bulmasıyla başlamıştır. İlk güneş kolektörü İsviçreli bilim adamı Horace de Saussure tarafından 1767 yılında yapılmıştır. 1839 yılında Fransız fizikçi Alexandre-Edmund Becquerel fotovoltaiik etkiyi keşfederek güneş enerjisinden elektrik üretiminin mümkün olabileceğini göstermiştir (Kaplukan, 2014).

Güneş enerjisi alanından faydalanma çalışmaları 1970'li yıllardan itibaren hız kazanarak günümüzde hayatın hemen her alanında kullanılabilir hale gelmiştir. Güneş enerjisi

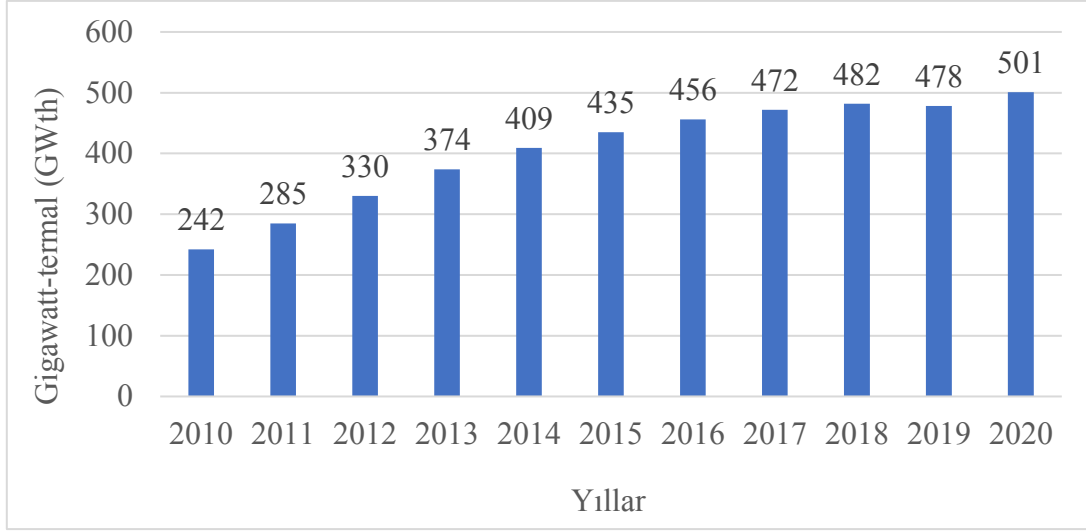
evlerde, binalarda, tarımda, sanayide ve enerji santrallerinde kullanılır. Bunun yanı sıra güneş enerjili sokak aydınlatmaları, cep telefonları, hesap makineleri, uydu alıcıları, meteoroloji istasyonları ve karavanlar mevcuttur (URL-2).

Güneş enerjisi sistemlerinin kullanım amacı genel olarak ısı ve/veya elektrik üretmektir. Isıtma amaçlı olarak kullanılan sistemler farklı sıcaklık değerlerine göre uygulamalarda kullanılır. Düşük sıcaklık uygulamalarına kullanım suyu eldesi ve tarım ürünlerinin kurutulması, orta sıcaklık uygulamalarına güneş kolektörleri, yüksek sıcaklık uygulamalarına ise yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri (CSP) örnek olarak gösterilebilir (Yolcan ve Köse, 2020). Güneş enerjisinden doğrudan elektrik üretmek için FV sistemler kullanılır. Bu sistemler fotovoltaiik hücre teknolojisi vasıtasıyla güneş ışınımını direkt olarak elektrik enerjisine dönüştürürler. Fotovoltaiik sistemlerden sonraki bölümde kapsamlı olarak bahsedilecektir.

### **3.1. Dünyada Güneş Enerjisi**

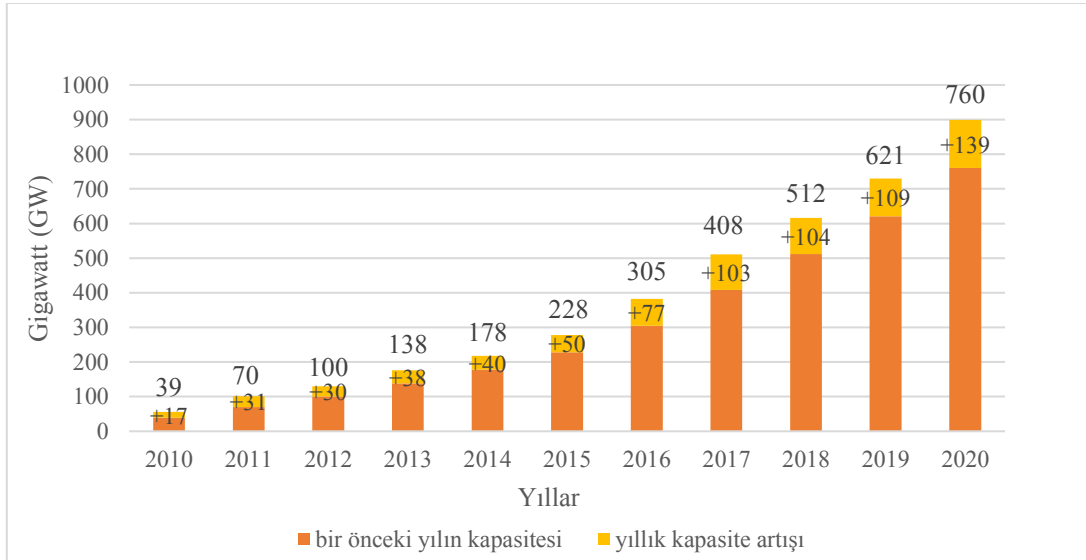
Dünyanın ihtiyaç duyduğu enerjinin yaklaşık %85'i yenilenemez kaynaklar olan fosil yakıtlar (kömür, petrol, doğalgaz) ve nükleer enerjiden karşılanmaktadır (IEA, 2021). Ancak bu kaynakların tükenirliği, yakın gelecekte tüketimi karşılayamayacak olması ve çevre ve doğa üzerinde bıraktığı tahribatlar düşünüldüğünde çevre dostu, düşük maliyetli ve kolay uygulanabilir olan yenilenebilir kaynakların kullanımı kaçınılmaz bir hale gelmiştir. Bu bağlamda dünyanın en eski ve birincil yenilenebilir kaynağı olan güneş enerjisi, artan enerji tüketimini karşılamada etkin bir rol oynamaktadır.

REN21 tarafından yayınlanan Küresel Yenilenebilir Enerji Raporu'na (Murdock ve diğ., 2021) göre yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri (CSP) kurulu gücü 2020 yılında bir önceki yıla göre %1,6 artışla 6,2 GW değerine ulaşmıştır. Dünyada en fazla CSP kurulu gücüne sahip olan ülkeler İspanya ve ABD'dir. 2020 yılı itibarı ile dünyada güneş enerjili termal sistemlerin toplam depolama kapasitesi 21,1 gigawatt-saat (GWh)'e ulaşmıştır. Dünyada güneş enerjili termal sistemlerin kurulu gücü 2020 yılında bir önceki yıla göre %5 artarak 501 gigawatt-termal (GWth)'e yükselmiştir. Güneş enerjili termal sistemlerin kullanımı konusunda lider ülkeler Çin, Türkiye ve Hindistan'dır (Murdock ve diğ., 2021). Şekil 3.1'de güneş enerjili termal sistemlerin kapasitesinin 2010-2020 yılları arasında değişim grafiği verilmiştir.



Şekil 3.1. Dünyada 2010-2020 yılları arası güneş enerjili termal sistemlerin kapasite değişimi (Murdock ve diğ., 2021)

Güneş enerjisinden elektrik üretimi FV sistemler tarafından doğrudan gerçekleştirilir. GSR 21'e göre dünyada FV sistem kurulu gücü 2020 yılında bir önceki yıla göre yaklaşık olarak %23 oranında artmıştır. 2019 yılında toplam FV sistem kurulu gücü 109 GW iken 2020 yılı için bu rakam 139 GW'tır. Dünyadaki FV sistemin toplam kurulu gücü 2020 yılı sonunda 760 GW mertebesinde. Dünyadaki toplam kurulu gücün 2010 yılından itibaren değişimi Şekil 3.2'de gösterilmiştir (Murdock ve diğ., 2021).



Şekil 3.2. 2010-2020 yılları arasında dünyada kurulu FV güç değerleri (Murdock ve diğ., 2021)

Dünyada güneş enerjisi piyasasının en büyük hâkimi Çin'dir. Çin sadece 2020 yılında şebekesine 48,2 GW gücünde FV sistem entegre ederek toplam kapasitesini 250 GW

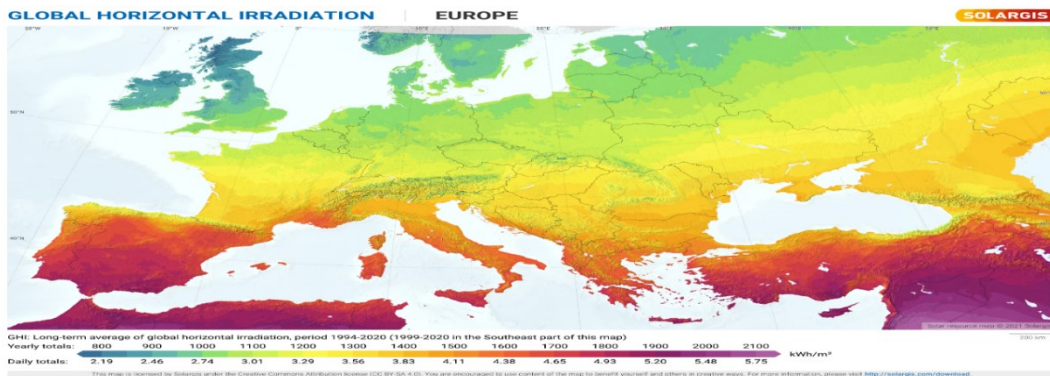
seviyesinin üzerine çıkarmıştır. Bu değer dünya genelinin yaklaşık %36'sına tekabül etmektedir. 2020 yılında kurulan FV tesislerin %66'sı Çin, ABD, Vietnam, Japonya ve Almanya tarafından kurulmuştur. Dünyada toplam kümülatif FV sistem kurulu gücü en yüksek beş ülke Çin, ABD, Japonya, Almanya ve Hindistan'dır. Kişi başı en yüksek kurulu güce sahip ülkeler sırasıyla Avustralya, Almanya ve Japonya'dır. Dünyada FV sistem kurulu gücü en fazla olan ülkeler Tablo 3.1'de gösterilmiştir (URL-3).

Tablo 3.1. Dünyada kurulu FV sistem kapasitesi en fazla olan ülkeler (URL-3)

Ülke	Kurulu Güç (MW)	Kişi Başına Kurulu Güç (Watt)	Toplam Kurulu Gücün Yüzde Oranı
Çin	254.335	147	35,60%
ABD	75.572	231	10,60%
Japonya	67.000	498	9,40%
Almanya	53.783	593	7,50%
Hindistan	39.211	32	5,50%
İtalya	21.600	345	3,00%
Avustralya	17.627	637	2,50%
Vietnam	16.504	60	2,30%
Güney Kore	14.575	217	2,00%
İspanya	14.089	186	2,00%

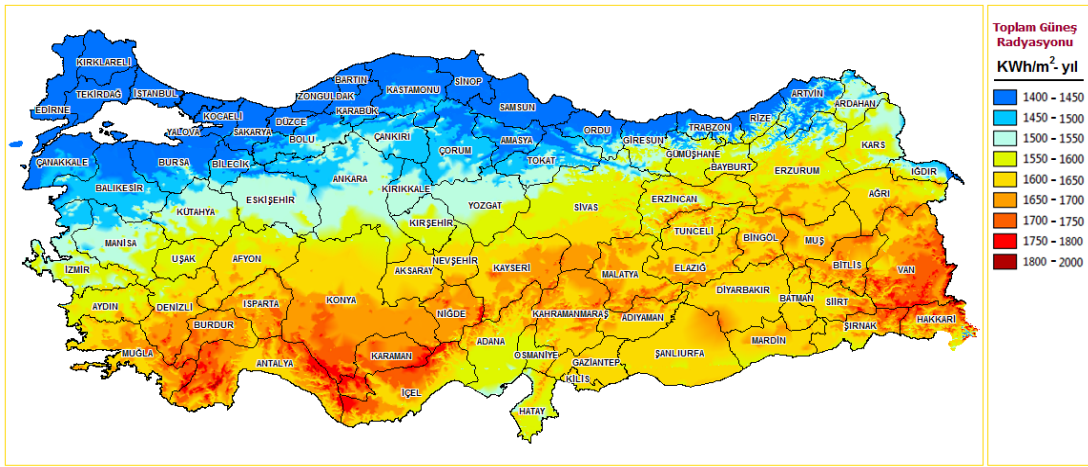
### 3.2. Türkiye'de Güneş Enerjisi

Türkiye, 36°-42° Kuzey paralelleri ile 26°-45° Doğu meridyenleri arasında Kuzey Yarımküre'de yer almaktadır. Bu coğrafi konumu sayesinde ülkemiz güneş kuşağı içinde yer almaktadır. Şekil 3.3'te Avrupa'nın güneş enerjisi potansiyel atlası gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli birçok Avrupa ülkesinden daha yüksektir.

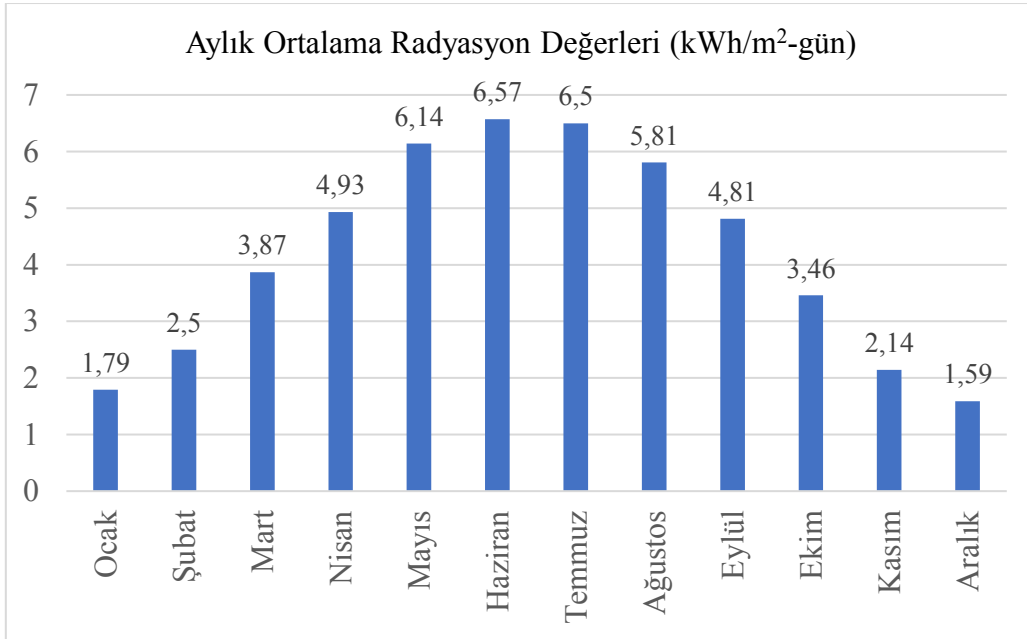


Şekil 3.3. Avrupa'nın güneş enerjisi potansiyel haritası (URL-4)

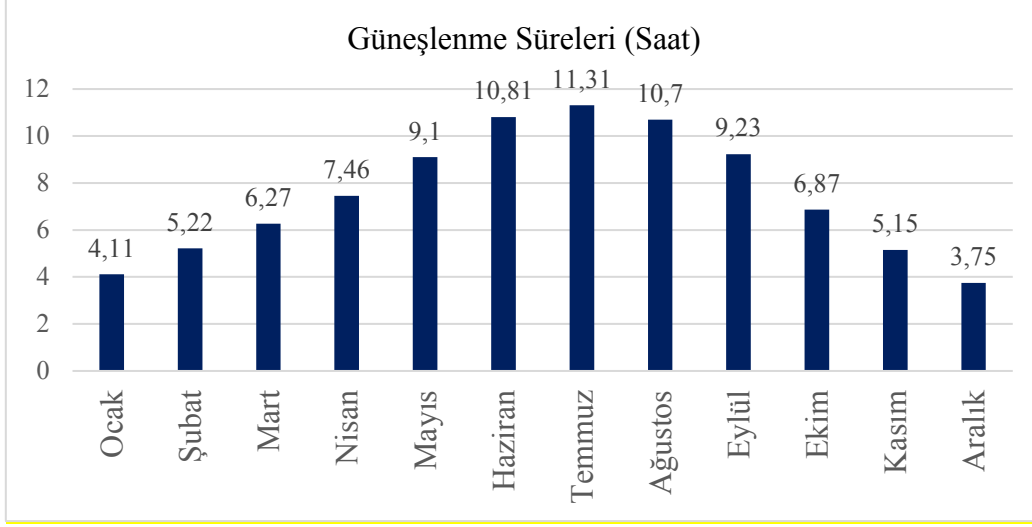
Enerji Bakanlığı tarafından sunulan GEPA (Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası) güneş enerjisini etkili ve verimli kullanabilmek adına enerji üretiminin değerlendirilmesine yönelik potansiyel belirleme amacıyla oluşturulmuştur. Şekil 3.4'te Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası verilmiştir. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2741 saat (günlük toplam 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi ise 1527 kWh/m<sup>2</sup>.yıl (günlük toplam 4,2 kWh/m<sup>2</sup>) olarak belirlenmiştir (URL-1). Ülkemizin aylara göre güneş ışınım miktarı ve güneşlenme süreleri Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da gösterilmiştir (URL-5).



Şekil 3.4. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli atlası [GEPA] (URL-5)



Şekil 3.5. Türkiye'nin aylık güneş radyasyon değerleri (URL-5)



Şekil 3.6. Türkiye'nin aylık güneşlenme süreleri (URL-5)

Ülkemizde güney yönünden kuzeye doğru gittikçe güneşlenme süresi azalmaktadır. Hem coğrafi konumu hem de yağmurlu gün sayısının fazla olması nedeniyle en az ışınım alan bölgemiz Karadeniz Bölgesi'dir. Marmara ve Ege orta değerde ışınım alırken, İç Anadolu, Doğu Anadolu, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu yüksek değerde ışınım alan bölgelerimizdir. Türkiye'nin bölgelerindeki güneş enerjisi potansiyelinin dağılımı Tablo 3.2'de gösterilmiştir (Özgür, 2020).

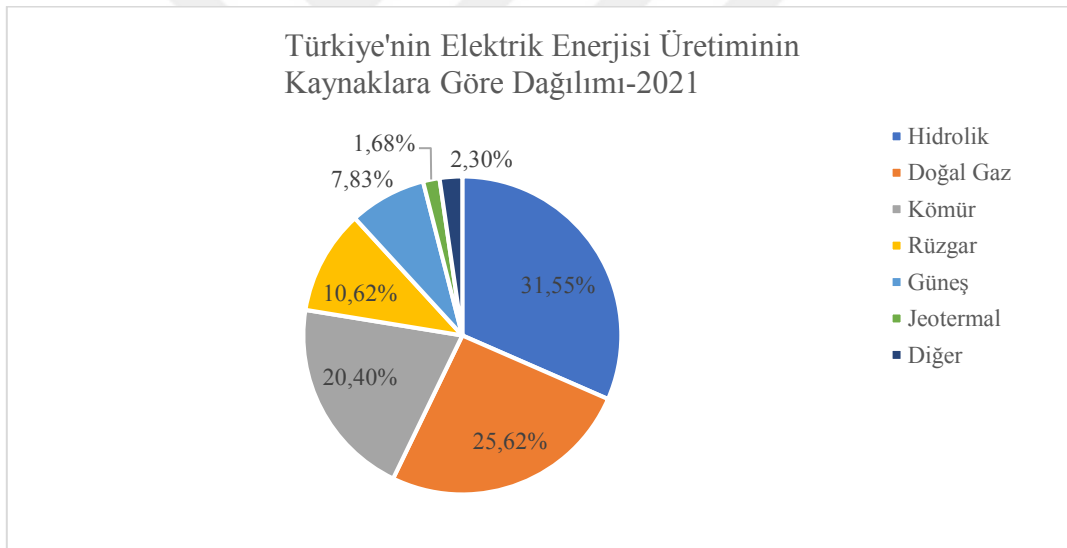
Tablo 3.2. Türkiye'nin güneşlenme potansiyelinin bölgesel olarak dağılımı (Özgür, 2020)

Bölge	Güneş Işınım Miktarı (kWh/m <sup>2</sup> -yıl)	Güneşlenme süresi (Saat/Yıl)
Güneydoğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

Ülkemizde güneş enerjisinin ısıtma amaçlı kullanımı çoğunlukla güneş kolektörleri ile gerçekleştirilir. Güneş kolektörleri güneşten topladıkları enerjiyi bir akışkan (genellikle su) vasıtasıyla ısı enerjisine dönüştürür. Üretilen ısı enerjisi elektrik üretiminde kullanılabilir ancak uygulamalarda genellikle sıcak su olarak direkt kullanılır. Türkiye'de

güneş kolektörleri başta Akdeniz ve Ege olmak üzere bütün bölgelerinde kullanılır. Ülkemizin güneş kolektörü üretim hacmi yıllık olarak 750.000 ile 1.000.000 m<sup>2</sup> arasında olup bunun bir kısmı da ihraç edilmektedir (Kılıç, 2015). Türkiye mevcut güneş kolektör kullanımını 2020 yılında %2 artırarak toplam kullanım kapasitesini 18,4 GWth'e yükseltmiştir. Dünya'da ısıtma amaçlı kolektör kullanımı konusunda ülkemiz Çin'in ardından ikinci sıradadır (Murdock ve diğ., 2021). 2019 yılında ülkemizin toplam güneş kolektör alanı 19,6 milyon m<sup>2</sup>'ye, toplam ısı üretimi ise 826 bin TEP değerine ulaşmıştır (URL-5).

Ülkemizde elektrik enerjisi kurulu gücü 2021 yılı sonunda bir önceki yıla göre %4 artışla 99.819 MW seviyesine ulaşmıştır (URL-6). Elektrik üretiminin kaynak bazında dağılımı Şekil 3.7'de verilmiştir. Buna göre ülkemizde elektrik enerjisi kurulu gücünün %7,83'ü güneş enerjisine dayalıdır.



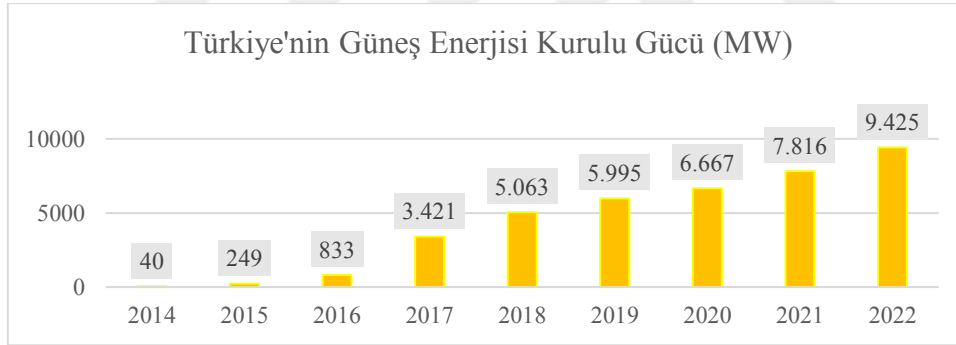
Şekil 3.7. Türkiye'nin elektrik üretiminin enerji kaynak bazında dağılımı, 2021 yılı (URL-6)

Türkiye'de 2021 yılı sonunda lisanssız santraller ile birlikte toplam 10.457 adet elektrik enerjisi üretim santrali bulunmaktadır. Bunların %80'ini FV güneş enerjisi santralleri oluşturmaktadır. 2021 sonu itibarıyla ülkemizdeki elektrik enerjisi santrallerinin kaynak dağılımı adet ve kurulu güç bazında Tablo 3.3'te gösterilmiştir. Buna göre Türkiye'de 2021 yılı itibarıyla 8389 adet FV güneş enerjisi santrali bulunmaktadır. Bu santrallerin toplam kurulu gücü 7815 MW'a ulaşmaktadır (URL-7).

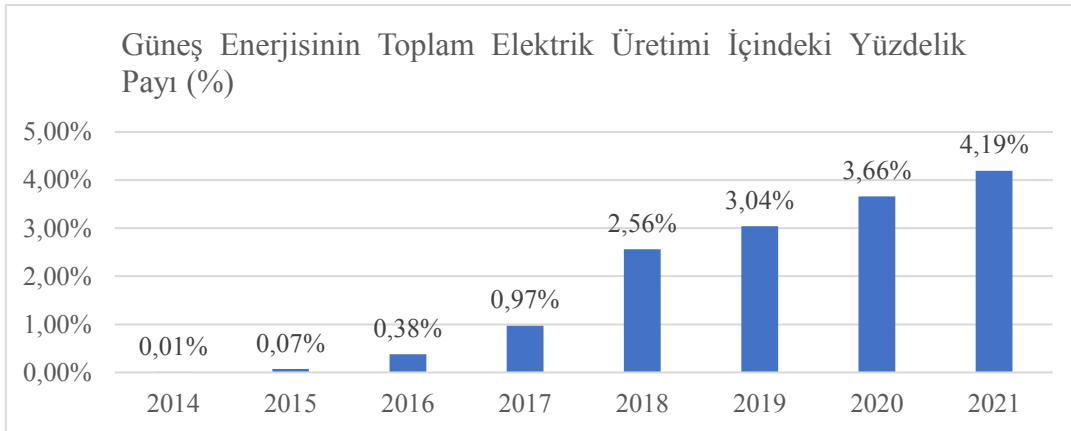
Tablo 3.3. 2021 yılında Türkiye’de bulunan elektrik enerjisi üretim tesislerinin kaynak bazında adet ve kurulu güç dağılımı (URL-7)

Birincil Kaynak	Santral sayısı (adet)	Kurulu güç (MW)
Hidrolik	745	31.492,60
Doğal gaz	352	25.573,6
Kömür	67	20.359,5
Rüzgâr	355	10.607
Güneş	8389	7815,6
Jeotermal	63	1676,2
Diğer	486	2295,1
Toplam	10.457	99.819,6

Ülkemizde elektrik üretimi 2021 yılı sonunda bir önceki yıla göre yaklaşık %10’luk bir artışla 331 TWh değerine ulaşmıştır. Söz konusu yılda elektrik enerjisi üretimi içinde güneş enerjisinin payı %4,2 olmuştur (URL-6). Ülkemizde güneş enerjisinin yıllara göre kurulu güç değişimi ve toplam elektrik üretimi içerisindeki payı Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da gösterilmiştir (URL-5).



