

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**LİSANSIZ ELEKTRİK ÜRETİMİNDE ŞEBEKE  
BAĞLANTILI FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN  
PERFORMANS ANALİZİ**

**EİSSA AL-SHAGEA**

**KOCAELİ 2021**

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

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

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**LİSANSIZ ELEKTRİK ÜRETİMİNDE ŞEBEKE**  
**BAĞLANTILI FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN**  
**PERFORMANS ANALİZİ**

**EİSSA AL-SHAGEA**

**Prof. Dr. Engin ÖZDEMİR**

**Danışman, Kocaeli Üniv.**

.....

**Dr. Öğr. Üyesi Serkan SEZEN**

**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.**

.....

**Dr. Öğr. Üyesi Mehmet UÇAR**

**Jüri Üyesi, Düzce Üniv.**

.....

**Tezin Savunulduğu Tarih: 24.06.2021**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca ve tez çalışmam süresince bana yol gösteren, hiçbir konuda yardımını, desteğini, tecrübesini benden esirgemeyen, akademik yönden gelişebilmem ve bu alanda ilerleyebilmem için bana her türlü bilimsel katkıyı sunan değerli tez danışmanım Prof. Dr. Engin ÖZDEMİR'e teşekkür eder şükranlarımı sunarım. Ayrıca tez sürecime yaptığı değerli katkılarından ve desteğinden ötürü sayın Dr. Öğr. Üyesi Serkan SEZEN hocama teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatım boyunca arkamda duran, maddi manevi desteklerini esirgemeyen, hedeflerime ilerlememde yol göstericilerim başta babam Mohammed Al-SHAGEA, annem Safiaya AHMED ve kardeşlerim Abdulmalek, Adel, Khaled, Osama, Tofaha ve Samar olmak üzere tüm aileme teşekkür ederim. Son olarak eğitim hayatımın her döneminde bana örnek olmuş ve her zaman destekte bulunmuş olan değerli amcam Abdulkarım ALHUDIFSI'a da şükranlarımı sunarım.

Ağustos - 2021

Eissa AL-SHAGEA

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ .....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
GİRİŞ .....	1
1. LİSANSIZ ELEKTRİK ÜRETİMİNDEKİ YASAL DÜZENLEMELER.....	7
1.1. Lisansız Üretim Başvuru Süreci.....	9
1.2. Üretim – Tüketim Hesaplanması .....	9
1.3. Tüketim Birleştirme .....	10
1.3. Dağıtım Sistemine Satış.....	10
1.3. Çatı ve Cephe Güneş Enerjisi Uygulamaları .....	10
2. FV SİSTEM TÜRLERİ.....	12
2.1. Şebekeden Bağımsız FV Sistemleri (Off-Grid).....	13
2.2. Şebeke Bağlantılı FV Sistemleri (On-Grid).....	13
2.3. FV Sistemlerin Maliyetlerinin Gelişimi.....	15
3. KOCAELİ GÜNEŞ ENERJİ POTANSİYELİ.....	17
4. ENERJİ ÜRETİMİ İLE PERFORMANS ANALİZİ.....	20
4.1. Sistem Performans Değişkenleri.....	20