Şekil 3.8. Türkiye’nin güneş enerjisi üretiminin yıllık bazda değişimi (URL-5)



Şekil 3.9. Türkiye’de güneş enerjisinin toplam elektrik üretimi içindeki payının yıllara göre değişimi (URL-5)

## 4. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

### 4.1. Fotovoltaik Tanımı ve Tarihi

Fotovoltaik, ışık manasına gelen “photo” ile elektrik üretimi anlamındaki “voltaic” kelimelerinin birleşmesinden oluşur. Fotovoltaik kelimesi ışığın elektrik enerjisine dönüşümü anlamına gelmektedir. Bu dönüşüm fotovoltaik etki sayesinde gerçekleşir. Fotovoltaik etki, bir fotovoltaik hücrenin güneş ışınımını direkt olarak elektriğe dönüştürmesi temeline dayanır. Güneş ışınımı, enerji taşıyan fotonların birleşiminden oluşur (Öztürk, 2017). Fotovoltaik hücre (güneş hücresi) üzerine düşen güneş ışığı ile fotonlar, hücrenin yapısındaki silikon gibi yarı iletken malzemelere çarparak atomlardaki elektronları koparır. Serbest kalan elektronlar ile yarı iletken üzerindeki boşluklar harekete geçer. Bu hareket sonucunda fotovoltaik hücre yüzeyi ile arka yüzey arasında bir gerilim meydana gelerek elektrik enerjisi üretilmiş olur (Aksangör, 2019).

Fotovoltaik etki, fizikçi Alexandre-Edmond Becquerel tarafından 1839 yılında bulunmuştur. Becquerel, elektrolitler üzerinde yaptığı deneyde elektrolit içerisine yerleştirilmiş elektrotlar arasındaki potansiyel farkın elektrolit üzerindeki ışıkla bağlantılı olduğunu gözlemlemiştir. 1876 yılında İngiliz bilim adamları G.W. Adams ve R.E. Day katı selenyum kristalleri üzerinde fotovoltaik etkiyi gözlemlemiştir. 1946 yılında, Charles Fritts %1 verimli Selenyum fotovoltaik hücreleri geliştirmiştir. 1954 yılında ilk modern fotovoltaik hücreler silikon kristali üzerinde gerçekleştirilmiştir. Söz konusu olan yılda Bell Laboratuvarları'nda Chapin ve arkadaşları tarafından %6 verimli silisyum hücreler geliştirilmiştir (Oktik, 2001). Şekil 4.1'de üretilen ilk modern güneş hücresi gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Üretilen ilk modern güneş hücresi (Perlin, 2004)

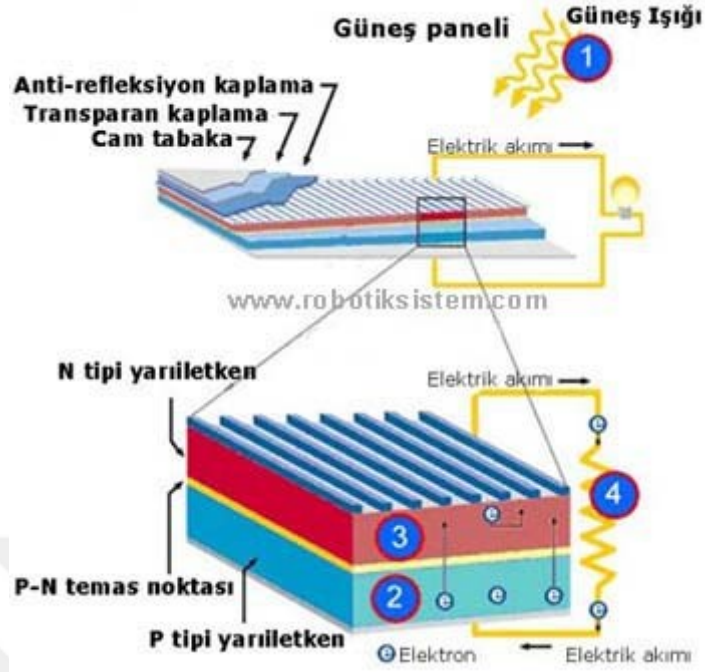
Güneş hücreleri konusunda yapılan araştırmalar süreç içerisinde uzay araçlarında kullanılan güç sistemlerine kadar ilerlemiştir. 1960 yılından itibaren fotovoltaik güç sistemlerinin uzay çalışmalarında kullanımı devam etmektedir (Oktik, 2001).

Güneş hücrelerinin elektriksel güç sistemi olarak yeryüzünde kullanılması 1954 yılında başlamıştır. Özellikle 1973 yılındaki petrol krizi ile birlikte güneş hücresinin yeryüzünde kullanımına yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Nüfus artışı, teknolojik gelişmeler ve hayat standartlarının yükselmesi ile birlikte fotovoltaik güç sistemleri sokakların aydınlatılmasında, binalara, yapılara ve arazilere kurulan santraller ile elektrik üretiminde önemli bir kaynak olmuştur. Bu sistemler için geleneksel elektrik üretim prosedürleri ile kıyaslandığında yüksek olarak atfedilen maliyetleri, fotovoltaik hücre teknolojisindeki gelişmeler ve g sistemlerine artan taleple birlikte hızla düşmüştür. Bu bağlamda fotovoltaik sistemlerin günümüzde olduğu gibi gelecekte de g üretimine önemli katkı sağlayabilecek sistemler olarak değerlendirilebileceği öngörülmektedir (URL-8).

#### **4.2. Fotovoltaik Hücre ve alışma İlkesi**

Fotovoltaik hücreler yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrige dönüştürebilen yarı iletken maddelerden oluşurlar. Bunlar silisyum, galyum arsenit ve kadmiyüm tellür gibi maddelerdir. Elektrik üretimi amacıyla genellikle silisyum kullanılır. Silisyum diğer maddelere kıyasla düşük maliyetli, yüksek verimli ve uzun ömürlü kullanıma sahiptir. Bu hücreler kare, dikdörtgen veya yuvarlak olarak farklı şekillerde tasarlanmışlardır (Özkan, 2021).

Fotovoltaik hücrelerin çalışma prensibi fotovoltaik etki ile açıklanır. Güneş ışınımı enerji yüklü fotonlardan oluşur. Güneş ışığı, FV hücre yüzeyine temas ettiğinde yarı iletken malzeme vasıtasıyla emilir. Bu emilim sayesinde fotondaki enerji yarı iletken malzemenin elektronlarına geçer. FV hücre yapısında yarı iletken özellikli yüksek elektron sahibi P tipi ve düşük elektronlu N tipi malzemeler bulunmaktadır. Hücre yüzeyinde yarı iletken malzeme tarafından emilen fotonlar, P tipi yarı iletken maddeden elektron koparır. Bu işlem sonucunda serbest kalan elektronlar, düşük elektronlu N tipi maddeye doğru hareket eder. Bu elektron hareketi sonucunda akım oluşarak DC enerji üretilmiş olur (Aksangör, 2019). şekil 4.2’de yapısal olarak fotovoltaik hücre ve çalışma şekli gösterilmiştir.



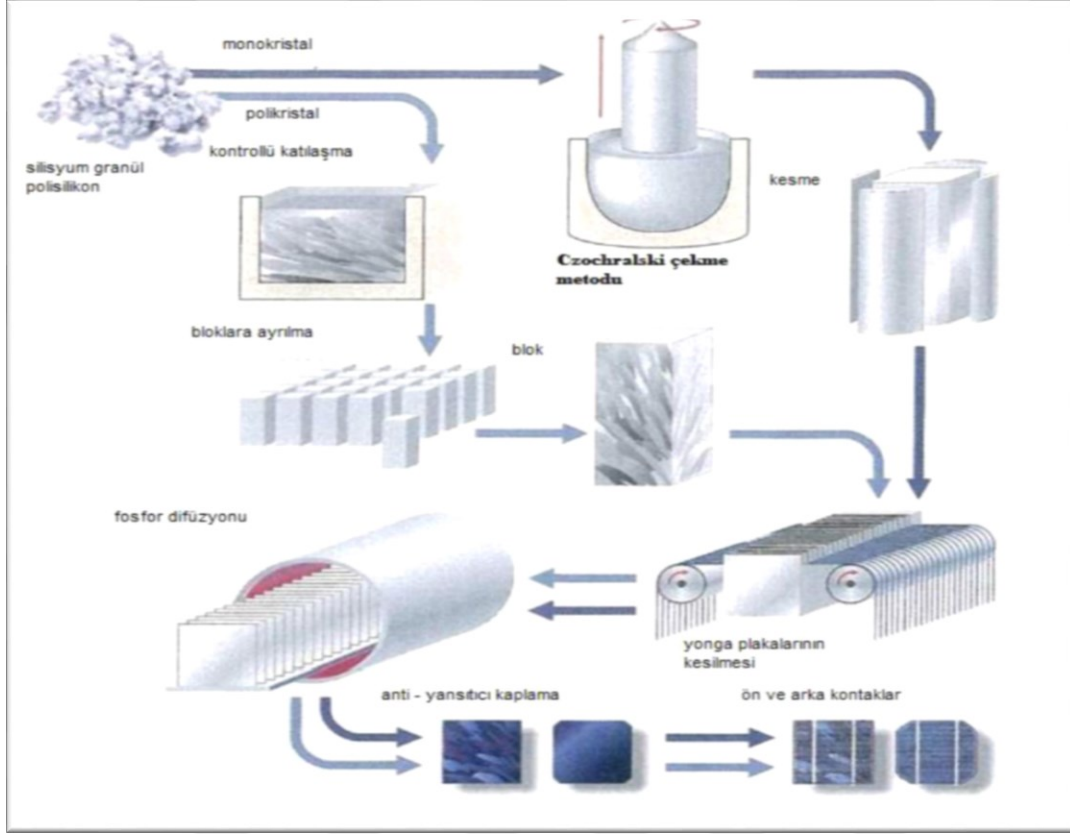
Şekil 4.2. Fotovoltaik hücre yapısı ve çalışma şekli (URL-9)

### 4.3. Fotovoltaik Hücre Çeşitleri

Fotovoltaik hücreler, yarı iletken malzeme türü ve elde edilme şekline göre sınıflandırılmaktadır.

#### 4.3.1. Kristal Silisyum Fotovoltaik Hücreler

Fotovoltaik hücre üretiminde yaygın olarak kullanılan yarı iletken madde silisyum elementidir. Uzun kullanım süresi, kullanım aşamasında kararlı yapısı ve elektriksel özelliğini uzun bir süre muhafaza etmesi silisyumu güneş pili üretiminde ön plana çıkarmaktadır (Sayın ve Koç, 2011). Silisyum, yeryüzünde oksijenden sonra en fazla bulunan elementtir. Silisyum doğada saf halde bulunmaz. Genellikle kum ve kuartz yapısındadır. Kum düşük saflık derecesine sahip olduğu için teknik açıdan kullanılamaz. Ancak kuartz yapısının %90' ı silisyum elementinden oluşur. Kuartz çeşitli teknolojiler ile işlenerek yüksek saflık oranında silisyum elde edilir (Boz, 2011). Şekil 4.3'de kristal silisyum fotovoltaik hücre üretimi gösterilmiştir. Kristal silisyumdan fotovoltaik hücre elde edilme teknikleri birbirinden farklıdır. Bu nedenle kristal silisyum fotovoltaik hücreler monokristal ve polikristal olmak üzere iki alt başlıkta değerlendirilir (Uçar, 2018).

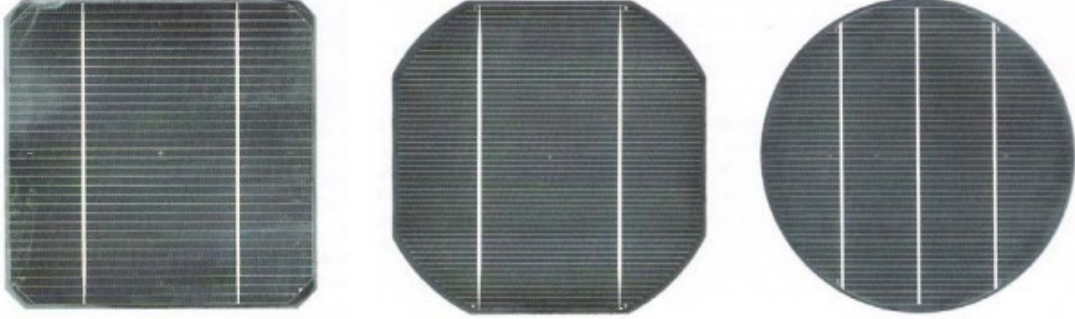


Şekil 4.3. Kristal silisyum fotovoltaik hücre üretim aşamaları (Uçar, 2018)

#### 4.3.1.1. Monokristal Fotovoltaik Hücre

Bu tip hücreler Czochralski yöntemi ile tekli silikon kristallerinden üretilirler (Sharma ve diğ., 2015). Bu yöntemle silisyum maddesi eritilerek (erime noktası 1420 °C) sıvı forma getirilir. Daha sonra kendi etrafında dönen bir kristal çubuk silisyumun bulunduğu potaya yavaşça daldırılır. Erimiş silikonun çubuk üzerinde katılaşmaya başlamasıyla hassas bir dönme ve çekme hızı ile çubuk yavaşça çekilir. Bu işlem sonucunda silindirik şekilde tek kristalli bir yapı elde edilir. Bu silindirik yapı farklı geometrik kesitlerde dilimlenir. Dilimlenen parçaların bağlantıları uygun şekilde yapılarak özel bir yapıştırıcı ile birbirine tutturulur. Son olarak yansıma önleyici cam tabaka yapıştırılarak monokristal fotovoltaik hücre oluşturulur. Bu hücreler koyu mavi ve siyah aralığında bir renge ve homojen bir görünüme sahiptir (Oğuz ve diğ., 2015). Bu tip hücrelerin verimliliği yüksek olmasına karşın ve üretimi zor ve maliyetlidir. Laboratuvar ortamında verimleri %26 civarlarında olan bu hücrelerin ticari kullanımda verimleri

%17-%18 arasındadır (Aksangör, 2019). Şekil 4.4'te farklı geometrik kesitlere sahip monokristal fotovoltaik hücreleri gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Farklı geometrilere sahip monokristal fotovoltaik hücreler (Koryürek, 2008)

#### 4.3.1.2. Polikristal Fotovoltaik Hücre

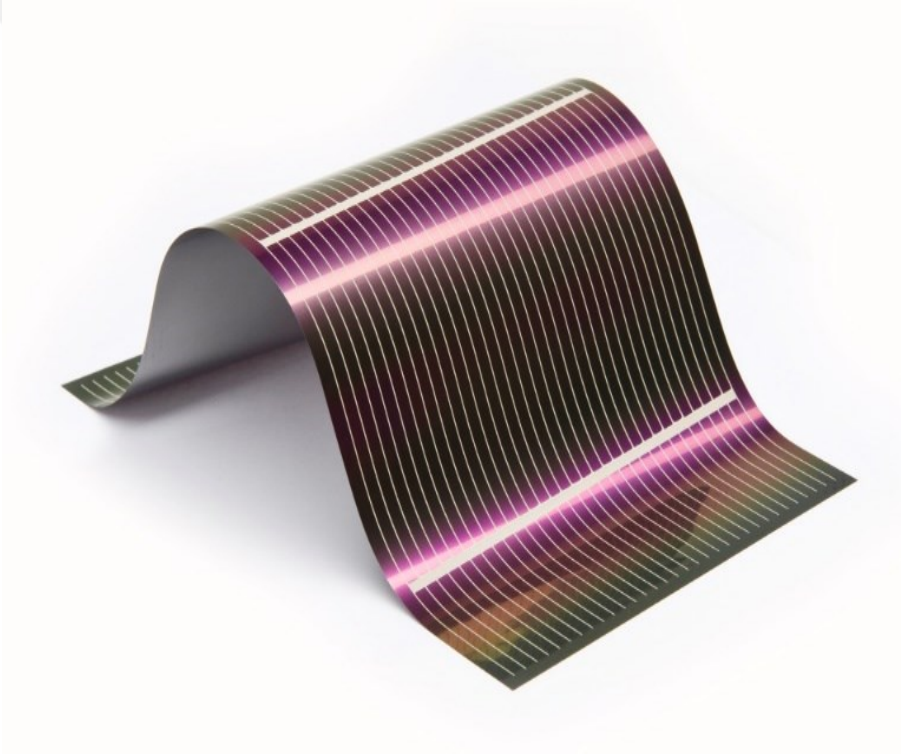
Polikristal fotovoltaik hücrelerin üretim şekli monokristal hücre üretimine benzerdir. Polikristal yapılı silisyum, eriyik hale getirilen silisyumun kalıplarda soğutulması ile elde edilir. Materyal olarak birçok monokristalden oluşan bu hücreler herhangi bir saflaştırma işlemi görmediği için homojen bir yapıya sahip değildir. Bu nedenle polikristal hücrelerin verimliliği monokristal hücrelerden daha düşüktür (Oğuz ve diğ., 2015). Gri-mavi renge sahip olan bu hücrelerin üretimi monokristallere göre daha kolay ve maliyetleri daha düşüktür. Laboratuvar ortamında %18 olan verimliliği seri üretimde %13-14 civarlarındadır (Sayın ve Koç, 2011). Polikristal fotovoltaik hücre örneği Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5. Polikristal fotovoltaik hücre (URL-10)

### 4.3.2. İnce Film Fotovoltaik Hücreler

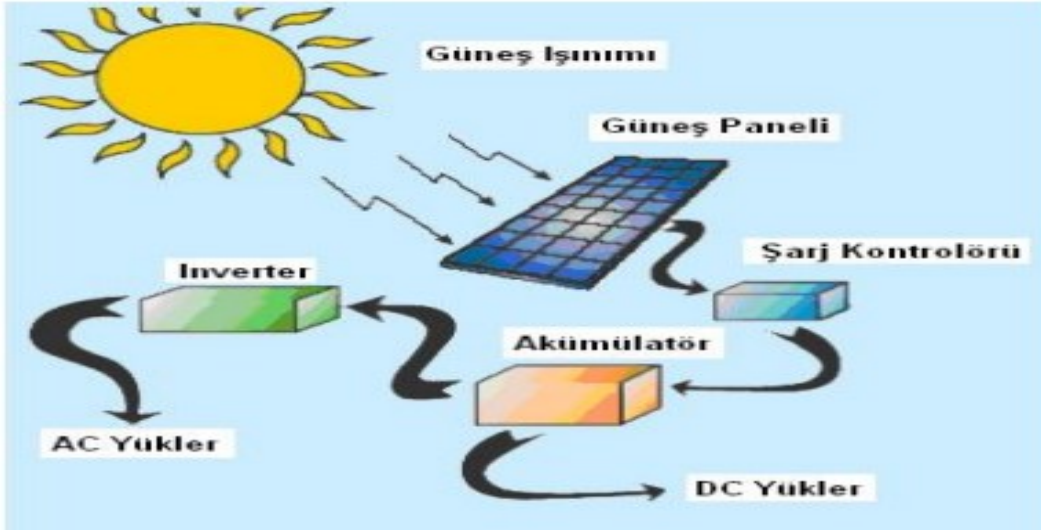
İnce film fotovoltaik hücreler, farklı yarı iletken malzemelerin geniş yüzeyler üzerine kaplanmasıyla oluşurlar. Bu hücrelerde kullanılan yarı iletken malzemelerin büyüklükleri; bir milimetrenin binde birinden, milyonda birine kadar değişmektedir (Sayın ve Koç, 2011). Güneş ışığı Emilimi yüksek olan malzemeler kullanılarak üretilmesine rağmen verimlilikleri çok düşüktür. Bu nedenle fotovoltaik sistemlerde en az tercih edilen hücre çeşitleridir. Üretimi kolay ve maliyetleri düşüktür. Verimlilik oranları %7 ile %11 arasında bulunmaktadır. İnce film fotovoltaik hücrelerin yapısında amorf silisyum (a-Si) ve kadmiyum tellür (CdTe) gibi maddeler bulunmaktadır. (Aksangör, 2019). Şekil 4.6’da örnek bir ince film fotovoltaik hücre gösterilmiştir.



Şekil 4.6. İnce film fotovoltaik hücre (URL-11)

### 4.4. Fotovoltaik Sistem Bileşenleri

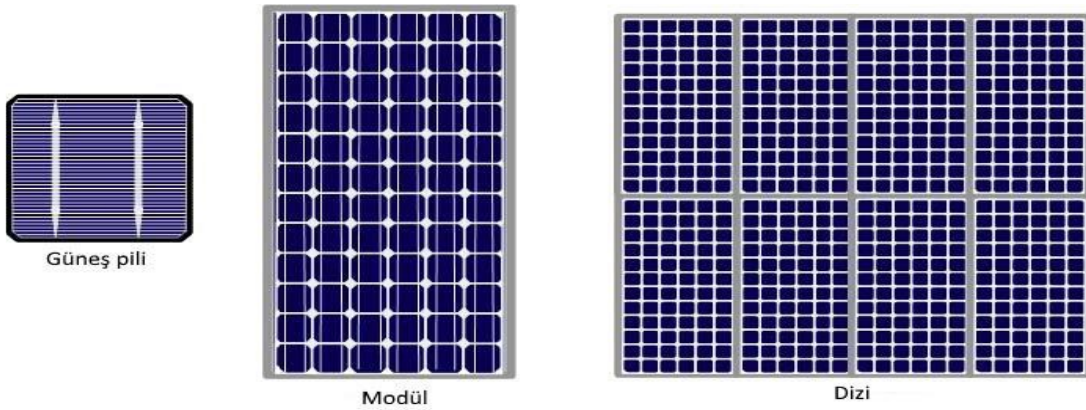
Bir fotovoltaik sistem; fotovoltaik panel, akü, inverter (evirici) ve şarj kontrol cihazı bileşenlerinden oluşmaktadır. Şekil 4.7’de bir fotovoltaik sistem görünümü verilmiştir.



Şekil 4.7. Fotovoltaik sistem bileşenleri (Rüstemli, 2013)

#### 4.4.1. Fotovoltaik Paneller

Fotovoltaik paneller ya da modüller, güneşten aldığı enerjiyi fotovoltaik hücreler vasıtasıyla doğrudan elektrik enerjisine dönüştürürler. Fotovoltaik hücreler tek başlarına (laboratuvar şartlarında 0.5 V gerilim) çok düşük değerlerde elektrik üretirler. Bu nedenle fotovoltaik hücreler çeşitli bağlantı türleri ile (seri veya paralel) bağlanarak fotovoltaik modüller oluşturulur. Modüller bir araya getirilerek diziler oluşturulur. Böylelikle ihtiyaca göre birkaç Watt'tan Megawatt'lara kadar fotovoltaik sistemler oluşturulabilmektedir (Ceylan, 2018). Şekil 4.8'de güneş pili (hücre), modül ve diziler gösterilmiştir.



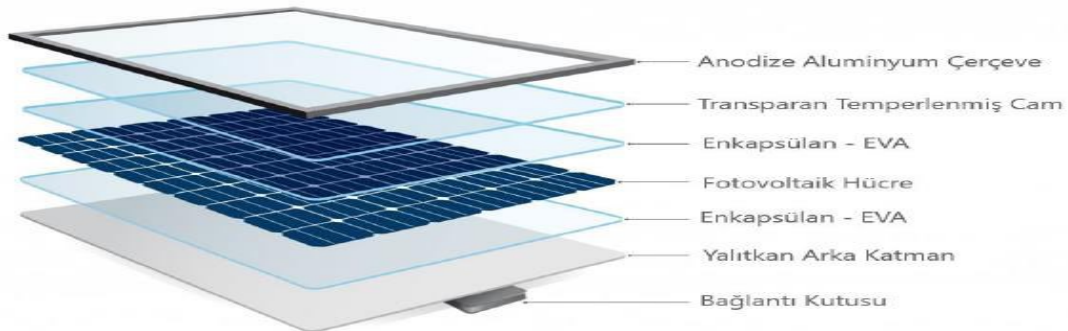
Şekil 4.8. Güneş pili, modül ve dizi (Ceylan, 2018)

Fotovoltaik panelden yüksek değerde bir gerilim elde etmek için modül üzerinde fotovoltaik hücreler seri şekilde bağlanır. Bu şekilde hücre üzerinde bulunan akım sabit

kalır; voltaj değeri birbirine bağlanan hücre sayısı ile çarpılır. Oluşturulacak fotovoltaik panelden yüksek değerlerde akım elde etmek için fotovoltaik hücreler paralel bir şekilde bağlanır. Günümüzde ticari olarak kullanılan standart fotovoltaik paneller genellikle fotovoltaik hücrelerin seri olarak bağlanması ile üretilirler. Güneş enerjisi sektöründe en yaygın kullanılan fotovoltaik paneller 60 ya da 72 hücreli modüllerdir (Ceylan, 2018).

Fotovoltaik modüller, standart test koşulları altında (sıcaklık 25 °C, ışınım miktarı 1000 W/m<sup>2</sup> ve hava kütlesi 1,5 AM) ölçülen değerlere göre nitelendirilir. Bu koşullar altında test edilen modüllerin maksimum güçleri (anma gücü) ve verimleri tespit edilir. Hücrelerin tipi ve verimine bağlı olarak değişmekle birlikte piyasadaki 60 hücreli panellerin gücü 250 W-330 W aralığında, 72 hücreli panellerin gücü ise 330 W ile 420 W seviyelerindedir (Özkan, 2021).

Fotovoltaik paneller üzerinde bulunan hücreler etilen vinil asetat (EVA) adı verilen bir çeşit film malzeme ile bir arada tutulur. Fotovoltaik paneller üretilirken hassas bir malzeme olan fotovoltaik hücreleri mekanik gerilmeler ve dış etkenlerden muhafaza etmek için çeşitli malzemeler ile kaplanır. Bu kaplama şekline göre en yaygın olarak kullanılan panel tipi alüminyum çerçeveli-camlı panellerdir. Bu tür panellerde panel yüzeyi bir cam tabaka ile, panelin dış kenarları bir alüminyum çerçeve ile korunmaktadır. Çerçeve olmayan panellerde dış kenarlar polietilen tereftalat (PET) bir filmde oluşur. Fotovoltaik hücre yüzeyi başka bir PET tabaka veya cam ile kaplanır. Çerçevesiz paneller genellikle şebekeye bağlantı gereksinimi olmayan sistemler için kullanılırlar (Sayın ve Koç, 2011). Fotovoltaik paneller, fotovoltaik hücre çeşidine göre, monokristalin ve polikristalin fotovoltaik panel olarak sınıflandırılmaktadır (Aksangör, 2019). Şekil 4.9’da fotovoltaik panel yapısı verilmiştir.



Şekil 4.9. Fotovoltaik panel yapısı (Özkan, 2021)

#### 4.4.2. Akü

Aküler elektrik enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürerek depolayan, ihtiyaç halinde ise depolanan kimyasal enerjiyi tekrar elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır. Üretilen elektriğin şebekeye verilmediği yani şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemlerde akülere ihtiyaç duyulur. Bu tip sistemlerde güneş ışığının olduğu anlarda üretilen enerji, güneşsiz ve bulutlu zamanlarda kullanılmak üzere akülerde depolanır (Pakma, 2016). Aküler sık bakım gerektiren cihazlardır. Akülerin bakımlarının geciktirilmesi ve özenli bir şekilde yapılmaması kullanım sürelerini azaltır. Bu da tüm sistemde sorunlar oluşmasına neden olur. Fotovoltaik sistemlerde genellikle OPzS, jel ve kuru aküler kullanılmaktadır (Küçük, 2019).

OPzS aküleri sistemlere kesintisiz enerji kaynağı olarak bağlanmak için oluşturulmuştur. Ani güç kesintilerinin sistemde oluşturacağı olumsuz durumları engellemek amacıyla üretilmiştir. Minimum bakım gerektirir ve düşük enerji maliyetlidir. Yanmaya karşı dirençli kapak ve şeffaf kutulu olarak imal edilmektedir. Ömürleri 20 yıl ve üzeridir. Kapasiteleri 25 ila 300 Amper saat (Ah) aralığında değişmektedir (Kıyanççiek, 2013).

Jel aküler içerisinde jöle kıvamında elektrolit bulunan akülerdir. Özellikle sıcaklığa dayanıklı şekilde üretilmişlerdir. Tam kapalı bakım gerektirmeyen akülerdir. Dezavantaj olarak hemen şarj edilememektedir. Yüksek güvenilirlik ve kaliteye sahiptir. İç dirençlerin düşük olması nedeniyle performansları yüksektir. Kullanım kapasiteleri 1,3 Ah'den 3000 Ah'e kadar değişmektedir (Kıyanççiek, 2013).

Kuru aküler bakım gerektirmeyen, geniş bir ısı yelpazesinde çalışabilen akülerdir. Uzun ömürlü, sağlam ve uygun tasarım yapısına sahiplerdir. Yüksek güvenilirliğe sahip olan bu aküler yatay, dikey ya da herhangi bir pozisyonda çalışabilirler. Kuru akülerin en temel özelliği herhangi bir şekilde asit taşması veya sızdırmasının olmamasıdır (Kıyanççiek, 2013). Fotovoltaik sistemlerde genelde kuru aküler tercih edilmektedir (Pakma, 2016).

#### 4.4.3. İnverter (Evirici)

Fotovoltaik sistemlerde güneş panellerinden doğru akım (DC) formunda gerilim üretilir. Direkt DC ile çalışan sistemler hariç; bu enerjiyi günlük hayatta kullanılabilmek için alternatif akıma (AC) dönüştürülmesi gerekmektedir. Fotovoltaik sistemlerde modüllerde

Üretilen DC gerilimi, AC gerilimine dönüştürmek için inverter (evirici) adı verilen cihazlar kullanılmaktadır. Fotovoltaik sistemlerin en önemli bileşenlerinden biri olan eviriciler kullandıkları sistemlere göre Şebekeye bağlı (on-grid) ve Şebekeden bağımsız (off-grid) olmak üzere iki Şekilde eŐitlenmektedirler. On-grid eviriciler, fotovoltaik panellerden gelen DC gerilimi AC gerilime çevirerek AC kullanımına uygun hale getirebilen ve çevirmiŐ olduğu fazla elektrik enerjisini Şebekeye verebilen eviricilerdir. Off-grid eviriciler ise fotovoltaik panellerden gelen DC gerilimi ile aküler tarafından Şarj edilen DC gerilimi AC gerilime çevirebilen eviricilerdir (Kıyaniek, 2013). Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de her iki eviricinin örnek görselleri verilmiştir.



Şekil 4.10. Şebekeye bağlı (on-grid) fotovoltaik sistemler için evirici (URL-12)



Şekil 4.11. Şebekeden bağımsız (off-grid) fotovoltaik sistemler için evirici (URL-12)

Eviriciler istenilen güç, gerilim ve frekansta akım elde edilmesini sağlarlar. Bununla birlikte genel olarak maksimum gücü takip eden bir mikro işlemcili yapı ile maksimum güç ayarı yaparlar. Eviricilerde AC ve DC koruma devreleri mevcuttur. Bu sayede fotovoltaik dizi ve modülleri aşırı akım ve aşırı gerilime karşı koruyarak sistemin güvenilirliğini artırmış olurlar (Yücel, 2018). Güneş enerjisi sektöründe çoğunlukla kare dalgalı ve sinüs dalgalı olmak üzere iki tip evirici kullanılmaktadır. Kare dalgalı eviricilerin enerji birim maliyeti ve verimliliği düşüktür. Sinüs dalgalı eviriciler ise özellikle şebekeye bağlı sistemler için daha uygundur. Özel güç aralıklarında çalışabilmesi ve hassas elemanlarla birlikte kullanım gerektirmesi sebebiyle birim maliyeti ve verimliliği yüksektir (Kantaroglu, 2010). Fotovoltaik teknolojisinin gelişmesiyle birlikte günümüzde eviricilerin verimliliği %98 seviyelerine gelmiştir (Tekkale, 2018).

#### 4.4.4. Şarj Kontrol Cihazı

Fotovoltaik panellerden elde edilen akım ve gerilimi dolayısıyla gücü düzenleyen cihazlardır. Güneş enerjisi süreksiz bir enerji kaynağıdır. Fotovoltaik panellerden elde edilen akım ve voltaj değişkendir. Akülerin fotovoltaik modüllerden elde edilen DC güç ile şarj edilebilmesi için elde edilen akım ve voltajın düzenlenmesi gerekmektedir. Bu

şekilde akülerin yüksek voltaja maruz kalması önlenerek fazla şarj olup zarar görmesi engellenmektedir. Akü tamamen dolduğunda şarj kontrol cihazı devreye girer. Fotovoltaik panelden üretilen enerjiyi keserek akünün fazla miktarda ısınmasını engeller (Eremkere, 2019).

Genellikle off-grid (şebeke bağlantısız) sistemlerde kullanılan bu cihazların seçiminde en önemli konu verimleridir. Şarj kontrol cihazları Darbe Genişlik Modülasyonlu (PWM) ve Maksimum Güç Noktası İzleyicili (MPPT) olmak üzere iki ana grupta incelenmektedir. PWM şarj kontrol cihazları basit tasarımları ile bağımsız fotovoltaik sistemler için kullanımı en uygun cihazlardır. Bu tip cihazlar kurşun aküler tarafından optimum ölçüde şarj edilebilmektedir. Ayrıca 12V ve 24V akü gruplarını şarj edebilmektedirler. Verimleri maksimum güç noktası izleyicilere göre düşüktür. MPPT şarj kontrol cihazları, fotovoltaik modülden anlık ve değişken olarak üretilen enerjiyi özel algoritmalar ile anlık takip ederek her zaman en yüksek verimi almayı amaçlamaktadır. Bu tür cihazlar %98'e varan verimlerde çalışabilmektedir. Akülerin özelliklerine göre en uygun şekilde şarj sağladığı için akülerin ömürlerini %50'ye varan oranlarda uzatırlar. Bu durum sistemin ömrünü de uzatarak sistem maliyetlerinin düşmesini sağlar (Ceylan, 2018). Şekil 4.12'de örnek bir MPPT şarj kontrol cihazı verilmiştir.



Şekil 4.12. MPPT şarj kontrol cihazı (URL-13)

## 4.5. Fotovoltaik Sistem Bağlantı Türleri

Fotovoltaik sistemler bağlantı türlerine göre, şebekeye bağlı (on-grid) ve şebeke bağlantısız (off-grid) fotovoltaik sistemler olmak üzere ikiye ayrılır.

### 4.5.1. On-Grid (Şebekeye Bağlı) Fotovoltaik Sistemler

Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemler, ulusal ya da yerel bir elektrik enerjisi dağıtım şebekesine bağlı olan sistemlerdir. Bu sistemler temelde iki alt kategoride incelenmektedir. Birinci sistem, üretilen enerjinin doğrudan şebekeye iletilmesi veya satılması amacıyla kurulan sistemlerdir. Üretilen enerjinin büyük yükleri besleme amacı olmayan bu sistemler çeşitli ölçeklerde kurulabilir. Bu tip sistemlerde üretilen enerji uzak noktalara taşınmadan en yakında bulunan dağıtım şebekesine bağlanabilmektedir. Bu şekilde iletim/dağıtım kayıplarının en aza indirilebilmesi mümkündür (Bellia ve diğ., 2014). İkinci sistemler ise hem kullanıcının elektrik ihtiyacını karşılar hem de tüketimin düşük üretimin yüksek olduğu anlarda üretimin fazlasının şebekeye satılmasına olanak sağlayarak kullanıcının gelir elde etmesi temeline dayanır (Doğan, 2018).

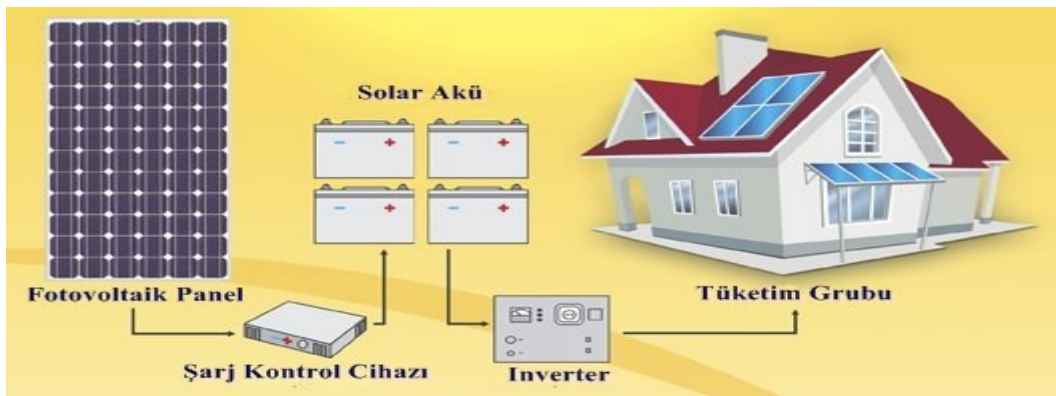
Şebeke bağlı bir fotovoltaik sistemin ana bileşenleri evirici (inverter) ve fotovoltaik modüllerdir. Evirici, fotovoltaik dizideki mevcut DC gücü, şebekenin voltaj ve güç kalitesi ile tutarlı olarak kullanılabilir AC güce dönüştürür. Bununla birlikte şebekeye bağlı uygulamalarda kullanılan çift yönlü sayaç ile enerji arz ve talep durumunun eşitlenmesi sağlanır. Bu sistemlerde şebeke depolama elemanı olarak yer aldığı için akü ve akü gruplarına gereksinim yoktur. Şebekeye bağlı fotovoltaik sistem uygulamalarında tüketicinin enerji ihtiyacı olabildiğince fotovoltaik sistem tarafından karşılanır. Enerji talebinin fazla olduğu durumlarda ihtiyaç duyulan enerji ulusal şebekeden alınır. Bunun yanı sıra düşük tüketim ve üretimin fazla olduğu anlarda artan enerji şebekeye aktarılır. Bu tür sistemler güneş enerjisinin verimli kullanılmasını sağlayarak enerji üretimini yüksek seviyelere çıkarırlar. Bunun yanı sıra konut veya binalarda elektrik faturalarını düşürmek amacıyla da bu tip sistemler kullanılmaktadır (Eissa ve diğ., 2021). Şebeke bağlantılı FV sistem örneği Şekil 4.13'de belirtilmiştir.



Şekil 4.13. Şebekeye bağlı fotovoltaik sistem (URL-14)

#### 4.5.2. Off-Grid (Şebeke Bağlantısız) Fotovoltaik Sistemler

Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemler, şebeke ve iletim hattının olmadığı, sıkça ve uzun süre elektrik kesintilerinin gerçekleştiği yerlerde ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin güneşten karşılandığı sistemlerdir. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemlerin bileşenleri FV panel, akü, şarj kontrol cihazı ve eviriciden oluşmaktadır. Bu sistemlerde gündüz vakti paneller üzerine düşen güneş ışınımı sayesinde elektrik enerjisi üretilir. Burada üretilen enerji şarj kontrol cihazı vasıtasıyla akü grubuna depo edilerek gündüz ya da gece saatlerinde kullanıma hazır hale getirilir. Üretilen enerji akü veya akü gruplarında depo edilerek saklanır. Depo edilen bu enerji miktarı inverterler yardımıyla AC enerjiye dönüştürülerek kullanılır. Off-grid bir fotovoltaik sistemin tasarımı için ihtiyaç duyulan enerji, güneş ışınım şiddeti, çevre şartları ve ortam sıcaklığı gibi etkenlere önem gösterilmelidir. (Çalikoğlu ve diğ., 2011). Bu sistemler genel itibariyle şebekeye uzak bağ veya yayla evlerinde, hobi bahçelerinde, sokak aydınlatmalarında, bot ve yat gibi çeşitli deniz araçlarında kullanılmaktadır (Kutluca, 2020). Örnek bir şebeke bağlantısız FV sistem Şekil 4.14’de gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Şebeke bağlantısız fotovoltaik sistem (URL-15)

## 5. MATERYAL VE METOD

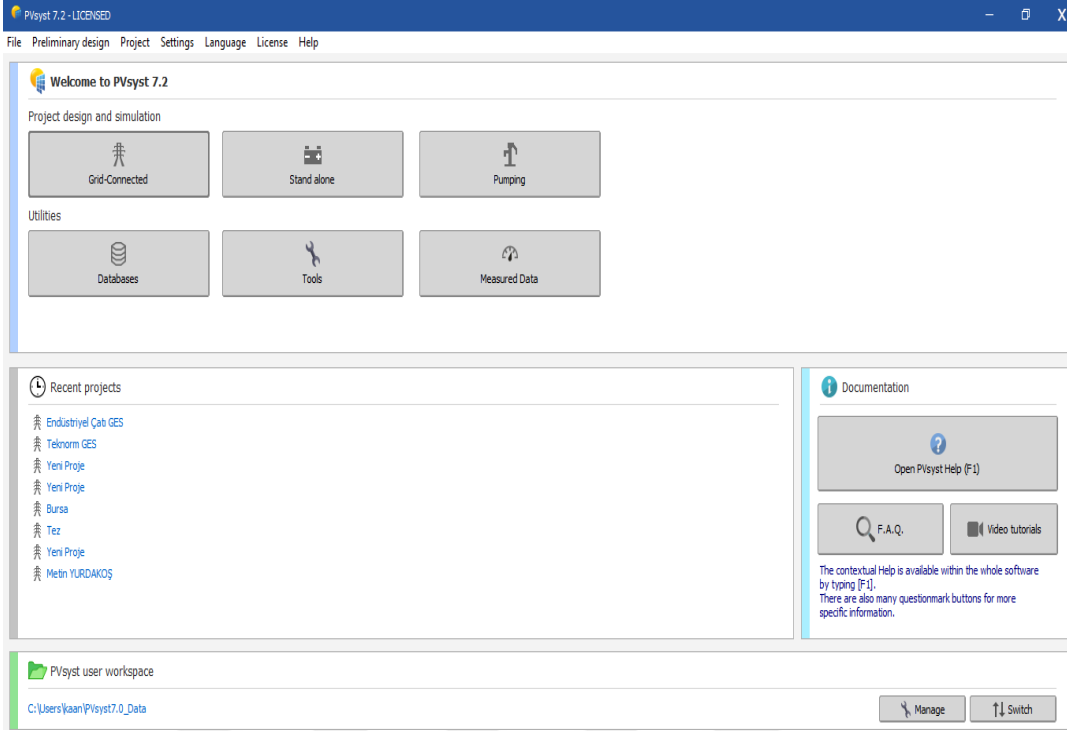
Bu çalışma kapsamında, Kayseri Mimar Sinan Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan bir fabrikanın çatısında kurulu olan 1620 kWp güçteki güneş enerjisi santralinin tasarımı ve benzetimi yapılmıştır. Çalışmanın amacı, santralin yıllık enerji üretim miktarı ve sistem performansının belirlenerek maliyet analizinin gerçekleştirilmesidir. Bu bağlamda yapılan tasarım için PVsyst yazılımı kullanılmıştır. Devreye alınmış olan şebekeye bağlı santralin sistem parametreleri yazılım içerisindeki proje yönetim kısmına tanımlanarak sonuçlar elde edilmiştir. Simülasyon sonucunda elde edilen teorik değerler, gerçek zamanlı veriler ile karşılaştırılarak sonuçlar analiz edilmiştir.

### 5.1. PVsyst Yazılımı

PVsyst, şebekeye bağlı veya şebeke bağlantısız ile tarımsal sulama gibi fotovoltaik sistemlerin tasarım ve modellemesinin yapılarak sonuçlarının analiz edilmesini sağlayan simülasyon programıdır. PVsyst; diğer FV sistem tasarım programlarına nazaran daha detaylı hesaplamalar içermektedir. Ayrıca tasarım için farklı parametrelerin kullanılmasına olanak sağlamaktadır (Akcan ve diğ., 2020).

PVsyst programı, FV panel ve inverter başta olmak üzere sistem elemanlarının teknik özelliklerini içeren ara yüzü ile çeşitli güçte ve gerilimde panel ve eviricilere kolaylıkla erişim sağlamaktadır. Tasarlanacak olan sistemin lokasyonu ve bu lokasyon için meteorolojik verilerin seçimi, yazılım içerisindeki Meteonorm veri tabanından gerçekleştirilir. FV sistemin kurulacağı bölgenin Güneş ışınım verileri detaylı olarak PVGIS, NASA gibi veri tabanlarından kullanılabilir. Bu simülasyon programı sayesinde 3 boyutlu modellemeler yapılarak gölgelenme durumları analiz edilebilmektedir. Ayrıca sistem ekonomik olarak değerlendirilerek maliyet analizi yapılabilmektedir. Simülasyon sonucunda ayrıntılı bir rapor oluşturularak sistemin faydaları ve oluşabilecek kayıplar hakkında kullanıcıyı bilgilendirir (Haydaroğlu, 2016).

Şekil 5.1'de PVsyst 7.2 simülasyon programının açılış ekranı görüntüsü verilmiştir. Bu kısımda ön tasarım, proje tasarımı, veritabanları ve araçlar gibi temel kısımlara veri girişi yapılabilmektedir.



Şekil 5.1. PVsyst V7.2 programının açılış ekranı

Preliminary design (Ön tasarım): Belirli bir durumda bir projeyi hızlı bir şekilde değerlendirmek için kullanılır. Tarımsal sulama ve off-grid (şebekeden bağımsız) FV sistemlerin ön tasarım ve boyutlandırma işlemleri bu bölümde gerçekleştirilmektedir. Bu kısımda panel ve evirici bilgileri olmadan aylık bazda üretim verileri ve sistem maliyetinin yaklaşık olarak belirlenmesi mümkündür.

Project design and simulation (Proje tasarımı ve simülasyon): Fotovoltaik sistem projelendirilmesinin yapıldığı yazılımın ana kısmıdır. Kurulması planlanan sisteme ait meteorolojik verilerin seçimi, sistem tasarımı, gölgelenme modelleri, kayıpların belirlenmesi ve ekonomik analiz bu kısımda yapılır.

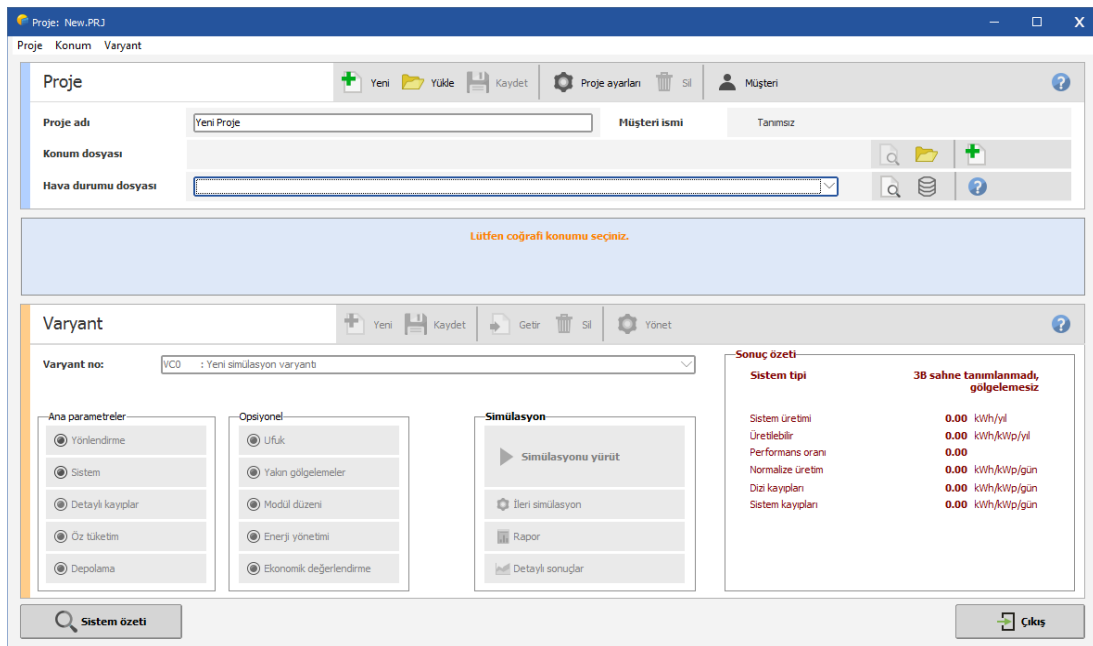
Databases (Veri tabanları): Aylık ve yıllık iklim verilerini içeren ve gerekli olması halinde iklim verilerinin sentetik olarak üretilebildiği bölümdür. Bu kısımda program içinde tanımlı tüm FV sistem bileşenlerinin (modül, inverter, akü vb.) teknik ve fiziksel özellikleri bulunmaktadır. Ayrıca bu bölümde programın veri tabanında bulunmayan sistem elemanlarına ait teknik ve fiziki özellikler tanımlanarak yeni bileşenler elde edilebilmektedir.

Tools (Araçlar): Bu kısımda bulunan araçlar vasıtasıyla fotovoltaik sistemlerin kurulum tahmini ve karakteristiği hızlı bir şekilde belirlenerek gözlemlenebilmektedir.

PVsyst programı, hesaplamalarına panelin yıllık degradasyon değerleri, kablolama detayları, bölgesel hava kirliliği, güneş ışınım verileri, gölgelenme durumu, albedo oranları, detaylı santral yerleşimleri ve şebeke analizi gibi birçok parametreyi dahil etmektedir (Çınaroğlu, 2021).

Bu tez çalışmasında şebeke bağlantılı endüstriyel çatı tipi bir GES tasarlanıp ayrıntılı sonuçlar elde edilmek istenmektedir. Bu kapsamda simülasyon programının açılış ekranında “Proje tasarımı” kısmının alt satırında yer alan sistem türlerinden “Şebekeye bağlı” seçilmiştir.

Yapılan şebekeye bağlı proje tasarımı seçiminden sonra Şekil 5.2’de gösterildiği gibi proje yönetimi kullanıcı sayfası açılır. Bu sayfanın üst kısmında ilk olarak proje isimlendirilir. Daha sonra sistemin kurulacağı yerin konumu seçilir ve bölgenin meteorolojik değerleri yazılımın veri tabanından çekilir. Sayfanın alt tarafında ise simülasyon sonuçlarını belirleyen sistem parametreleri detaylı olarak tanımlanır. Bunlara FV panel ve evirici seçimi, panel ve evirici sayısı, panel yönelimi, gölge analizi ve yatırım maliyeti değerleri örnek olarak gösterilebilir (Aksangör, 2019).



Şekil 5.2. PVsyst programı şebekeye bağlı proje yönetim sayfası

## 5.2. Endüstriyel Çatı Tipi Fotovoltaik Sistem Tasarımı

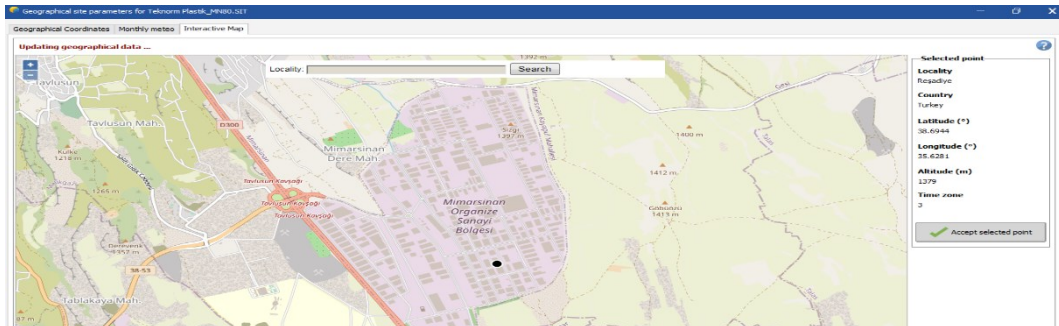
Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemler, yerel veya ulusal ölçekte bir elektrik şebekesine bağlı olarak çalışırlar. Bu sistemlerde üretilen enerji miktarı talep edilenden fazla ise fazla enerji şebekeye aktarılır. Üretilen enerji miktarı ihtiyaç duyulan enerji miktarından az ise şebekeden sisteme enerji aktarılır. Böylece sürekli ve sürdürülebilir bir enerji akışı sağlanmış olur. Günümüzde şebekeye bağlı fotovoltaik sistemler konut veya kurum binalarında çevre dostu enerji kaynaklarının kullanımını sağlayarak karbon salınımını azaltmaktadır (Eissa ve diğ., 2021).

Bir fotovoltaik sistem kurulumunda dikkate alınması gereken birçok etken vardır. Bu etkenlere örnek olarak tesisin bulunduğu bölgenin coğrafi konumu, güneş ışınım miktarı, sistem elemanlarının (panel, akü, evirici vb.) özellikleri ve gölgelenme durumu gösterilebilir. PVsyst gibi simülasyon programları sayesinde bu etkenleri göz önünde bulundurarak sisteme ait olan hesaplamaları yapmak daha kolaydır.

Bu tez çalışması kapsamında Kayseri ili Mimar Sinan Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan bir fabrikanın çatısında kurulu 1620 kWp güçteki fotovoltaik sistemin benzetimi yapılmıştır. Sistemin üretim değerleri PVsyst simülasyon aracı yardımıyla hesaplanmıştır. Elde edilen teorik değerler gerçek zamanlı veriler ile karşılaştırılarak sonuçlar analiz edilmiştir.

### 5.2.1. PVsyst Aracılığı ile Coğrafi Konum ve Meteorolojik Değerlerin Belirlenmesi

PVsyst simülasyon aracı içinde bir önceki bölümde belirtildiği üzere şebekeye bağlı sistem tasarım işlemleri gerçekleştirilmiştir. İlk olarak program üzerinde tesisin coğrafi konumu belirtilmiştir (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. PVsyst programında tesisin konumunun belirlenmesi

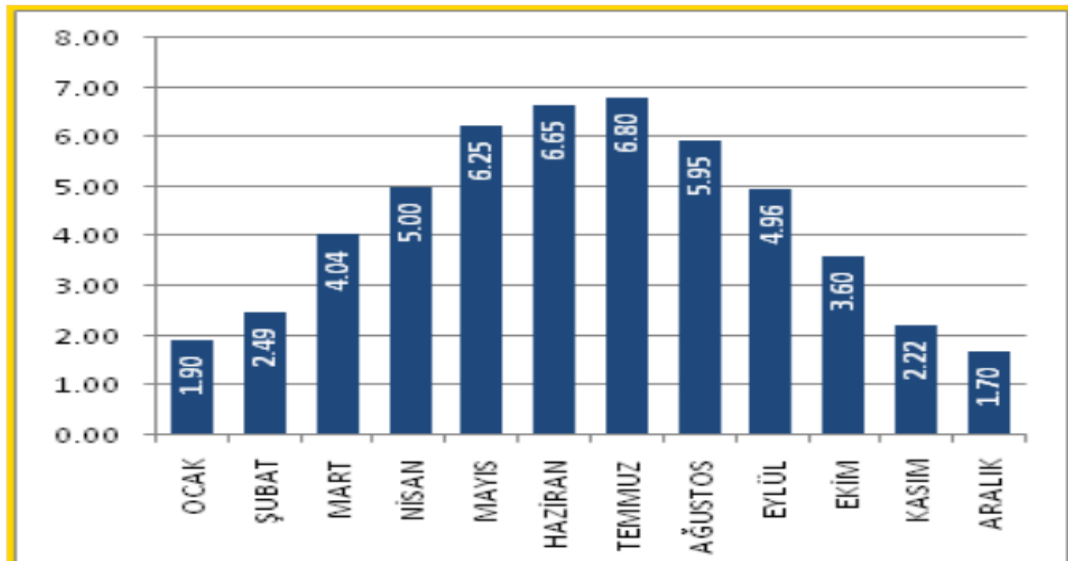
Santralin yeri işaretlendikten sonra, bölgenin meteorolojik verileri PVsyst yazılımında bulunan Meteonorm 8.0 veri tabanı üzerinden sentetik olarak üretilmiştir. Şekil 5.4’de bölgenin aylık meteorolojik değerleri gösterilmiştir.

	Global yatay ışınlama	Yatay difüz ışınlama	Sıcaklık	Rüzgar hızı	Linke bulanıklığı	Bağıl nem
	kWh/m <sup>2</sup> /gün	kWh/m <sup>2</sup> /gün	°C	m/s	[-]	%
Ocak	2.12	1.02	-1.2	2.20	3.008	74.7
Şubat	3.13	1.37	1.0	2.40	3.365	70.2
Mart	4.03	1.96	5.9	2.69	3.928	59.0
Nisan	5.29	2.14	10.5	2.50	4.495	53.9
Mayıs	6.63	2.28	15.2	2.40	4.077	55.3
Haziran	7.53	2.05	19.6	2.50	3.543	48.6
Temmuz	7.64	2.13	23.3	2.60	3.405	41.8
Ağustos	7.19	1.65	23.5	2.40	3.407	40.3
Eylül	5.81	1.40	18.0	2.09	3.237	45.4
Ekim	3.80	1.25	12.2	1.80	3.470	56.9
Kasım	2.51	1.13	5.5	1.70	3.142	66.9
Aralık	2.01	0.75	0.8	1.99	2.961	74.0
<b>Yıl</b>	<b>4.82</b>	<b>1.60</b>	<b>11.2</b>	<b>2.3</b>	<b>3.503</b>	<b>57.3</b>

Şekil 5.4. PVsyst programı üzerinde alınan bölgenin meteorolojik verileri

Bölgenin aylık ışınlam değerleri, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü’nün (EİGM) erişime sunduğu GEPA üzerinden alınarak Şekil 5.5’de gösterilmiştir. Bu değerler ile sentetik olarak üretilen ışınlam değerlerinin kıyaslanması Şekil 5.6’da verilmiştir. Buna göre yıllık ortalama ışınlam değeri Meteonorm veri tabanında 4,8 kWh/m<sup>2</sup>/gün, GEPA verilerinde 4,3 kWh/ m<sup>2</sup>/gün’dür.

**MELİKGAZİ Global Radyasyon Değerleri (KWh/m<sup>2</sup>-gün)**



Şekil 5.5. GEPA’ya göre bölgenin aylık ışınlam şiddetleri (URL-16)

## 5.2.2. Panel Yönelimleri, Eğim Açısı ve Azimut Açılarının Belirlenmesi

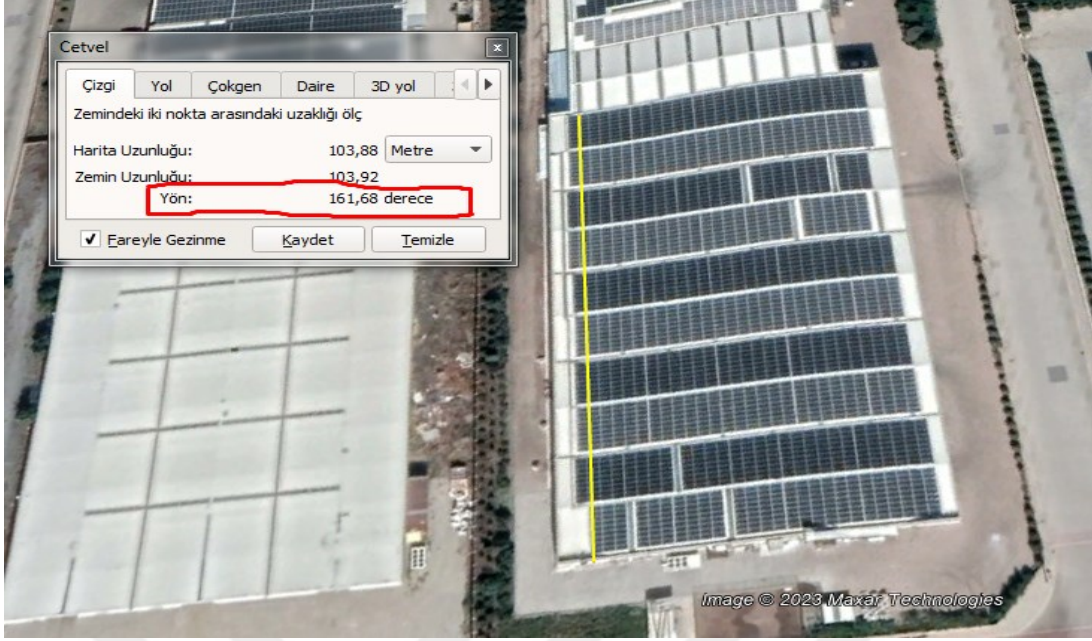
Güneş enerjisi sistemi uygulamalarında panellerin güneşe göre konumu, bina veya arazinin azimut açısı ve yatay düzleme göre açısal konumu sistem verimliliği adına büyük önem taşımaktadır. Sistemde kullanılacak panellerin yerleşimi, eğim ve azimut açıları yazılım üzerinde yönlendirme (orientation) kısmında belirtilir. Bu kısımda sabit eğik düzlem, farklı yönelimler, takip sistemi gibi birçok seçenek mevcuttur.

Bu çalışmada benzetimi yapılan çatının iki farklı eğim açısı ve yüzeyi olduğu için alan tipi farklı yönelimler seçeneği işaretlenmiştir. Bunun için PVsyst simülasyon aracına girilmesi gereken değerler, iki farklı açı ve iki farklı yüzey yönelimi için eğim ve azimut açılarıdır. Buradaki azimut açısı, panellerin bulunduğu yön ile Güney arasında kalan açıdır. Panelin doğuya doğru baktığı açı negatif, batıya doğru baktığı açı pozitif olarak kabul edilmektedir (Aksangör, 2019).

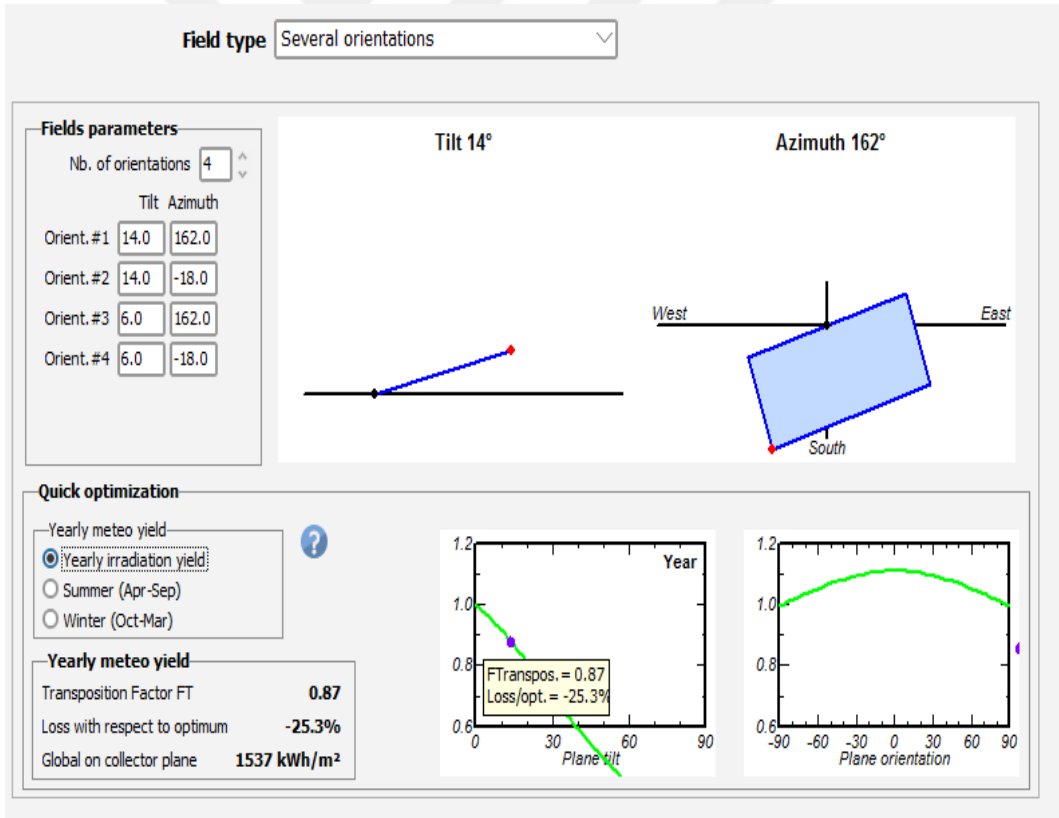
Tasarlanan bina çatısının eğimleri  $14^\circ$  ve  $6^\circ$  olarak belirlenmiştir. Yönelimlerin azimut açıları Google Earth Pro programı kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 5.6 ve 5.7’de gösterildiği gibi iki farklı çatı yönelimi belirlenmiştir. PVsyst programı referans olarak Kuzey yönünü almaktadır. Ancak bu çalışmadaki veriler Güney yönünü referans almaktadır. Bu nedenle ölçülen değerlerin  $180^\circ$  eksiği alınmıştır. Bu kapsamda elde edilen değerler Şekil 5.8’de gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Ön tarafta kalan panellerin azimut değerlerinin belirlenmesi



Şekil 5.7. Arka tarafta kalan panellerin azimut değerlerinin belirlenmesi



Şekil 5.8. Alan tipi, azimut açısı ve eğimin program arayüzünde tanımlanması

### 5.2.3. Fotovoltaik Panel ve Eviricinin PVsyst Programına Tanımlanması

PVsyst yazılım programı kullanıcıya veri tabanı üzerinden panel ve evirici seçimi için üretici firma ve üretim tarihlerine göre geniş bir kullanım alanı sunmaktadır. Panel ve eviricilerin mekanik ve elektriksel değerleri program veri tabanında tanımlanmıştır. Veri tabanında bulunmayan panellerin teknik değerleri programa girilerek yeni model oluşturulabilmektedir. Sistemde kullanılan panel ve evirici seçimleri Şekil 5.9’da gösterildiği gibi, proje yönetim sayfasında “System” bölümü seçildiğinde açılacak olan sayfa üzerinden yapılmaktadır.

The screenshot displays the PVsyst software interface for configuring a sub-array. The main window is titled 'Sub-array' and contains several sections:

- Sub-array name and Orientation:** Name: PV Array, Orient.: Fixed Tilted Plane, Tilt: 30°, Azimuth: 0°.
- Pre-sizing Help:** Enter planned power: 0.0 kWp, ... or available area(modules): 0 m².
- Select the PV module:** Available Now, Filter: All PV modules, HT-SAAE selected, Use optimizer: . String voltages: Vmpp (50°C): 0 V, Voc (-10°C): 0 V.
- Select the inverter:** Available Now, Inverter Info, Huawei Technologies selected, Number of inverters: 1, Operating voltage: 300-600 V, Global Inverter's power: 0 kWac, Use multi-MPPT:  (Secondary), Input maximum voltage: 0 V.
- Design the array:** Number of modules and strings, Mod. in series: 1, Nb. strings: 1, Overload loss: 0%, Prom ratio: 1.0, Show sizing: . Operating conditions: Vmpp: 0 V, Impp: 0 A, Isc: 0 A, Plane irradiance: 1000 W/m², Max. operating power: 0 kW (at max. irradiance and 50°C), Array nom. Power (STC): 0 kWp.
- List of subarrays:** Table with columns: Name, #Mod, #Inv, #String, #MPPT. Row: PV Array, 1, 1, 1, 1.
- Global system summary:** Nb. of modules: xx, Module area: xx m², Nb. of inverters: xx, Nominal PV Power: xx kWp, Maximum PV Power: xx kWDC, Nominal AC Power: xx kWAC, Prom ratio: xx.

Şekil 5.9. PVsyst arayüzünde modül ve evirici tanımlama sayfası

Benzetimi gerçekleştirilen sistem için iki farklı eğim ve iki farklı yönelim söz konusudur. Sistemde bu dört farklı yönelim için panel ve eviriciler simülasyon aracına ayrı şekilde tanımlanmıştır.

Bu tez çalışmasında benzetimi yapılan sistemde HT Solar firmasının 400 W gücündeki fotovoltaik paneller kullanılmıştır. Kullanılan panel programın veri tabanında yer almadığı için Tablo 5.1’de panelin standart test koşulları (25°C hücre sıcaklığı, 1000 W/m<sup>2</sup> ışımaya ve AM 1,5 aralığı) altında elektriksel ve mekanik veriler ile sıcaklık katsayıları verilmiştir. Bu simülasyon programının veri tabanına tanımlanmıştır.

Tablo 5.1. Kullanılan FV panelin verileri

ELEKTRİKSEL VERİLER (STK)	
Nominal Güç (Pmax)	400 W
Nominal Gerilim (Vmp)	48,7 V
Nominal Akım (Imp)	10,79 A
Açık Devre Gerilimi (Voc)	40,7 V
Kısa Devre Akımı (Isc)	9,84 A
Modül Verimi (%)	19,95
MEKANİK VERİLER	
Hücre Teknolojisi	Mono-Si
Hücre Sayısı	72
Panel Uzunluğu	2008 mm
Panel Genişliği	1002 mm
Panel Kalınlığı	35 mm
Ağırlık	22,5 kg
SICAKLIK KATSAYILARI	
Nominal İşletim Hücre Sıcaklığı	45°C±2°C
Pmax	-0,355 %/°C
Voc	-0,275 %/°C
Isc	+0,063 %/°C

Tablo 5.1’de verilen panelin Standart Test Koşulları (STK) altındaki elektriksel ve mekanik değerler ile panelin sıcaklık katsayıları sırasıyla Şekil 5.10., Şekil 5.11. ve Şekil 5.12’de gösterildiği gibi tanımlanarak panel seçimi yapılmıştır.

The screenshot shows the 'Definition of a PV module' software interface. The 'Basic data' tab is active, displaying the following information:

- Model:** HT72-156M-400 W | **Manufacturer:** HT-SAAE
- File name:** HTT-SAAE-400 W.PAN | **Data source:** Manufacturer
- Nom. Power (at STC):** 400.0 Wp | **Tol. -/+:** 0.0 | 2.0 %
- Technology:** Si-mono

The 'Manufacturer specifications or other measurements' section includes:

- Reference conditions:** GRef 1000 W/m², TRef 25 °C
- Short-circuit current:** Isc 10.790 A, Open circuit Voc 48.70 V
- Max Power Point:** Imp 9.840 A, Vmpp 40.70 V
- Temperature coefficient:** muIsc 6.8 mA/°C, or muIsc 0.063 %/°C
- Nb cells:** 72 in series

The 'Internal model result tool' section shows:

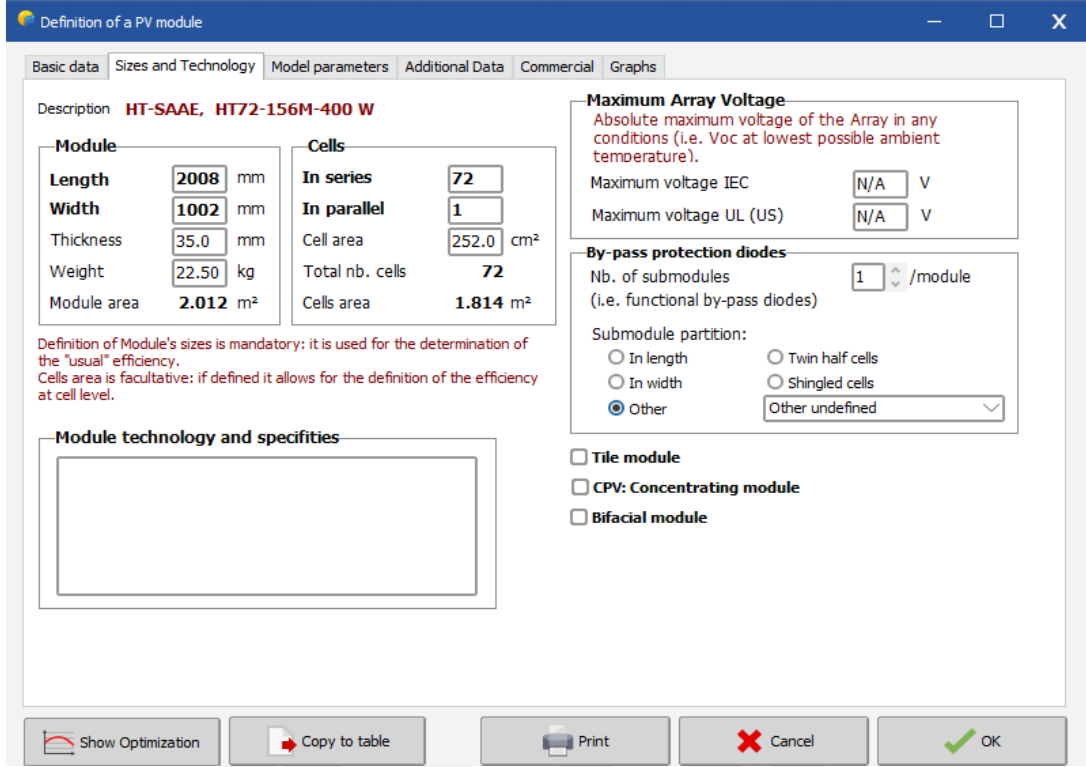
- Operating conditions:** GOper 1000 W/m², TOper 25 °C
- Max Power Point:** Pmpp 401.4 W, Voltage Vmpp 40.0 V
- Short-circuit current:** Isc 10.79 A, Open circuit Voc 48.7 V
- Efficiency:** / Cells area 22.12 %, / Module area 19.95 %

The 'Model summary' section includes:

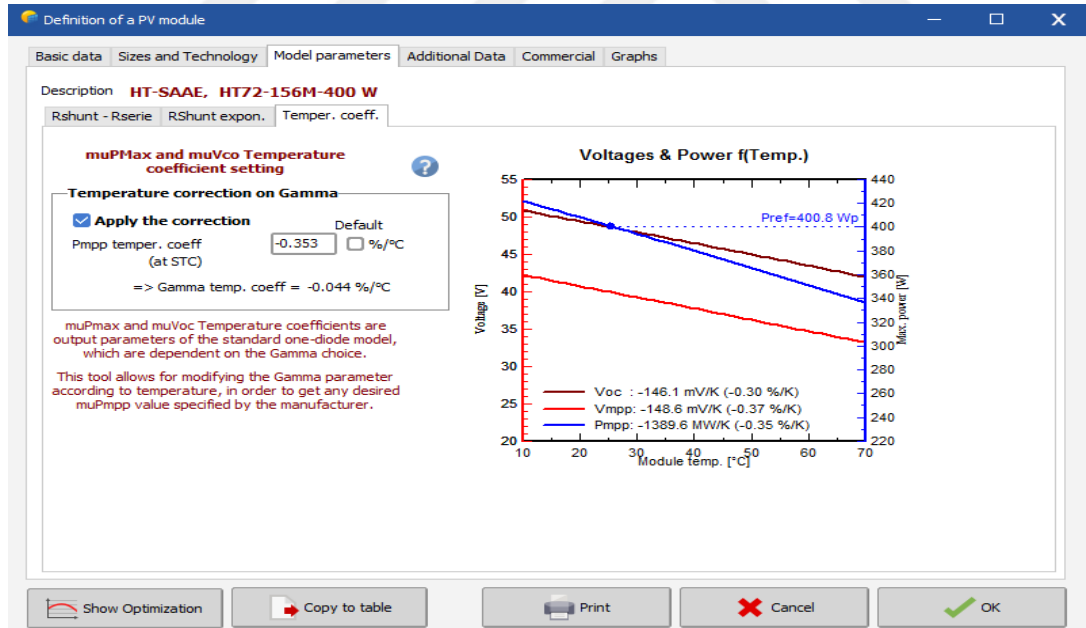
- Main parameters:** R shunt 220 Ω, Rsh(G=0) 900 Ω
- R serie model:** R serie max. 0.20 Ω, R serie apparent 0.34 Ω
- Model parameters:** Gamma 1.242, IoRef 6.58 nA, muVoc -146 mV/°C, muPMax fixed -0.35 /°C

At the bottom, there are buttons for 'Show Optimization', 'Copy to table', 'Print', 'Cancel', and 'OK'.

Şekil 5.10. Panelin elektriksel değerlerinin programa girilmesi



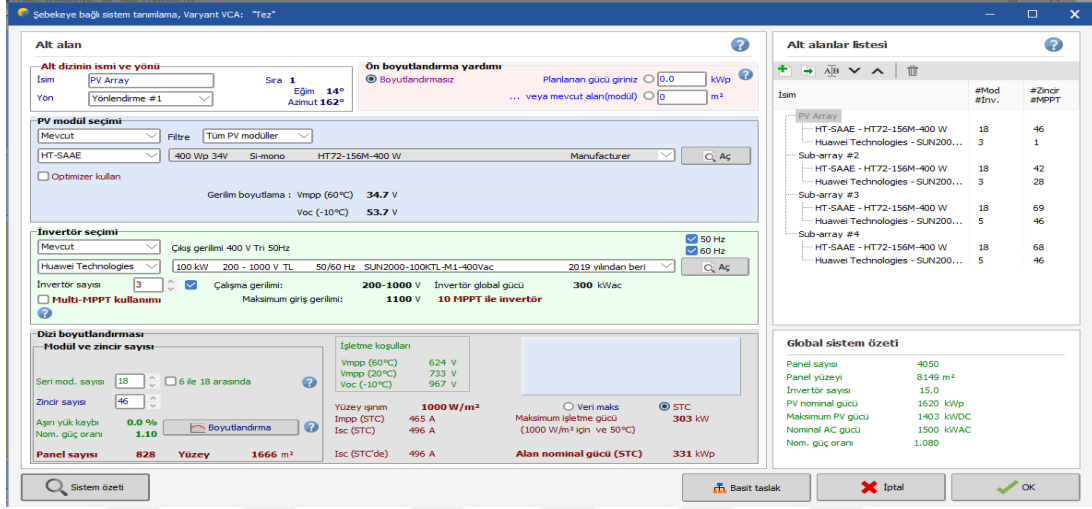
Şekil 5.11. Panelin mekaniksel değerlerinin programa girilmesi



Şekil 5.12. Panelin sıcaklık katsayılarının programa girilmesi

Benzetimi yapılan sistemde Huawei marka SUN2000-100KTL-M1 model evirici kullanılmıştır. 200 V-1000 V işletme voltajı, 100 kW nominal güç ve %98,8 verimliliğe sahip olan bu evirici programın veri tabanında bulunduğu için direkt olarak seçilmiştir.

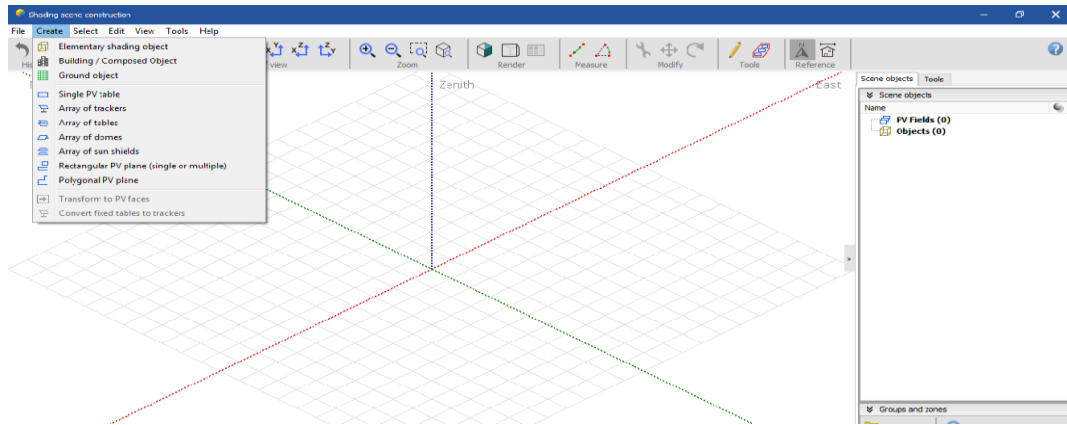
Yapılan işlemler sonucunda tanımlanan şebeke bağlantılı sistem bileşenleri Şekil 5.13’de belirtilmiştir.



Şekil 5.13. Tasarlanan sistem bileşenlerinin PVsyst arayüzünde tanımlanması

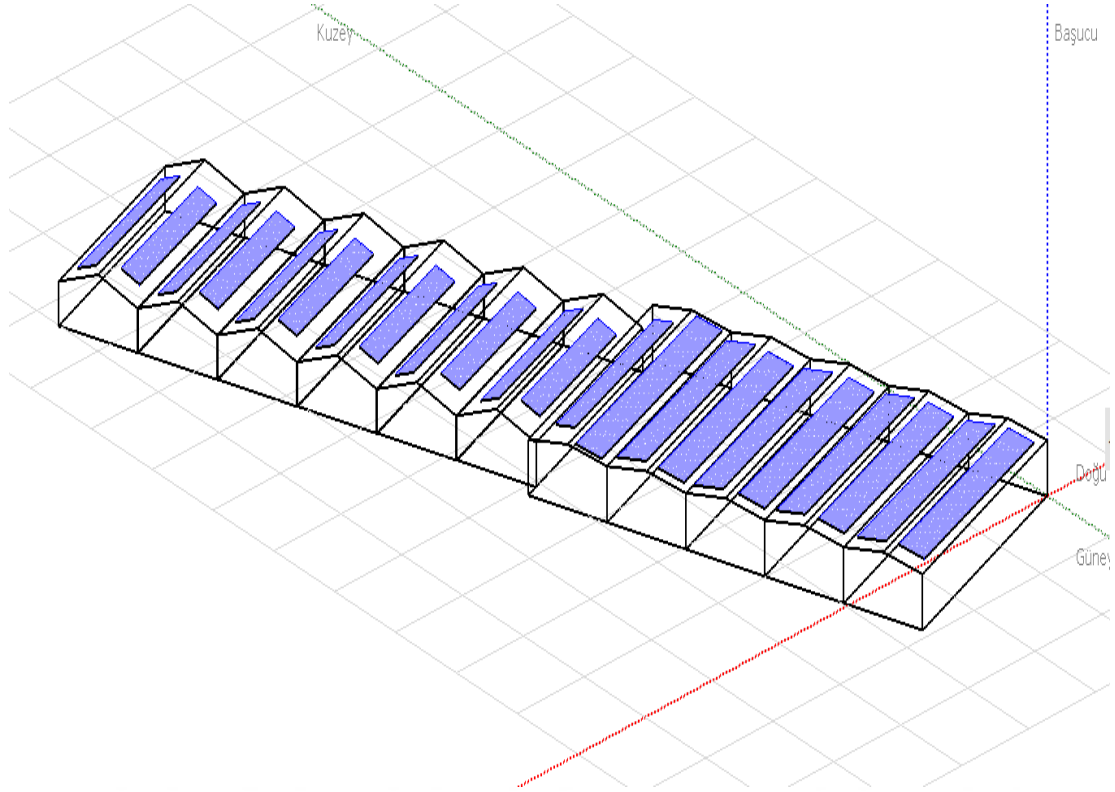
#### 5.2.4. Endüstriyel Çatı GES Uygulamasının 3D Çizimi

Fotovoltaik sistemlerin kurulduğu yerin yakınında bulunan ağaç, konut vb. gibi elemanların bulunması fotovoltaik panellerin yüzeyinde gölge oluşturur. PVsyst simülasyon aracında, gölge durumunun sistem performansına olan etkisini incelemek mümkündür. Bunun için program arayüzünde bulunan “Near Shadings” kısmı kullanılır. Yakın gölgelerin tanımlandığı kısımda ”Construction/Perspective” bölümünde “Create” seçeneğinin sunduğu opsiyonlar kullanılarak gölge analizleri için gereken çizimler yapılır (Şekil 5.14). Sistemin kurulacağı bölgede bulunan gölge unsurları çizime dâhil edilir (Aksangör, 2019).



Şekil 5.14. PVsyst simülasyon programı modelleme sayfası

Bu çalışmada kullanılan endüstriyel çatı uygulamalı fotovoltaik sistemin 3D modellemesi Şekil 5.15’de gösterilmiştir. Tesisin yakınında herhangi bir ağaç, bina vb. bulunmadığından herhangi bir gölge elemanı modellemeye dahil edilmemiştir.



Şekil 5.15. Endüstriyel çatı GES uygulamasının 3D çizimi

PVsyst yazılım programında yapılan tüm tasarım aşamalarından sonra yapılan çalışmalar kaydedilerek simülasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Sisteme ait yapılan simülasyon sonucunda elde edilen değerler rapor şeklinde alınarak sonuçlar yorumlanmıştır.

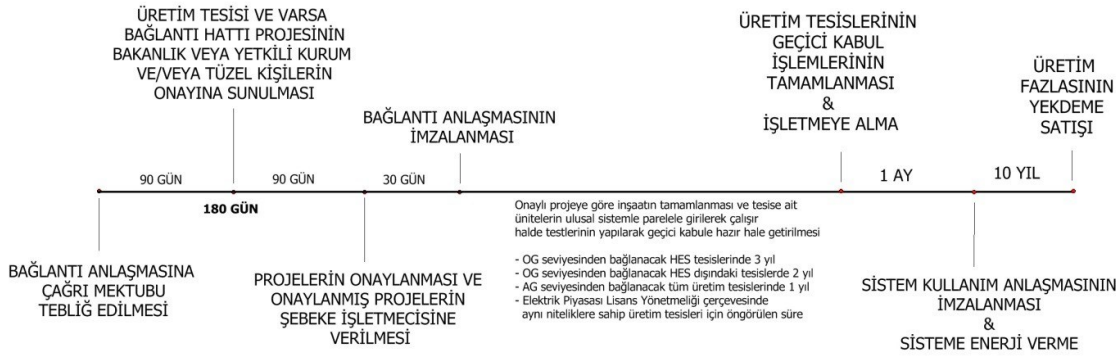
### 5.3. Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliğinin İncelenmesi

Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği ile kişilerin herhangi bir lisans veya şirket sahibi olmadan elektrik üretimi gerçekleştirmesine olanak sağlanmıştır. Bu yönetmelik ile ihtiyaç duyulan elektriğin; tüketicinin kurmuş olduğu bölgeye en yakın üretim santralinden karşılanması (öz tüketim modeli) amaçlanmıştır. Lisanssız elektrik üretimine başvuru için sunulması gereken bilgi ve belgeler Şekil 5.16’da gösterilmiştir (URL-17).

1	LİSANSIZ ÜRETİM BAĞLANTI BAŞVURU FORMU (YÖNETMELİK EK-1)
2	TÜZEL KİŞİYİ TEMSİL VE İMZALAMA YETKİLİ SAHİS/SAHİSLARIN YETKİ BELGELERİ
3	BAŞVURUDA BULUNAN TÜZEL KİŞİNİN, TÜZEL KİŞİLİKTE DOĞRUDAN VEYA DOLAYLI PAY SAHİBİ OLAN GERÇEK VEYA TÜZEL KİŞİLERİN ORTAKLIK YAPISINI VE VARLIĞI HALİNDE KONTROL İLİŞKİSİNİ ORTAYA KOYAN BİLGİ VE BELGELER
4	ÜRETİM TESİSİNİN KURULACAĞI YERE AİT TAPU, ASGARİ İKİ YIL SÜRELİ EKİNDE İMZA SİRKÜLERİ VEYA İMZA BEYANNAMESİ YER ALAN KİRA SÖZLEŞMESİ YADA KULLANIM HAKKININ EDİNİLDİĞİNE DAİR TEVSİK EDİCİ BELGE
5	ÇATI UYGULAMASI DIŞINDAKİ BAŞVURULAR İÇİN; A - MUTLAK TARIM ARAZİLERİ B - ÖZEL ÜRÜN ARAZİLERİ C - DİKİLİ TARIM ARAZİLERİ D - SULU TARIM ARAZİLERİ E - ÇEVRE ARAZİLERDE TARIMSAL KULLANIM BÜTÜNLÜĞÜNÜ BOZAN ALANLARI KAPSAMADIGINA İLİŞKİN TARIM VE ORMAN BAKANLIĞI VEYA SÖZ KONUSU BAKANLIĞIN İL MÜDÜRLÜKLERİNDEN ALINACAK BELGE
6	TÜKETİM TESİS(LER)İNE İLİŞKİN BİLGİLER 1 Mevcut tüketim tesisleri için Tekil kod 2 Kurulması planlanan tüketim tesisine ilişkin A- 3/5/1985 tarihli ve 3194 sayılı İmar Kanununa göre verilen inşaat ruhsatı ve/veya inşaat ruhsatı yerine geçen belge. B- Onaylı elektrik proje kapağı
7	ÇATI UYGULAMALARI HARİÇ OLMAK ÜZERE EŞİK DEĞERLERİN ÜZERİNDE OLAN PROJELER İÇİN ÇEVRESEL ETKİ DEĞERLENDİRMESİ YÖNETMELİĞİ KAPSAMINDAKİ BELGE
8	BAŞVURUDA BULUNAN TÜZEL KİŞİNİN, TÜZEL KİŞİLİKTE DOĞRUDAN VEYA DOLAYLI PAY SAHİBİ OLAN GERÇEK VEYA TÜZEL KİŞİLERİN ORTAKLIK YAPISINI VE VARLIĞI HALİNDE KONTROL İLİŞKİSİNİ ORTAYA KOYAN BİLGİ VE BELGELER
9	KURULACAK TESİSİN TEKNİK ÖZELLİKLERİNİ DE GÖSTEREN TEK HAT ŞEMASI
10	ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI ENERJİ İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ TARAFINDAN HAZIRLANAN FORMATTA TEKNİK DEĞERLENDİRME FORMU (BİR CD İLE EXCEL FORMATINDA SUNULMASI GEREKMEKTEDİR.)
11	LİHKAP VEYA HARİTA MÜHENDİSİ ONAYLI KOORDİNATLI APLİKASYON KROKİSİ
12	YÖNETMELİĞİN 37 İNCİ MADDESİNİN ONUNCU FIKRASI KAPSAMINDA SUNULACAK BEYAN (EK-1)
13	TESİS TOPLAM VERİMLİLİĞİNE İLİŞKİN BELGE
14	YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ KULLANIM HAKKININ ELDE EDİLDİĞİNE DAİR BELGE 1 Rüzgâr ve güneş enerjisi ile biyokütle ve biyokütleden elde edilen gazı (çöp gazı dâhil) dayalı olarak kurulacak üretim tesisleri için herhangi bir belge istenmez. 2 Jeotermal enerji kaynağına dayalı olarak kurulacak üretim tesisleri için işletilmekte olan jeotermal kaynaklarda 3/6/2007 tarihli ve 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanununa ve uygulanmasına ilişkin ikincil mevzuata göre edinilmiş işletme ruhsatı, henüz işletileme aşamasında olmayan jeotermal kaynaklar için ise arama ruhsatı sunulur. 3 Kamu veya hazine arazisi veya orman sayılan alanlar üzerine kurulacak üretim tesisinin hidrolik kaynağa dayalı üretim tesisi olması halinde su kullanım hakkının elde edilmişine
15	YÖNETMELİĞİN 11 İNCİ MADDESİ 4 ÜNCÜ FIKRASI KAPSAMINDA KURULACAK TESİSLER İÇİN DSİ TARAFINDAN MER'İ MEVZUAT KAPSAMINDA VERİLEN ONAY BELGESİ.

Şekil 5.16. Lisanssız elektrik üretimi başvuru bilgi ve belgeleri (URL-17)

Lisanssız elektrik üretim projesi geliştirilirken üç ana basamak takip edilmektedir. Bunlar; başvurunun yapılması, başvuruların derlenmesi ve değerlendirilmesi ve bağlantı ve sistem anlaşmasının imzalanmasıdır. Lisanssız elektrik üretimi başvuruları için yol haritası Şekil 5.17’de verilmiştir (URL-18).



Şekil 5.17. Lisanssız elektrik üretimi başvuruları için yol haritası (URL-18).

Lisanssız üretim tesisleri, yönetmelikte belirtilen istisnalar haricinde dağıtım sistemine bağlanır. Bu yönetmelik kapsamında aynı tarife ve aynı bağlantı noktasına sahip kişilere tüketimleri oranında bir veya birden çok üretim tesisi inşa edilebilir. Aynı şekilde enerji tüketimi ortak bir sayaçtan ölçülen kişilerin tüketim miktarları birleştirilerek üretim santralleri kurulabilir. Üretim tesisinin teknik özelliklerine ve dağıtım sisteminin mevcut kapasitesine göre ilgili şebeke işletmecisi üretim tesisini OG veya AG seviyesinden dağıtım sistemine bağlayabilir. Bağlantı detayları ilgili şebeke işletmecisinin göndereceği

çağrı mektubunda belirtilir. AG seviyesinden bağlanacak üretim tesislerinin toplam kapasitesi, bu üretim tesislerinin bağlı olduğu dağıtım trafosunun ilgili şebeke işletmecisine ait olması halinde trafo gücünün %50'sini geçemez. Transformatorün başvuru sahibine ait olması durumunda, söz konusu kapasite azami transformator gücü kadar olur.

12.05.2019 tarihinde yürürlüğe giren Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği'nin 23. Maddesinin a bendine göre üretim tesisi ile tüketim tesisinin aynı yerde bulunması halinde ihtiyaç fazlası enerji, bağlantı anlaşmasında belirlenen yere takılan sayaç verilerinden saatlik bazda tespit edilir. 09.05.2019 tarihli 1044 sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi ile ihtiyaç fazlası enerjinin satın alma koşulu belirtilmiştir. Buna göre "kaynak türü fark etmeksizin tüm yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı olarak lisanssız üretim yapılan santrallerde aylık mahsuplaşma sonucunda her fatura döneminde şebekeye verilen ihtiyaç fazlası elektrik enerjisi görevli tedarik şirketi tarafından tabi olunan abone grubuna ait perakende tek zamanlı aktif enerji bedelleri üzerinden 10 yıl süreyle satın alınacağı" ifade edilmiştir. (URL-19).

Bu proje, 12.05.2019 tarihinde yürürlüğe giren Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği'ne göre; kurulu gücü 1 MW veya Cumhurbaşkanlığı kararnamesi ile belirtilen kurulu güç sınırına kadar olan üretim tesisleri bağlamında başvurusu yapılarak şebekeye bağlantısı yapılmıştır.

Bu çalışmada benzetimi yapılan santral 2021 yılında devreye alınmıştır. Enerji satış başlangıç yılı olarak aynı yıl seçilmiştir. Santralin ekonomik değerlendirme kısmında kullanılan 01.01.2021 tarihli nihai tarife tablosu Şekil 5.18'de verilmiştir. Bu kapsamda tesis için enerji satış fiyatı sanayi grubunda tek terimli ve zamanlı enerji bedeli olan 0,665016 TL/kWh olacaktır. Aynı tablonun nihai tarife kısmında üreticiler için tek terimli dağıtım bedeli 0,027720 TL/kWh olarak belirtilmiştir. Dolar kuru, Merkez Bankası verilerine göre söz konusu yılın ilk gününde 7,3602 TL olarak açıklanmıştır (URL-20). Buna göre enerji satış fiyatını Dolar kuruna çevirdiğimizde güncel fiyat 0,0903 \$/kWh, dağıtım bedeli 0,0037 \$/kWh olacaktır.

EPDK tarafından onaylanan ve 1 Ocak 2021 Tarihinden İtibaren Uygulanacak Vergi, Fon ve Pay Hariç Tarifeler											
Görevli Tedarik Şirketinden Enerji Alan İletim Sistemi Kullanıcısı Tüketiciler											
		Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece						
		kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh						
		55,1544	55,9104	92,0586	26,7352						
Dağıtım Sistemi Kullanıcıları											
Görevli Tedarik Şirketinden Enerji Alan Tüketiciler					Özel Tedarikçiden Enerji Alan Tüketiciler İçin Sistem Kullanım Tarifeleri						
Kapasite		Aktif Enerji + Değişim				Reaktif Enerji	Kapasite		Değişim Bedeli	Reaktif Enerji	
Güç Bedeli	Güç Aşım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece		Güç Bedeli	Güç Aşım Bedeli			
kr/Ay/kW	kr/Ay/kW	kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh		kr/Ay/kW	kr/kWh			kr/kVARh
Orta Gerilim					Orta Gerilim						
Çift Terimli					Çift Terimli						
Sanayi	361,5722	723,1444	65,6291	66,3852	102,5335	37,2100	35,5085	361,5722	723,1444	10,8794	35,5085
Ticarethane	582,1284	1.164,2568	76,3589	77,0458	116,3773	45,7509	35,5085	582,1284	1.164,2568	16,9552	35,5085
Mesken	567,7013	1.135,4026	57,6302	58,4468	88,1897	34,6620	35,5085	567,7013	1.135,4026	16,7941	35,5085
Tarımsal Sulama	561,7915	1.123,5830	67,8124	68,4321	103,8029	40,1674	35,5085	561,7915	1.123,5830	13,9639	35,5085
Aydınlatma	578,6263	1.157,2526	70,6163					578,6263	1.157,2526	16,2734	
Tek Terimli					Tek Terimli						
Sanayi			66,5016	67,2580	103,4063	38,0827	35,5085			12,0172	35,5085
Ticarethane			80,6293	81,3160	120,6478	50,0212	35,5085			21,1497	35,5085
Mesken			60,9258	61,7425	91,4850	37,8574	35,5085			20,7364	35,5085
Tarımsal Sulama			71,2285	71,8482	107,2190	43,5831	35,5085			17,3866	35,5085
Aydınlatma			74,7008							20,2997	
Alçak Gerilim					Alçak Gerilim						
Tek Terimli					Tek Terimli						
Sanayi			73,8207	74,5767	110,7250	45,4016	35,5085			18,5931	35,5085
Ticarethane			85,1094	85,7960	125,1277	54,5013	35,5085			25,1976	35,5085
Mesken			64,4070	65,2238	94,9665	41,4387	35,5085			24,6441	35,5085
Şehit Aileleri ve Muharip Malul Gaziler			30,8931							16,7144	
Tarımsal Sulama			74,9003	76,5231	110,8910	47,2850	35,5085			20,7044	35,5085
Aydınlatma			78,9437							24,1338	
Genel Aydınlatma			57,9192								
Üreticiler İçin Veriş Yönünde Çift Terimli Dağıtım Tarifesi					Üreticiler İçin Veriş Yönünde Tek Terimli Dağıtım Tarifesi						
Kapasite		Değişim Bedeli			Reaktif Enerji	Değişim Bedeli		Reaktif Enerji			
Güç Bedeli	Güç Aşım Bedeli	kr/kWh				kr/kWh	kr/kVARh				
kr/Ay/kW	kr/Ay/kW				kr/kVARh						
Üretici	298,0810	596,1620				2,0068	35,5085	2,7220	35,5085		

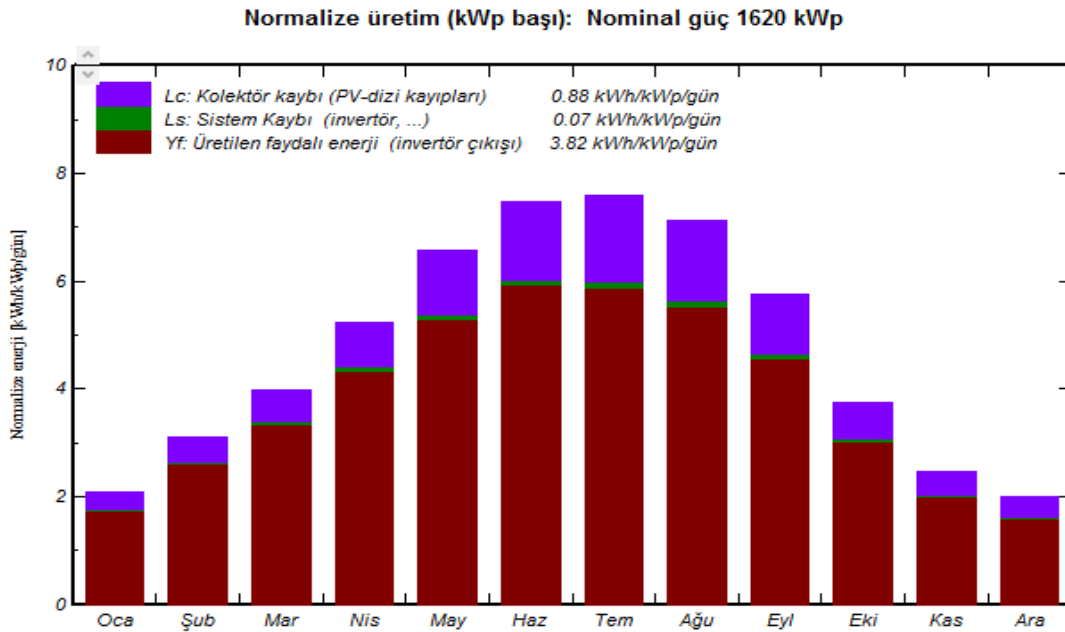
Şekil 5.18. 01/01/2021 tarihinden itibaren uygulanacak nihai tarife tablosu (EPDK,2021)

## 6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde modellenen endüstriyel çatı GES santralının PVsyst yazılımı ile yapılan simülasyon sonucu elde edilen bulgular incelenmiştir. Sistemin performans oranı değerlendirilerek ortaya çıkan kayıplar detaylı şekilde analiz edilmiştir. Son kısımda simülasyon sonucu elde edilen santralin öngörülen enerji üretimi gerçek üretim değerleri ile kıyaslanarak sonuçlar yorumlanmıştır. Program üzerinden alınan sisteme ait rapor Ek-A'da verilmiştir.

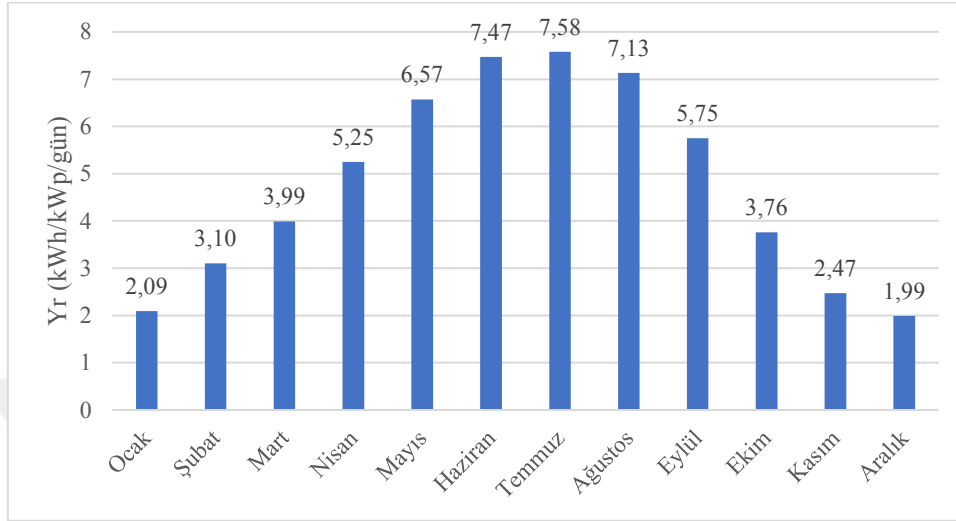
### 6.1. PVsyst Simülasyon Sonucuna Göre Şebekeye Bağlı FV Sistemin Performans Analizi

Endüstriyel Çatı GES için yapılan tasarım ve benzetim sonucu PVsyst programından elde edilmiş olan aylık üretim ve kayıp miktarları Şekil 6.1'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere en fazla üretim yaz ayları olan Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında olmuştur. En fazla kayıplar ise sırasıyla Temmuz, Ağustos ve Haziran aylarında olmuştur. Şekilde belirtildiği üzere sistemin günlük enerji üretimi 3,82 kWh / kWp ve günlük sistem kaybı 0,07 kWh / kWp olarak elde edilmiştir.



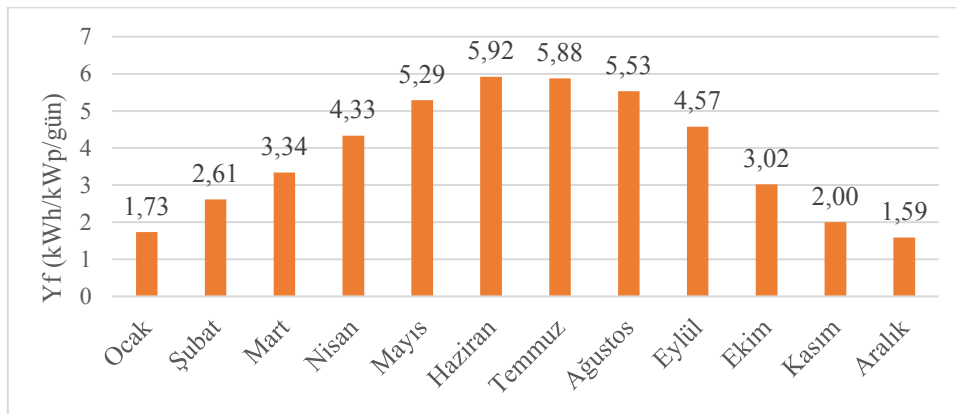
Şekil 6.1. Aylık üretim ve kayıp miktarları

Simülasyon bulgularına göre aylık olarak referans verimin dağılımı Şekil 6.2’de gösterilmiştir. Buna göre en yüksek verim Temmuz ayında, en düşük verim ise Aralık ayında görülmüştür.



Şekil 6.2. Referans verimin aylık dağılımı

Şekil 6.3’de simülasyon sonucu elde edilen nihai verimin aylık dağılımı verilmiştir. Buna göre sistem en yüksek nihai verime 5,92 kWh/kWp/gün ile Haziran ayında ulaşmıştır. Sistem nihai veriminin en düşük değeri ise 1,59 kWh/kWp/gün ile Aralık ayında tespit edilmiştir.



Şekil 6.3. Nihai verimin aylık dağılımı

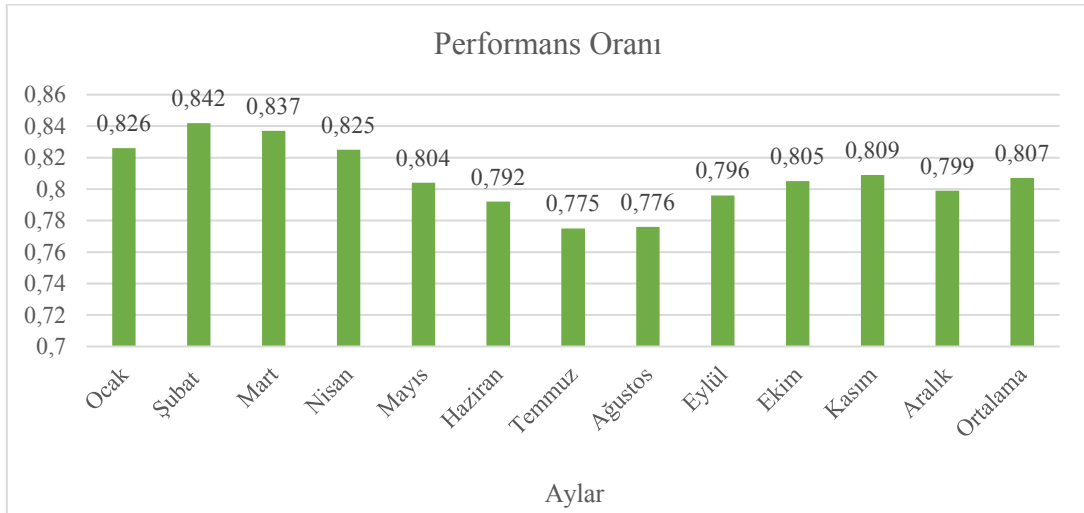
Tablo 6.1’de simülasyon sonucu elde edilen sisteme ait aylık bazda küresel ve etkin ışıma değerleri, dizilerde üretilen ve şebeke tarafına gönderilen enerji miktarları, ortalama sıcaklıklar ve söz konusu değerlerin yıllık verileri gösterilmiştir. Buna göre enerji ve ışıma değerleri en yüksek seviyesine Temmuz ayında çıkmıştır. En düşük ışıma ve enerji

değerleri ise Aralık'ta gözlenmiştir. en yüksek sıcaklık 23,45 °C ile Ağustos ayında, en düşük sıcaklık ise -1,18 °C ile Ocak ayında tespit edilmiştir.

Tablo 6.1.Simülasyon sonucu elde edilen aylık ve yıllık ışıma, enerji ve sıcaklık değerleri

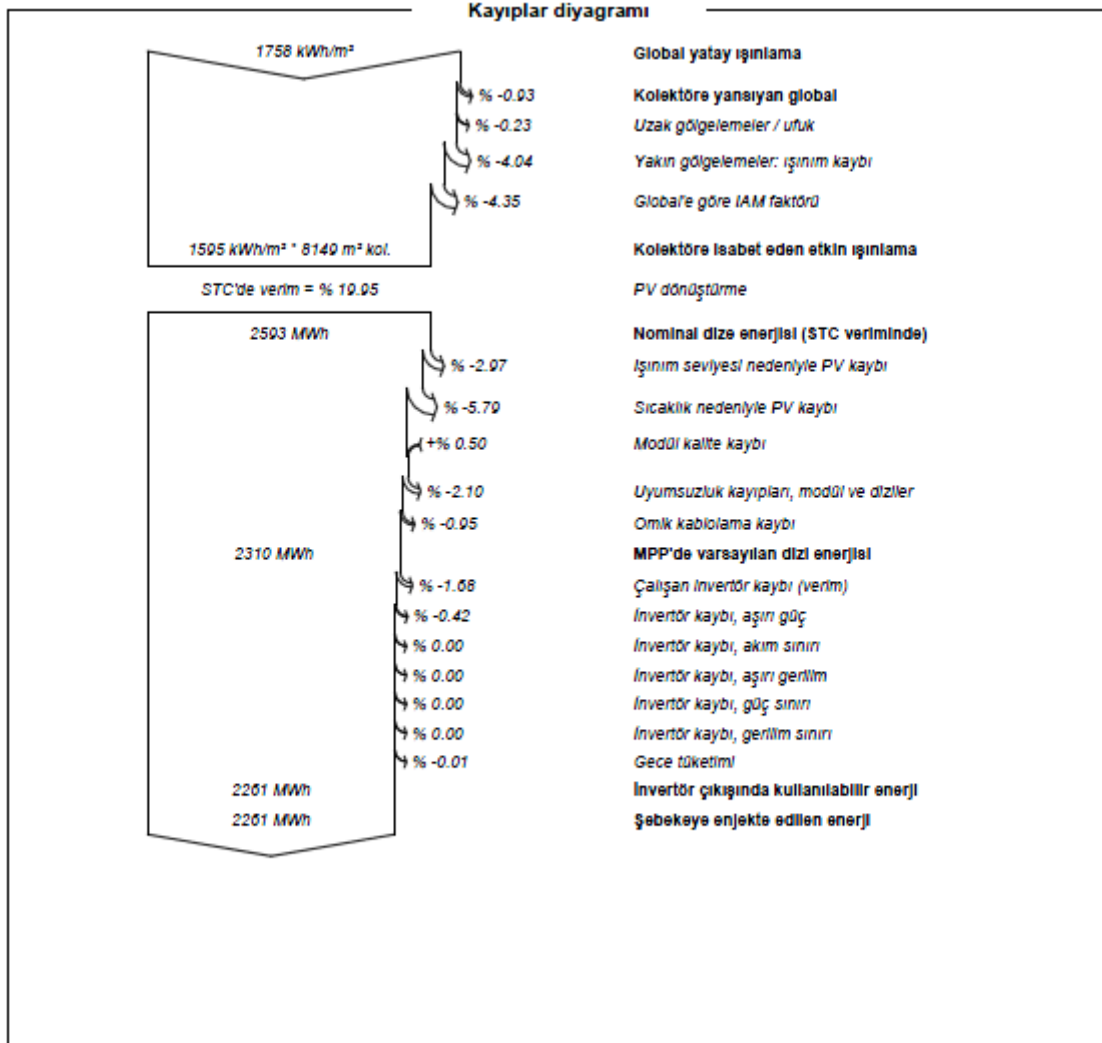
	Küresel Işıma (kWh/m <sup>2</sup> )	Etkin Işıma (kWh/m <sup>2</sup> )	E <sub>dizi</sub> (MWh)	E <sub>şebeke</sub> (MWh)	Sıcaklık (°C)
Ocak	65,6	56,8	88,2	86,7	-1,18
Şubat	87,7	77,8	120,3	118,3	0,98
Mart	125,0	113,0	170,8	167,9	5,92
Nisan	158,7	145,1	214,0	210,3	10,48
Mayıs	205,6	188,7	270,1	265,5	15,19
Haziran	225,8	208,4	292,7	287,7	19,55
Temmuz	236,9	218,3	300,2	295,1	23,34
Ağustos	223,0	204,7	282,7	277,9	23,45
Eylül	174,2	158,5	226,0	222,3	18,04
Ekim	117,9	105,2	154,4	151,9	12,22
Kasım	75,2	65,5	98,9	97,3	5,53
Aralık	62,3	53,0	81,2	79,7	0,76
YIL	1757,9	1595	2299,5	2260,6	11,19

Simülasyon sonucunda bulunan sisteme ait performans oranının aylık dağılımı ve yıllık değeri Şekil 6.4'de gösterilmiştir. Buna göre sistemin performans oranı %84,2 ile Şubat ayında en yüksek değerine ulaşmıştır. En düşük performans oranı ise %77,5 ile Temmuz ayında görülmüştür. Sistemin yıllık ortalama performans oranı ise %80,7 olarak bulunmuştur.



Şekil 6.4. Sistemin aylık performans oranının değişimi ve ortalama yıllık değeri

Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemin enerji kayıp diyagramı Şekil 6.5’de belirtilmiştir.



Şekil 6.5. Sistemin enerji kayıp diyagramı

Diyagramdan görüleceği üzere, sistem kurulumu için seçilen alanda yıllık küresel ışınım miktarı 1758 kWh/m<sup>2</sup>'dir. FV modüller, çatının eğimine göre 6° ve 15°'lik açılarla yerleştirilmişlerdir. Bu eğim açıları modüller için optimum değerde olmadıkları için modül yüzeyine gelen ışınım miktarı %0,93 oranında azalmıştır. Yapılan modellemeye göre gölgelenmeler sebebiyle panel yüzeyine gelen ışınımın %4,27'si kaybedilmiştir. Açık yansımaya faktörü olarak tanımlanan Güneş'in geliş açısına bağlı olarak değişen ışınım kaybının miktarı ise %4,35'tir. Bütün bu kayıplara genel olarak optik kayıplar adı verilir. Optik kayıplar toplandığında alandaki yatay düzleme gelen ışınımın %9,55 oranında azaldığı görülmektedir. Böylece modül yüzeyindeki etkin ışınım miktarı 1595 kWh/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Işınım değerinin toplam modül alanı 8149 m<sup>2</sup> ile çarpılması sonucu

üretilebilecek enerji miktarı 12.997 MWh olacaktır. Benzetimi yapılan sistemde kullanılan FV modülün standart şartlar altında verimi %19,95'dir. Modül verimi ile elde edilebilecek enerji miktarının %19,95'si fotovoltaik dönüşüme tabi olmuştur. Böylece dizi kayıpları hariç toplam enerji üretimi 2593 MWh olarak elde edilmiştir.

Dizi kayıpları FV modül özelliklerine bağlı olarak oluşan kayıplardır. Modülün standart olarak 25°C sıcaklık ve 1000 W/m<sup>2</sup> ışımada normal çalışma değerinden daha düşük ışımaya maruz kalmasından dolayı oluşan kayıp %2,97, modülün sıcaklıktan doğan kayıplar ise %5,79'dur. Diziyi oluşturan modüllerin bağlanma yeri ve bağlanma durumlarına göre (seri ve paralel) oluşan uyumsuzluk kayıpları %2,1 olarak elde edilmiştir. Modül kalite kaybı, üretici tarafından belirlenen tolerans aralığına bağlı olarak değişmektedir (Aksangör, 2019). Sistemde kullanılan FV modül PVsyst yazılımının veri tabanında tanımlı olmadığı için değerler manuel olarak girilmiştir. Modül özellikleri belirtilen nominal gücün altında çalışmayacağı varsayılarak tolerans %0 ile +%2 aralığında sisteme belirtilmiştir. Buna bağlı olarak, modül kalitesinden %0,5 oranında kazanç elde edilmiştir. Omik kayıplar ise %0,95 olarak elde edilmiştir. Dizi kayıpları toplamda %11,31 olarak hesap edilerek dizilerden elde edilen enerji miktarı 2310 MWh olarak belirlenmiştir.

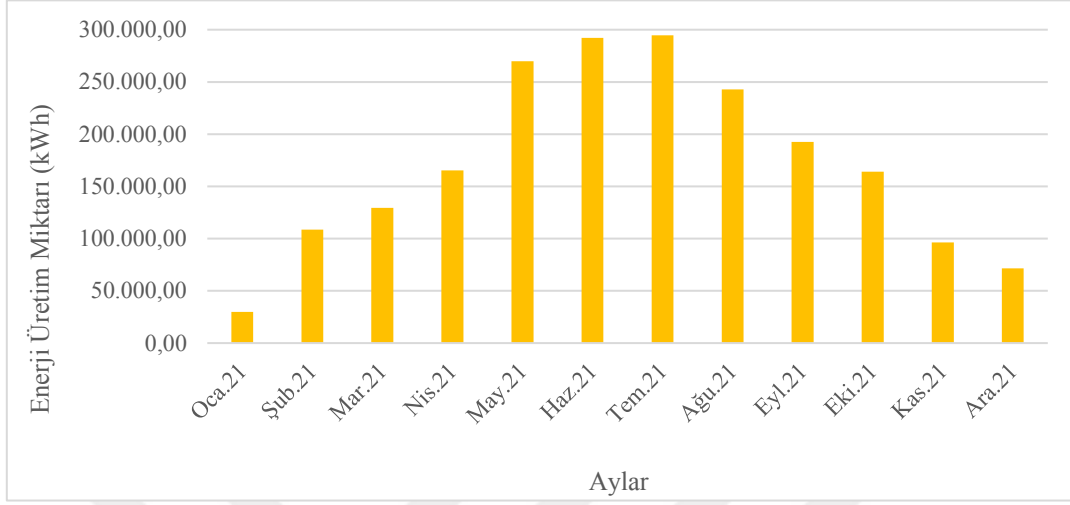
Diyagramın son kısmında inverter (evirici) kaynaklı kayıplar verilmiştir. Buna göre evirici verimliliğinden dolayı oluşan kayıplar %1,68, invertere giriş yapılan maksimum güçten dolayı oluşan kayıp %0,42 olarak belirlenmiştir. Bu kayıplar sonucunda evirici çıkışından elde edilen enerji 2261 MWh olarak hesaplanmıştır.

Tüm bu kayıplar eşliğinde; simülasyon sonucunda şebeke bağlantılı çatı GES santralinin şebekeye yılda 2261 MWh enerji aktarabileceği öngörülmüştür.

## **6.2. Endüstriyel Çatı GES Gerçek Üretim Değerleri**

Endüstriyel çatı GES'in kurulum sonrası ilk 12 aylık toplam üretim miktarının aylık bazda dağılımı Şekil 6.6'da gösterilmiştir. Sayaçlardan alınan değerler sonucunda yıl sonunda santralin toplam enerji üretimi 2057 MWh olarak hesaplanmıştır. Sistemde kullanılan sayaç örneği Ek-B'de verilmiştir. Güneş ışınlarının yeryüzüne daha dik açı ile gelmesi sonucu yansıma ve gölgelenme kaynaklı kayıpların daha az olması nedeniyle yaz

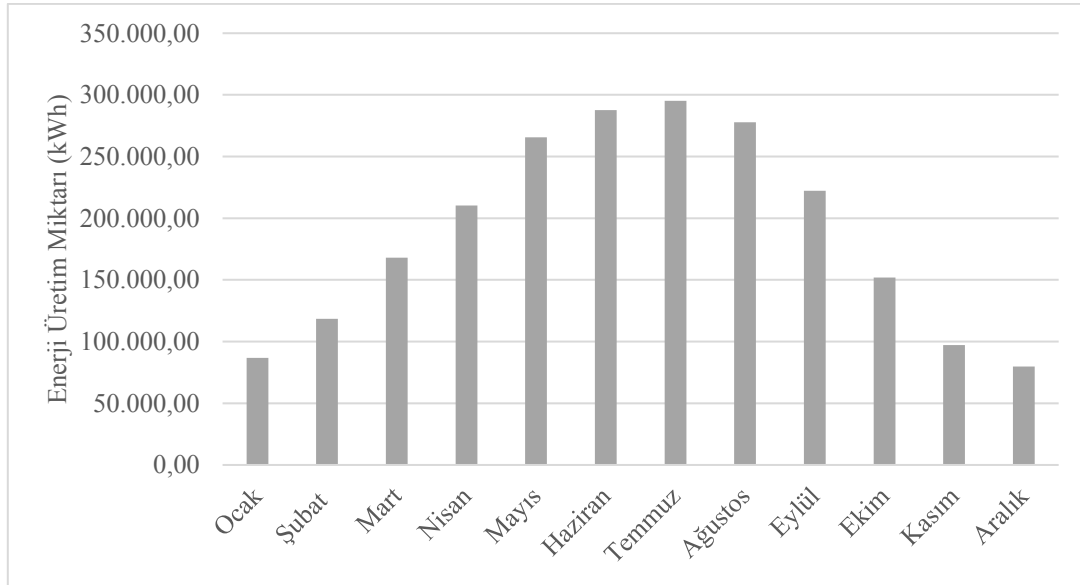
aylarında üretimin arttığı gözlenmektedir. Bulutluluk ve yağış miktarının fazla olduğu kış aylarında ise santralin üretim miktarının azaldığı gözlenmektedir.



Şekil 6.6. GES santrali gerçek üretim değerleri

### 6.3. PVsyst Simülasyon Sonucunda Elde Edilen Tahmini Üretim Değerleri

Endüstriyel Çatı GES için yapılan tasarım ve benzetim sonucu PVsyst programından elde edilmiş olan aylık üretim değerleri Şekil 6.7’de verilmiştir. Simülasyon raporuna göre Toplam Nominal Gücü 1500 kW AC / 1620 kWp olan santral için yıllık toplam üretim miktarı 2261 MWh/yıl olarak elde edilmiştir.



Şekil 6.7. GES santrali öngörülen üretim değerleri

Yukarıda aynı santralin gerçekte yıllık toplam üretim miktarının 2057 MWh/yıl olduğu belirtilmiştir. Bu bağlamda santralin gerçekte üretmiş olduğu enerji miktarının simülasyon sonucunda öngörülen üretim miktarına oranı %90,97 olmuştur. Böylece simülasyon sonucu elde edilen üretim değerleri ile gerçekte oluşan üretim değerlerinin çok yakın olduğu gözlenmiştir.

Bu çalışma neticesinde teoride elde edilen üretim değerleri ile gerçek zamanlı değerler arasında %9,03'lük bir fark olduğu belirlenmiştir. Oluşan farkın temel sebeplerinden biri santralin yer aldığı bölgenin karasal iklim özelliklerine sahip olmasıdır. Bölgede yazlar çok sıcak ve yağışsız, kışlar soğuk ve genellikle kar yağışlı geçmektedir. Yıl içerisinde özellikle mevsimsel geçişlerde günlük sıcaklık farkı çok yüksektir. Bu durum başta FV modüller olmak üzere sistem bileşenlerinin çalışmasını olumsuz yönde etkileyecektir. Ayrıca simülasyon programı üzerinde sistem elemanlarından sadece FV modül ve inverter (evirici) seçimi yapılabilmektedir. Tesiste kullanılan diğer malzemelerin seçimi hususunda ortaya çıkabilecek farklılıklar da sistem üretimini ve kayıplarını etkileyecektir. Tablo 6.2'de santralin gerçek üretim değerleri ile simülasyon sonucu elde edilen teorik üretim değerlerinin kıyaslanması gösterilmiştir.

Tablo 6.2. Santral Üretim Değerleri Kıyaslaması

Aylar	GES Gerçek Üretim [kWh]	GES Teorik Üretim [kWh]	Fark [kWh]
Ocak 2021	29.988,05	86.800,00	56.811,95
Şubat 2021	108.642,71	118.400,00	9.757,29
Mart 2021	129.380,09	167.900,00	38.519,91
Nisan 2021	165.413,08	210.300,00	44.886,92
Mayıs 2021	269.679,31	265.500,00	-4.179,31
Haziran 2021	292.276,56	287.700,00	-4.576,56
Temmuz 2021	294.712,78	295.100,00	387,22
Ağustos 2021	242.709,30	277.900,00	35.190,70
Eylül 2021	192.538,14	222.300,00	29.761,86
Ekim 2021	164.141,01	151.900,00	-12.241,01
Kasım 2021	96.414,25	97.300,00	885,75
Aralık 2021	71.381,80	79.800,00	8.418,20
Toplam	2.057.277,08	2.260.900,00	203.622,92

#### 6.4. Sistemin Ekonomik Değerlendirilmesi

PVSyst arayüzünde bulunan ‘Ekonomik Değerlendirme’ kısmında sistemin ekonomik analizi yapılmıştır. Öncelikle yatırım maliyeti ve işletme giderleri programa girilerek üretilen enerjinin birim fiyatı bulunmuştur. Daha sonra tarife verileri girilerek sistemin geri ödeme süresi ve kâr oranı hesaplanmıştır.

##### 6.4.1. Sistemin Yatırım Değeri ve İşletme Gideri

Bu bölümde ilk önce sistem için yatırım malzemelerinin birim fiyatları belirlenmiştir. Bu kapsamda sistem için toplam yatırım maliyet değerleri Tablo 6.3’de gösterilmiştir.

Tablo 6.3. GES yatırım maliyeti

GES YATIRIM MALİYETİ			
Malzeme	Adet	Birim Fiyat (\$)	Toplam (\$)
FV Panel	4050	150	607.500
İnverter	15	6.000	90.000
Mühendislik ve Tamamlayıcı İşler	1	60.000	20.000
Nakliye	1	7.500	7.500
İşçilik	1	100.000	100.000
Aksesuar	1	70.000	70.000
Kablo	1	50.000	50.000
OG Hatlar, GES Panosu	1	68.292	68.292
Toplam			1.053.292

Bu çalışmada ele alınan tesis adına 367.684 \$ tutarında yatırım teşviği kullanılmıştır. İşletme maliyeti olarak bakım-onarım ve dağıtım bedeli (PVSyst arayüzünde vergiler kısmında) belirtilmiştir. Sistemin bakım-onarımı için yıllık 2000 \$ girilmiştir. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu’nun yayınladığı tarife tablosuna göre tek terimli üretici dağıtım bedeli 0,0037 \$/kWh olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda yıllık teorik üretim baz alınarak dağıtım bedeli 8.361,78 \$ olarak hesaplanmıştır. Şebekeye satılacak elektrik satış birim fiyatı 0,0903 \$/kWh, tarife süresi 10 yıl ve yıllık enflasyon 2021 yılı öncesi son üç yılda oluşan enflasyonların ortalaması olan %15,58 olarak belirlenmiştir. Sistem ömrü 25 yıl olarak belirtilmiştir. Sistemin kurulum ve işletme maliyetleri Şekil 6.8’de gösterildiği gibi PVSyst arayüzüne tanımlanmıştır.

Kurulum maliyetleri				İşletme maliyetleri (yıllık)	
Açıklama	Miktar	Birim fiyatı	Toplam	Açıklama	Yıllık maliyet
PV modül			672300.00 USD	Bakım	2000.00 USD
İnvertör			90000.00 USD	Arazi kirası	0.00 USD
Diğer parçalar			55200.00 USD	Sigorta	0.00 USD
Etüt ve analizler			60000.00 USD	Banka masrafları	0.00 USD
Kurulum			175792.00 USD	İdari masraflar	0.00 USD
Sigorta			0.00 USD	Vergiler	8361.78 USD
Arazi masrafları			0.00 USD	Teşvikler	0.00 USD
Kredi için banka masrafları	1.00	0.00	0.00 USD		
Vergiler			0.00 USD		
Toplam kurulum maliyeti			1053292.00 USD	İşletme maliyetleri (OPEX)	
				10361.78 USD/yıl	

Şekil 6.8. Kurulum ve işletme maliyetlerinin PVsyst arayüzünde tanımlanması

#### 6.4.2. Ekonomik Analiz Sonuçları

Kurulum ve işletme maliyeti hesapları ile enerji satış fiyatı tarifesi PVSyst programına tanımlandıktan sonra ekonomik sonuç değerlendirilmesi yapılmıştır (Şekil 6.9).

Buna göre yatırımın geri dönüş süresi 3,6 yıl ve toplam net kâr marjı 1.157.040 \$ olarak bulunmuştur. Yatırımın geri dönüş oranı ise %68,8 olmuştur. Üretilen enerji maliyeti 0,055 \$/kWh olarak hesaplanmıştır.

Sistem özeti		Mali özet	
Proje:	Endüstriyel Çatı GES	Kurulum maliyetleri	1053292.00 USD
PV alanı, Pnom =	1620 kWp	Yıllık toplam maliyet	96649.99 USD/yıl
Üretilen enerji	Şebekeye bağlı sistem 2261 MWh/yıl	LCOE	0.055 USD/kWh
		Geri ödeme süresi	3.6 yıl

Kurulum maliyetleri (CAPEX)		Finansman	
Toplam kurulum maliyeti	1053292 USD	Öz kaynak	685608.00 USD
Amortismanına tabi	767500.00 USD	Tevhikler	367684.00 USD
		Krediler	0.00 USD
		Toplam	1053292 USD

Giderler		Yatırımın geri dönüşü	
İşletme maliyetleri(OPEX)	96649.99 USD/yıl	Net bugünkü değer (NBD)	471431.93 USD
Kredi takiti	0.00 USD/yıl	Geri ödeme süresi	3.6 yıl
Toplam	96649.99 USD/yıl	Yatırımın geri dönüşü (ROI)	68.8 %
LCOE	0.05 USD/kWh		

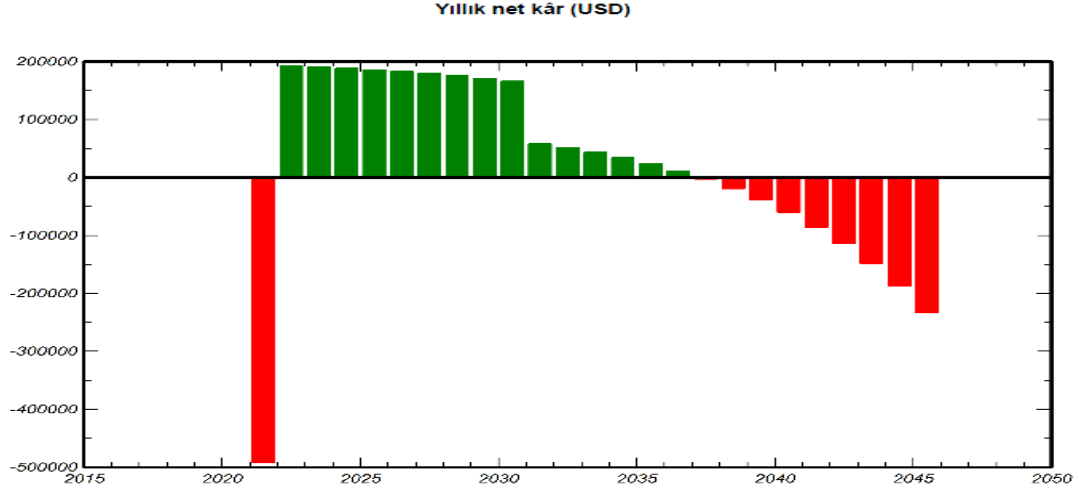
  

Detaylı ekonomik sonuçlar (USD)								
	Elektrik satışı	İşletme gider.	Amortis. payı	Vergi. tabi gelir	Vergiler	Net kâr	Birikmiş kâr	% itfa
2026	204188	21372	0	182816	0	182816	447478	% 165.3
2027	204188	24702	0	179486	0	179486	626964	% 191.4
2028	204188	28550	0	175838	0	175838	802602	% 217.1
2029	204188	32999	0	171189	0	171189	973791	% 242.0
2030	204188	38140	0	166048	0	166048	1139839	% 266.3
2031	102094	44082	0	58012	0	58012	1197851	% 274.7
2032	102094	50950	0	51144	0	51144	1248995	% 282.2
2033	102094	58888	0	43206	0	43206	1292201	% 288.5
2034	102094	68063	0	34021	0	34021	1326202	% 293.4
2035	102094	78667	0	23427	0	23427	1349660	% 296.9
2036	102094	90923	0	11171	0	11171	1360830	% 298.5
2037	102094	105089	0	0	0	-2995	1357835	% 298.0
2038	102094	121462	0	0	0	-19368	1338467	% 295.2
2039	102094	140386	0	0	0	-38292	1300176	% 289.6
2040	102094	162258	0	0	0	-60164	1240012	% 280.9
2041	102094	187538	0	0	0	-85444	1154568	% 268.4
2042	102094	216756	0	0	0	-114662	1039906	% 251.7
2043	102094	250526	0	0	0	-149432	891474	% 230.0
2044	102094	289558	0	0	0	-187464	704010	% 202.7
2045	102094	334672	0	0	0	-232570	471432	% 168.9
Toplam	3572280	2345380	0	2046438	0	1157040	471432	% 168.9

Şekil 6.9. Sistemin ekonomik analiz sonuçları

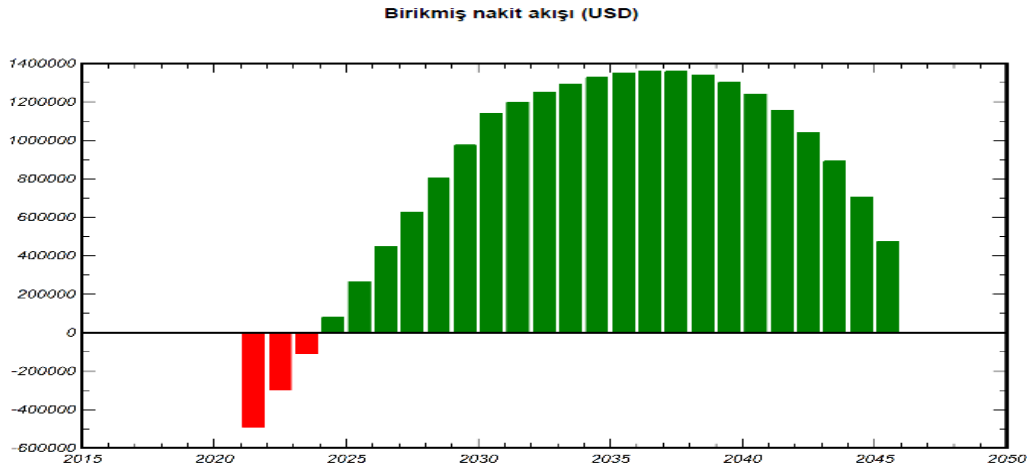
Yıllık nakit kâr akışı Şekil 6.10'da verilmiştir. Buna göre enerji satış yılından sonraki 15 yıl boyunca sistemin kâr eğiliminde olduğu görülmektedir. Ancak kâr oranları yıllara göre

düşüş eğilimi göstermiştir. Santral, ilk yıl ve son dokuz yıl boyunca ise zarar eğilimi göstermiştir.



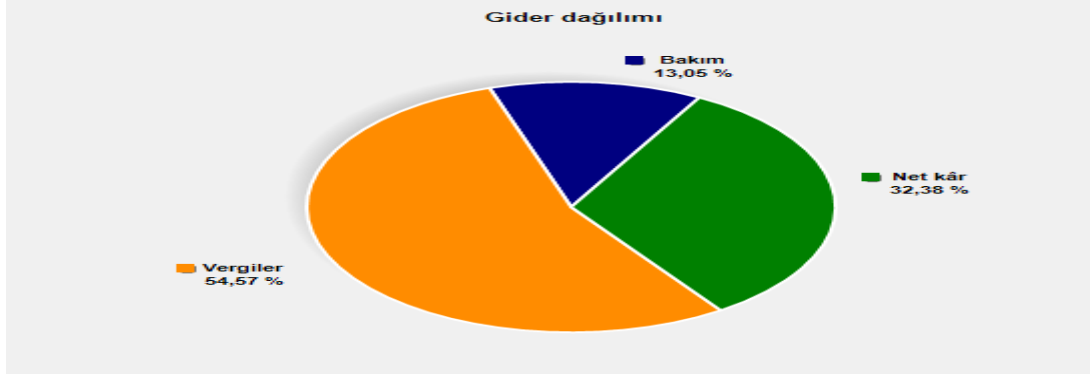
Şekil 6.10. Yıllık nakit akışı

Şekil 6.11’de birikmiş nakit akışı gösterilmiştir. Grafiğe göre sistemin başlangıç tarihi 2021 yılı ile 2024 yılları arasında zarar oranı azalarak devam etmiştir. Sistemin kâr eğilimine geçişi 2025 yılından itibaren gerçekleşmiştir. Yıllara göre birikmiş nakit akışı 16. yılda 1.360.830 \$ ile en yüksek değerine ulaşmıştır.



Şekil 6.11. Yıllara göre birikmiş nakit akışı

Gider dağılımı Şekil 6.12’de gösterilmiştir. Böylece birikmiş gelirin %13,05’i bakım ve onarım giderlerine, %54,57’si vergilere (dağıtım bedeli giderlerine) harcanmıştır. Net kazanç oranı ise %32,38 olmuştur.

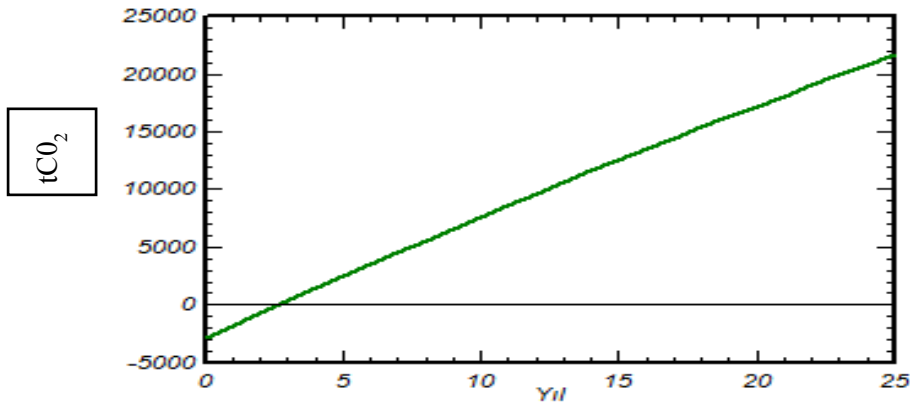


Şekil 6.12. Gider dağılımı

### 6.5. Karbon Salınım Değerleri

Enerji üretiminde güneş, rüzgâr gibi yenilenebilir kaynakların kullanımı çevreye salınan karbon emisyonunu engellemektedir. Özellikle güneş ve rüzgâr santrallerinden gerçekleşen enerji üretiminde karbon salınımı çok düşüktür. Kömür ve linyit gibi geleneksel fosil kaynakların kullanıldığı santrallerde ise karbon salınımı çok yüksektir. Bu noktada doğa ve çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı geleceğimiz açısından çok önemlidir.

Bu çalışma kapsamında benzetimi gerçekleştirilen çatı tipi FV güneş enerjisi tesisinde karbon salınımı PVsyst yazılımında ölçülmüştür. Buna göre mevcut santralin yıllık 866,11 ton karbon salınımını engelleyeceği hesaplanmıştır. Bunun yanında sistemin ömrü boyunca toplam 21.652,79 ton karbon salınımının engelleneceği bulunmuştur. Santralin önleyeceği karbon salınımının sistem ömrü süresince değişim grafiği Şekil 6.13’de verilmiştir.



Şekil 6.13. Karbon salınımının zamana göre değişim grafiği

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında benzetimi yapılan endüstriyel çatı uygulamalı güneş enerjisi santralinin performans analizi gerçekleştirilmiş, teorik üretim miktarları ile gerçek zamanlı üretim değerleri kıyaslanmış ve sistemin kayıp değerleri analiz edilmiştir. Ayrıca santralin yatırım ve işletme maliyeti hesaplanarak ekonomik değerlendirme yapılmıştır. Bu çalışmalarda PVsyst simülasyon yazılımı kullanılmıştır.

Bu bağlamda tesisin yeri PVsyst programında işaretlenerek bölgenin meteorolojik verileri, yazılımda bulunan Meteororm 8.0 veri tabanı aracılığıyla sentetik olarak elde edilmiştir. Simülasyon aracının sağladığı meteorolojik veriler ile GEPA'dan sağlanan değerler karşılaştırılmış ve ortalama ışıma değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür.

Simülasyon sonuçlarına göre, sistemde üretilen ve şebekeye aktarılan enerjinin sistem kayıpları çıkarıldıktan sonra 2261 MWh olacağı öngörülmüştür. Sistemden elde edilen en yüksek enerji üretimi 295,1 MWh ile Temmuz ayında gerçekleşmiştir. En düşük üretim ise 79,8 MWh değeri ile Aralık ayında gerçekleşmiştir. Sistemin performans analizi kapsamında en yüksek oran %84,2 ile Şubat ayında gerçekleşmiştir. Performans oranı en düşük seviyede %77,5 oran ile Temmuz ayında gerçekleşmiştir. Sistemin yıllık bazda ortalama performans oranı ise %80,1 olarak gerçekleşmiştir.

Sistemin simülasyon sonucu elde edilen yıllık üretim miktarı 2261 MWh olarak bulunmuştur. Santralin kurulumunun ilk yılındaki gerçek zamanlı üretim değeri sayaçlar üzerinden 2057 MWh olarak okunmuştur. Bu durumda gerçekte üretilen enerjinin simülasyon sonucu elde edilen enerji miktarına göre yaklaşık 204 MWh daha az olduğu gözlenmiştir. Böylelikle santralin teorik üretim miktarı gerçek üretim miktarından yaklaşık %9 daha fazladır.

Üretim farkının en fazla olduğu ay Ocak ayı olmuştur. Yatırımcı firma ile yapılan görüşmede yılın ilk 5 gününde kurulum süreci tamamlanmadığı için tesis devreye alınamamış ve santralde elektrik üretiminin gerçekleşmediği belirtilmiştir. Ayrıca yılın o döneminde kış koşulları ve kar yağışının etkili olması nedeniyle paneller üzerinde oluşan kirlilik ve güneşli gün sayısının öngörülenden az olması gerçekte sistem üretimini olumsuz yönde etkilemiştir.

Üretim farkı oranının en az olduğu ay ise Ekim ayıdır. Bu ay içerisinde tesisin gerçek üretimi, simülasyon sonucu öngörülen üretim değerine göre %7,5 daha fazla olmuştur. Üretim farkının sebebi olarak simülasyon programında kullanılan 2005-2013 yılları arasındaki Ekim ayı meteorolojik verilerin ortalama değerlerinin 2021 yılının Ekim ayına göre pozitif yönde farklılık göstermesinden kaynaklı olacağı düşünülmektedir. Buna ek olarak bu ay içerisinde panellerin temizlendiği yatırımcı tarafından bildirilmiştir. Dış ortam şartlarının uygunluğu ve kirliliğin azaltılması santralin elektrik üretimini olumlu yönde etkilemiştir. Santralde herhangi bir ışınlam, sıcaklık ve rüzgâr sensörü bulunmadığı için bahsi geçen ayda teorik ve gerçek zamanlı meteorolojik veriler karşılaştırılamamıştır.

PVsyst simülasyon sonuçlarına göre santral kurulu gücünde dış ortam ve kullanılan malzemelerden kaynaklı toplam kayıp yaklaşık %23 olarak görülmektedir. Üretim kaybına en fazla neden olan etkenler %5,79 sıcaklık nedeni ile FV kayıplar ve %4,35 Güneş'in yeryüzüne geliş açısına bağlı olarak değişen ışınlam kayıplarıdır.

Kayıpların azaltılması ve üretimin daha fazla olması adına kullanılacak malzeme seçimi çok önemlidir. Bir FV sistemin en temel elemanları panel ve inverterdir. Uygulamalarda dış ortam sıcaklığına dayanımı yüksek, gerekli kontrol ve testlerden geçmiş, kalite standartlarına uygun paneller ve yüksek verimli inverterler tercih edilmelidir. Bunların yanında kullanılan panel cinsi de hem teorik hem gerçek üretim değerlerini arttıracaktır. Bu santralde kullanılan panel mono kristal tip tam (full) hücre yapıda bir paneldir. Bugünün teknolojisinde sıkça kullanılan yarım (half cut) hücre yapıli panellerin kullanılması sistem üretiminin artmasını sağlayacak faktörlerden birisi olacaktır.

PVsyst simülasyon programı üzerinde sistem elemanlarından sadece FV modül ve inverter (evirici) seçimi yapılabilmektedir. Sistemde kullanılan diğer malzemelerin (konstrüksiyon sehpalar, kablolar, panolar vb.) seçimi hususunda ortaya çıkabilecek farklılıklar da sistem üretimini ve kayıplarını etkileyecektir. Ayrıca proje kurulum ekibinin kaliteli malzeme kullanımı ve doğru işçilik yapması sistemdeki kayıp değerlerin minimize edilmesine yardımcı olacaktır.

PVSyst üzerinden yapılan ekonomik değerlendirmede 2021 yılı Ocak ayında devreye alınan ve yaklaşık %35 oranında yatırım teşviği bulunan bu santral için toplam yıllık maliyet 1.053.292 \$, işletme maliyeti 10.361,78 \$ olarak hesaplanmıştır. Yapılan analiz

sonucu projenin geri dönüş süresi 3,6 yıl ve enerji birim maliyeti 0,055 \$/kWh olarak bulunmuştur. Sistem ömrü boyunca net kâr marjı 1.157.040 \$, yatırımın geri dönüş oranı ise %68,8 olarak hesaplanmıştır.

Bu tez çalışmasında PVsyst üzerinden karbon salınımı hesabı da yapılmıştır. Bu bağlamda santralden yıllık 866,11 ton, sistem ömrü boyunca toplam 21.652,79 ton karbon salınımı engellenecektir. Böylelikle FV sistemlerin tüm canlılar için doğa, çevre ve iklim dostu enerji kaynağı olduğu sonucuna varılmıştır.

Ülkemiz güneş enerjisi potansiyeli açısından Dünya'nın en verimli bölgeleri arasında yer almaktadır. Buna rağmen güneş enerjisi alanında FV sistem özelinde yapılan yatırımların yetersiz olduğu yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur. Bu sebeple yapılan bu çalışmada FV sistemler üzerinde yoğunlaşmış, ülkenin güneş enerjisi potansiyeli yüksek ve aynı zamanda sanayi şehirlerinden biri olan Kayseri'nin mevcut potansiyelini kullanmak, yaygınlaştırmak adına endüstriyel bir tesis için çatı tipi bir FV sistemin benzetimi yapılarak sonuçlar analiz edilmiştir. Bu çalışmada yapılan benzetim ve simülasyon sonucu elde edilen sentetik üretim değerleri ile sayaçlardan okunan gerçek üretim değerleri kıyaslandığında sonuçların hayli yakın olduğu görülmüştür.

2021 yılı verilerine göre Türkiye'de elektriğin %45'i sanayide tüketilmektedir. Bu çalışmada sanayi sektöründe üretim yapan örnek bir fabrikanın elektrik tüketiminin FV sistem ile karşılanabilirliği gösterilmiştir. Bu çalışma referans alınarak mevcut konum ve diğer sanayi şehir ve bölgeleri için daha büyük kapasiteli çatı tipi FV sistemler kurulabilir. Sanayi kuruluşlarının elektrik tüketimlerini göz önünde bulundurarak, kurulacak sistemin tüketimin ne kadarını karşılayacağı ölçülebilir ve maliyet analizleri yapılabilir. Bununla birlikte sistem şebeke bağlantılı olduğu için aylık mahsuplaşma ile üretimin fazlası satılarak gelir elde edilebilir. Bu kapsamda farklı güç ve koşullara göre farklı uygulamalar için faydalı olacak bir çalışma olması öngörülmüştür. Böylelikle temiz, ucuz, kolay uygulanabilir ve sürdürülebilir olan FV güneş enerjisi sistemlerinin sanayi sektöründe daha çok kullanılmasına dikkat çekmek amaçlanmıştır.

## KAYNAKLAR

- Akcan, E., Kuncan, M., Minaz M. R. (2020). PVsyst Yazılımı ile 30 kW Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemin Modellenmesi ve Simülasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 18, 248-261. DOI: 10.31590/ejosat.685909.
- Akkaya, S., Oy, S. A. (2021). Samsun, Bayburt ve Mersin illerine Kurulabilecek Güneş Enerjisi Santrallerinin Modellenmesi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(2), 759-773. DOI: 10.29130/dubited.785908
- Aksangör, N. N. (2019). Ankara Şartlarında Bir Fotovoltaik Sistemin PVSYST Programı Yardımı ile Performans Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 567917.
- Ateş, A. M., Singh, H. (2021). Rooftop Solar Photovoltaic (PV) Plant – One Year Measured Performance and Simulations, *Journal of King Saud University*, 33(3), 1-9. DOI: 10.1016/j.jksus.2021.101361
- Bayrakçı, H. C., Gezer, T. (2019). Bir Güneş Enerjisi Santralının Maliyet Analizi: Aydın İli Örneği, *Teknik Bilimleri Dergisi*, 9(2), 46-54. DOI: 10.35354/tbed.574190
- Bellia, H., Youcef, R., Mouley, F. (2014). A Detailed Modelling of Photovoltaic Module Using MATLAB, *National Research Institute of Astronomy and Geophysics Journal*, 3(1), 53-61. DOI: 10.1016/j.nrjag.2014.04.001
- Belmahdi, B., El Bouardi, A. (2020). Solar Potential Assessment Using PVsyst Software in the Northern Zone Of Morocco, *Procedia Manufacturing*, 46, 738-745. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.03.104
- Boz, O. H. (2011). Günümüzün Alternatif Enerji Kaynağı: Fotovoltaik Güneş Pilleri, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 282925.
- Çalıköğlü, S., Özdemir, E., Uçar, M. (2011). Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Elektrik Üretim Sistemlerinin Güç Kalitesine Etkileri, *Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, Kocaeli, 12-13 Mayıs 2011.
- Çelebi, Ö. (2019). Endüstriyel Çatı Uygulamalı Bir Güneş Enerji Santralının Teorik ve Gerçek Zamanlı Enerji Üretim Değerlerinin İncelenmesi ve Ekonomik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 586814.
- Ceylan, M. (2018). Kampüs Binalarında Şebekeden Bağımsız Bir Çatı Üstü Fotovoltaik Sistem Tasarımı ve Benzetimi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul, 513510.
- Çınaroğlu, M. S. (2021). Kilis 7 Aralık Üniversitesinde Kurulacak Bir GES Projesinin Pvsyst Aracılığı ile Tasarım ve Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kilis, 670821.

- Doğan, S. (2018). Şebeke Etkileşimli Fotovoltaik Güç Sistemlerinin İncelenmesi ve Simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 522177.
- Dondariya, C., Porwal, D., Awasthi, A., Shukla, A. K., Sudhakar, K., S.R., M. M., Bhimte, A. (2018). Performance Simulation of Grid-Connected Rooftop Solar PV System for Small Households: A Case Study of Ujjain, India. *Energy Reports*, 4, 546-553. DOI: 10.1016/j.egy.2018.08.002
- Duman, A. C., Güler, Ö. (2020). Economic Analysis of Grid-Connected Residential Rooftop PV Systems in Turkey. *Renewable Energy*, 148, 697-711. DOI: 10.1016/j.renene.2019.10.157
- Eissa, A. S., Sezen, S., Özdemir, E. (2021). Lisanssız Elektrik Üretiminde Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Sistemlerin Performans Analizi, *International Marmara Sciences Congress*, Kocaeli, 21-22 Mayıs 2021.
- Eremkere, M. (2019). Fotovoltaik Tasarımların Teknik, Ekonomik ve Çevresel Açılardan Analizi: Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü Üzüm Suyu İşleme Tesis Çatısı Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 576820.
- Güneş, O. (2019). Binaya Ekleme Fotovoltaik Sistemlerin Bir Konut Binası Çatısında Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul, 574172.
- Haydaroğlu, C., Gümüş, B. (2016). Dicle Üniversitesi Güneş Enerjisi Santralinin PVsyst ile Simülasyonu ve Performans Parametrelerinin Değerlendirilmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 7(3), 491-500.
- Homood, A. R., Albarazanch, S. H., Ekici, S., Ekici, B. B. (2020). Comparison of Performance Evaluation of Grid-Connected PV System for 3D Single Family House Using Building Information Modeling (BIM) Technology: A Case Study in Elazig, Turkey. *International Journal of Renewable Energy Research*, 10(4), 1783-1792.
- IEA. (2021). International Energy Agency (IEA), *Key World Energy Statistics 2021*, September 21, syf. 6.
- İşık, A. H., Erden, Ş., İmeryüz, M. (2015). Design of the Solar Energy System in ITU Faculty of Electric and Electronics, *4th International Conference on Renewable Energy Research and Applications*, İtalya, 22-25 Kasım 2015.
- İzgi, E., Özcan, Ö. (2020). Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Çatı Sisteminin Karşılaştırmalı Performans Analizi. *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(3), 127-140.
- Kantaroğlu, F. (2010). Fotovoltaik Sistemler. *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği*. TTMD.

- Kapluhan, E. (2014). Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Güneş Enerjisinin Dünya'daki ve Türkiye'deki Kullanım Durumu. *İstanbul Coğrafya Dergisi*, 29, 70-98.
- Kayıkçı, B. (2020). Aydın ili Didim İlçesindeki Kırsal Bölgede Yer Alan Bir Konutun Elektrik İhtiyacının Hibrit Güneş-Rüzgâr Enerji Sistemi ile Karşılmasının Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 623741.
- Kılıcı, O. (2020). Değişken Özellikli Fotovoltaik Güneş Enerji Santrallerinin Mevcut Verilerle PVsyst Programında Üretim ve Performans Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 654292.
- Kılıç, F. Ç. (2015). Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri. *Mühendis ve Makina*, 56(671), 28-40.
- Kıyanççek, E. (2013). Fotovoltaik Sistemlerin Boyutlandırılması İçin PVS2 Paket Programının Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 346463.
- Koryürek, E. (2008). Fotovoltaik Sistemlerin Binalarda Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 238189.
- Küçük, S. (2019). Off Grid Güneş Sistemleri İçin Yeni Bir Projelendirme Aracı Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 595059.
- Kutluca, M. (2020). Şebekeden Bağımsız Mikro Güneş Enerji Santralinin Tasarımı ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırklareli, 633745.
- Majidzade, N. (2018). Mikro Ölçekli Şebeke Bağlantılı Bir Fotovoltaik Santralin Tasarlanması ve Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 530242.
- Mukherji, R., Mathur, V., Bhati, A., Mukherji, M. (2020). Assessment of 50 kWp Rooftop Solar Photovoltaic Plant at The ICFAI University, Jaipur: A Case Study. *Environmental Progress Sustainable Energy*, 39(3), 1-14. DOI: 10.1002/ep.13353
- Murdock, H., Andre, T., Gibb, D. (2021). Renewables 2021 Global Status Report, *REN21 Secretariat*, Paris, Fransa.
- Nguyen, T. B., Van, P. H. (2021). Design, Simulation and Economic Analysis of A Rooftop Solar PV System in Vietnam. *EAI Endorsed Transactions on Energy Web*, 8(35), 1-12. DOI: 10.4108/eai.27-1-2021.168504.
- Oğuz, Y., Karakan, A., Uslu, B. (2015). Afyonkarahisar'da Kurulu Olan Monokristal, Polikristal ve İnce Film Güneş Panellerinin Verimliliğinin İncelenmesi. *Tesisat Mühendisliği*, 149, 47-58.

- Oktik, Ş. (2001). *Güneş-Elektrik Dönüşümleri Fotovoltaik Güneş Gözeleri ve Güç Sistemleri*, Temiz Enerji Vakfı Yayınları, Ankara.
- Özgür, E. (2020). Türkiye'nin Enerji Görünümü, *TMMOB Makina Mühendisleri Odası*, MMO/717, 297-316.
- Özkan, U. (2021). Şebekeye Bağlı Çatı Üstü Fotovoltaik Sistem Tasarımı ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, 704977.
- Öztürk, H. H. (2017). Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi ve Etkili Etmenler. *V. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi*, İzmir, 18-21 Ekim 2017.
- Pakma, N. (2016). Batman'da 1 Mw'lık Fotovoltaik Enerji Sisteminin Tasarlanması, Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman, 432826.
- Perlin, J. (2004). National Center for Photovoltaics, *National Renewable Energy Laboratory*, BR-520-33947.
- Reddy, G. S., Kumar, T. A., Rajasekhar, M., Bushan, B., Madhu, B. (2015). Notice of Removal: A 10 kWp Roof Top Solar Power Plant at ACE Engineering College, *2015 International Conference on Electrical, Electronics, Signals, Communication and Optimization (EESCO)*, Hindistan, 24-25 Ocak 2015.
- Rüstemli, S., Dinçer, F., Çelik, M., Cengiz, M. S. (2013). Fotovoltaik Paneller: Güneş Takip Sistemleri ve İklimlendirme Sistemleri. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(2), 141-147.
- Sayın, S., Koç, İ. (2011). Güneş Enerjisinden Aktif Olarak Yararlanmada Kullanılan Fotovoltaik (Pv) Sistemler ve Yapılarda Kullanım Biçimleri. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 26(3), 89-106.
- Sharma, S., Jain, K. K., Sharma, A. (2015). Solar Cells: in Research and Applications—A Review. *Materials Sciences and Applications*, 6(12), 1145-1155.
- Soualmia, A., Chenni, R. (2016). Modeling and Simulation of 15 MW Grid-Connected Photovoltaic System Using Pvsyst Software. *International Renewable and Sustainable Energy Conference*. Fas, 14-17 Kasım 2016.
- Tekkale, G. (2018). Türkiye'nin Çeşitli İllerinde Yapılacak Arazi Tipi Lisanssız Güneş Enerjisi Santrali Yatırımlarının Teknik ve Finansal Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul, 511547.
- Tunalı, H., Ulubaş, M. A. (2017). Elektrik Enerjisi Tüketimi ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişki: G7 Ülkeleri Üzerine Bir Uygulama (1970-2015). *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 20(1), 1-13.

Uçar, S. (2018). Çatı ve Cephelerde Fotovoltaik Panel Uygulamaları Üzerine Bir Çalışma: Burdur Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Arel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 490220.

Üçgül, İ., Elibüyük, U. (2017). Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Enerji Jeopolitiği. *Anka E-dergi*, 2(1), 26-33.

URL-1:<https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes> (Ziyaret Tarihi: 30 Eylül 2021)

URL-2:<https://www.yenienerji.com/gunes-enerjisi-ve-kullanim-alanlari> (Ziyaret Tarihi: 3 Kasım 2021)

URL-3:<https://www.visualcapitalist.com/mapped-solar-power-by-country-in-2021/> (Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2021)

URL-4:<https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/europe> (Ziyaret Tarihi: 5 Aralık 2021)

URL-5:<https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes> (Ziyaret Tarihi: 5 Aralık 2021)

URL-6:<https://www.teias.gov.tr/tr-TR/aylik-elektrik-uretim-tuketim-raporlari> (Ziyaret Tarihi: 25 Ocak 2022)

URL-7:<https://www.teias.gov.tr/tr-TR/kurulu-guc-raporlari> (Ziyaret Tarihi: 25 Ocak 2022)

URL-8:<https://web.itu.edu.tr/~kaymak/PV.html> (Ziyaret Tarihi: 26 Ocak 2022)

URL-9:[http://www.robotiksystem.com/gunes\\_pilleri\\_nedir.html](http://www.robotiksystem.com/gunes_pilleri_nedir.html) (Ziyaret Tarihi: 27 Ocak 2022)

URL-10:<https://www.energy-xprt.com/products/multicrystalline-silicon-solar-cell-316571> (Ziyaret Tarihi: 28 Ocak 2022)

URL-11:<https://materialdistrict.com/article/innovation-thin-film-solar-cells-at-mx2016/innovation-thin-film-solar-cells-at-mx2016-1/> (Ziyaret Tarihi: 28 Ocak 2022)

URL-12: Leblebicioğlu, E. (2017). *Fotovoltaik (PV) Solar Sistem ve Bileşenleri*, Mühendistan, <https://muhendistan.com/fotovoltaik-sistemler-nedir/> (Ziyaret Tarihi: 31 Ocak 2022)

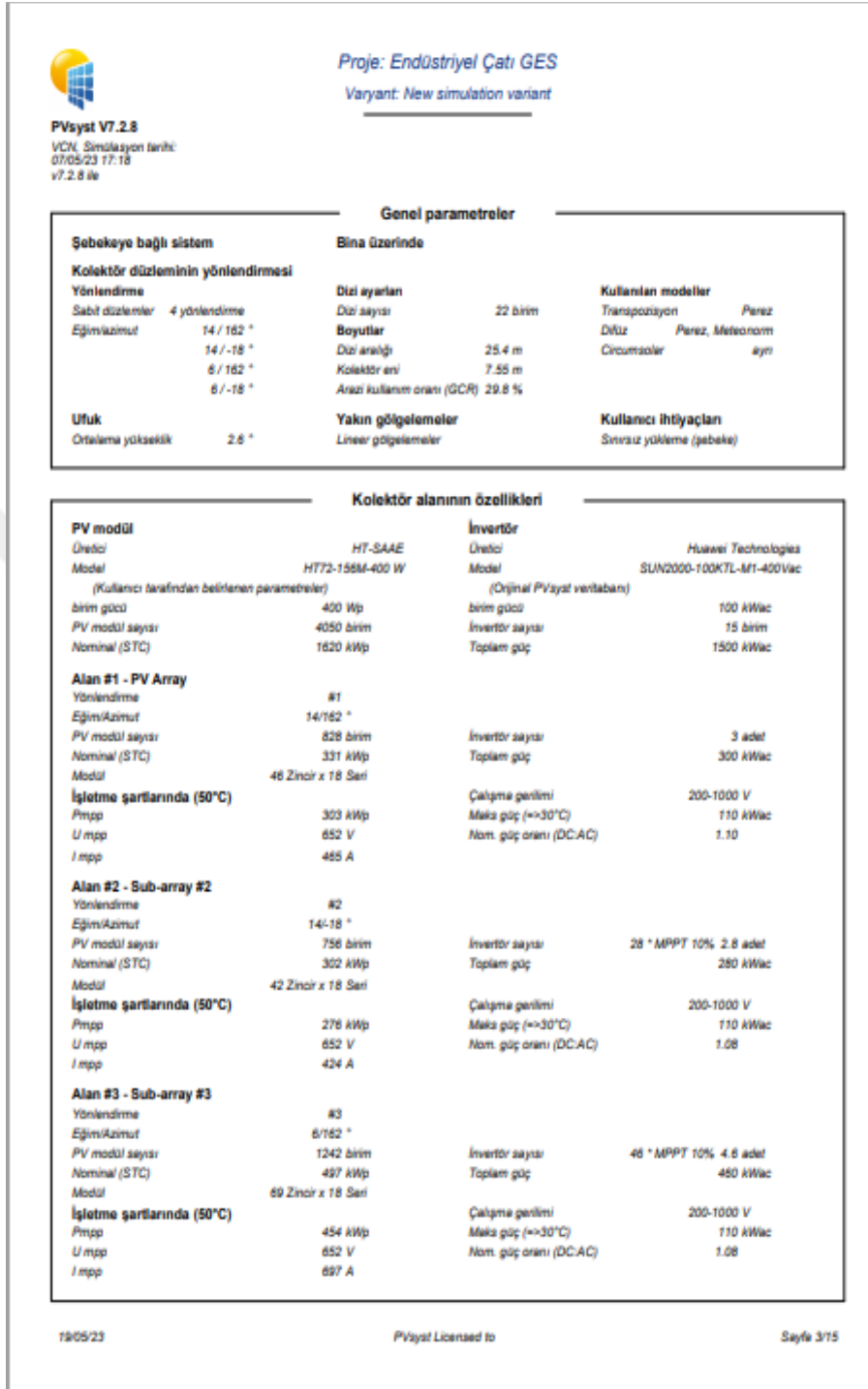
URL-13: Leblebicioğlu, E. (2019). *Şarj Kontrol Cihazı Nedir? Nasıl Seçilir?*, Mühendistan, <https://muhendistan.com/sarj-kontrol-cihazı-nedir-nasil-secilir/> (Ziyaret Tarihi: 31 Ocak 2022)

URL-14:<https://www.elektrikde.com/gunes-panellerinde-on-grid-ve-off-grid-baglanti-sistemleri/> (Ziyaret Tarihi: 1 Şubat 2022)

- URL-15: <https://www.bagimsizenerji.com/%C5%9Febekedenbagimsiz.html#> (Ziyaret Tarihi: 1 Şubat 2022)
- URL-16: <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/38.aspx> (Ziyaret Tarihi: 22 Nisan 2022)
- URL-17: [https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EIGM/tr/Lisansiz\\_Elektrik\\_Uretimi/lisanssiz-elektrik-basvuruda-sunulan-belgeler.png](https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EIGM/tr/Lisansiz_Elektrik_Uretimi/lisanssiz-elektrik-basvuruda-sunulan-belgeler.png) (Ziyaret Tarihi: 12 Nisan 2022)
- URL-18: [https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EIGM/tr/Lisansiz\\_Elektrik\\_Uretimi/lisanssiz-elektrik-yol-haritasi.jpg](https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EIGM/tr/Lisansiz_Elektrik_Uretimi/lisanssiz-elektrik-yol-haritasi.jpg) (Ziyaret Tarihi: 12 Nisan 2022)
- URL-19: <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-uretim-faaliyetleri-lisanssiz-elektrik-uretimi> (Ziyaret Tarihi: 12 Nisan 2022)
- URL-20: <https://www.tcmb.gov.tr/kurlar/202101/04012021.xml> (Ziyaret Tarihi: 7 Mayıs 2023)
- Yalçın, L. (2010). Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliği'nin Güneş Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi ve Güneş Enerjisinden Yararlanabilme Olanakları. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 284867.
- Yıldırım, E., Aktacir, M. A. (2021). Çatı Üstü PV Elektrik Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi: Şanlıurfa Örneği. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 12(1), 69-77. DOI: 10.24012/dumf.860242
- Yolcan, O. O., Köse, R. (2020). Türkiye'nin Güneş Enerjisi Durumu ve Güneş Enerjisi Santrali Kurulumunda Önemli Parametreler, *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), 196-215.
- Yücel, N. (2018). Minimum Tasarım ve İşletme Maliyetli Fotovoltaik Sistemin Çatı Üstü Uygulaması: Denizli TEKNOBİL Lisesi Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce, 543139.



**EKLER**



Şekil A.1. PVsyst yazılımında yapılan simülasyon çalışmasının raporu



**PVsyst V7.2.8**  
VCN, Simülasyon tarihi:  
07/05/23 17:18  
v7.2.8 ile

**Proje: Endüstriyel Çatı GES**  
Varyant: New simulation variant

**Kolektör alanının özellikleri**

Alan #4 - Sub-array #4			
Yönlendirme	#4		
Eğim/Azimuth	6/-18 °		
PV modül sayısı	1224 birim	İnvertör sayısı	48 * MPPT 10% 4.8 adet
Nominal (STC)	490 kWp	Toplam güç	480 kWac
Modül	68 Zincir x 18 Seri		
<b>İşletme şartlarında (50°C)</b>		Çalışma gerilimi	200-1000 V
Pmpp	447 kWp	Maks güç (↔30°C)	110 kWac
Ump	652 V	Nom. güç oranı (DC/AC)	1.08
Imp	687 A		
<b>Total PV gücü</b>		<b>İnvertör toplam gücü</b>	
Nominal (STC)	1620 kWp	Toplam güç	1500 kWac
Toplam	4050 modül	İnvertör sayısı	15 birim
Panel yüzeyi	8149 m <sup>2</sup>		0.0 kullanılmıyor
Hücre yüzeyi	7348 m <sup>2</sup>	Nom. güç oranı	1.08

Şekil A.2. (Devam) PVsyst yazılımında yapılan simülasyon çalışmasının raporu

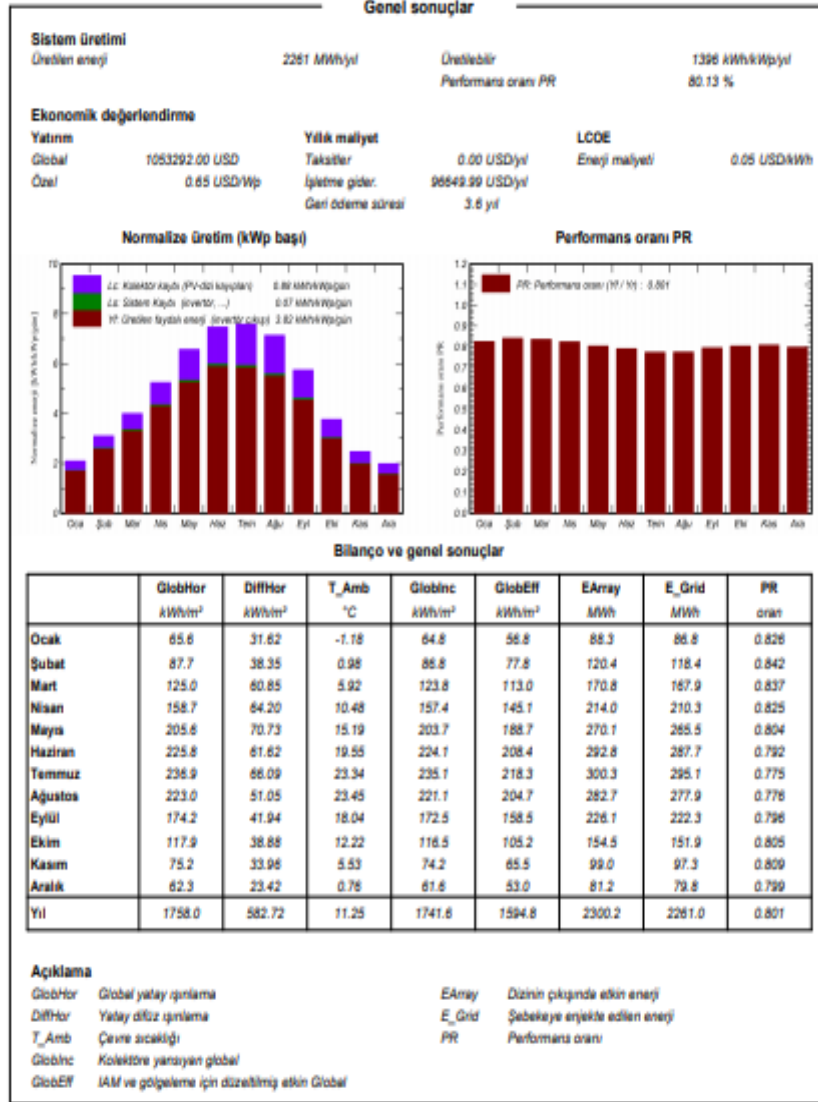






Proje: Endüstriyel Çatı GES  
Varyant: New simulation variant

PVsyst V7.2.8  
VCN: Simülasyon tarihi:  
07/05/23 17:18  
v7.2.8 ile

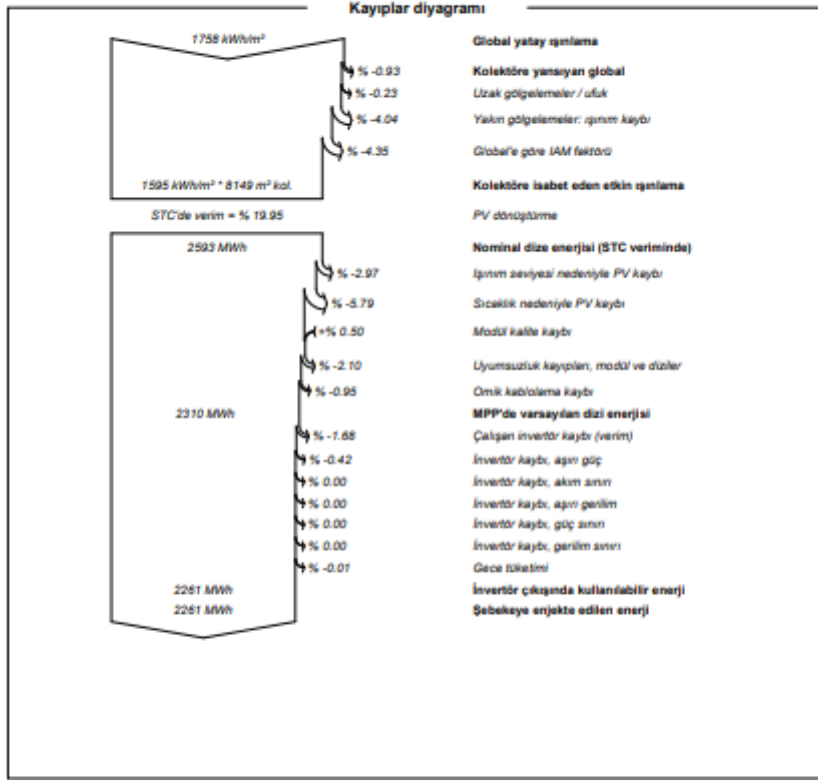


Şekil A.5. (Devam) PVsyst yazılımında yapılan simülasyon çalışmasının raporu



**PVsyst V7.2.8**  
VCN, Simülasyon tarihi:  
07/05/23 17:18  
v7.2.8 ile

Proje: Endüstriyel Çatı GES  
Varyant: New simulation variant



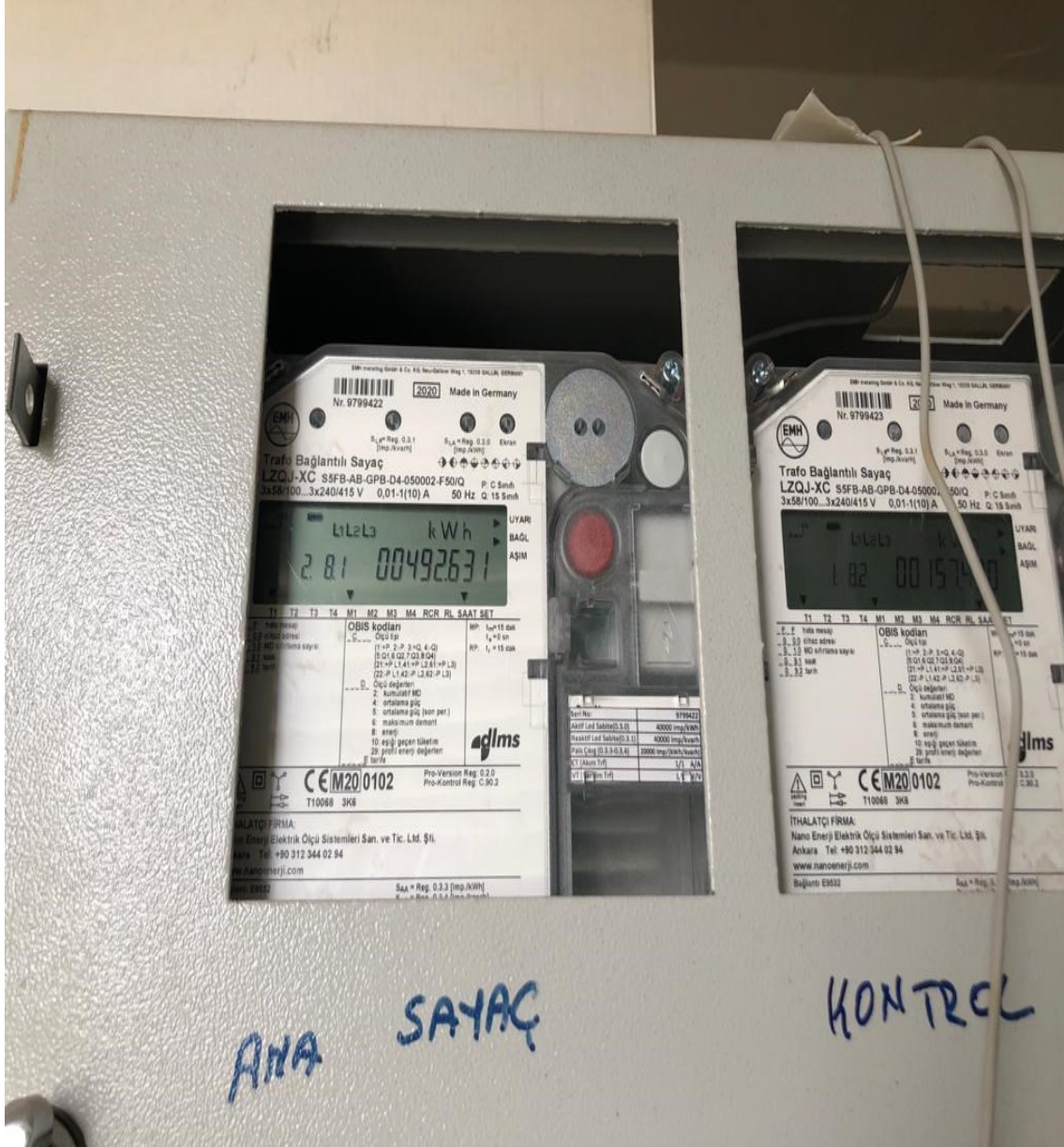
19/05/23

PVsyst Licensed to

Sayfa 9/15

Şekil A.6. (Devam) PVsyst yazılımında yapılan simülasyon çalışmasının raporu

Ek-B



Şekil B.1. Sistemde kullanılan ana sayaç

## KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

**Taşdan, K.** (2022). Modeling and Simulation of 1.620 kW Grid Connected Photovoltaic System with PVsyst Software, *International Marmara Sciences Congress (Imascon Autumn 2022)*, Kocaeli, 9-10 Aralık 2022.



## **ÖZGEÇMİŞ**

İlk, orta ve lise öğrenimini Kayseri’de tamamladı. 2012 yılında girdiği Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü’nden 2017 yılında Enerji Mühendisi olarak mezun oldu. 2020 yılından itibaren özel sektörde güneş paneli üretim ve kontrol mühendisi olarak çalışmaktadır.

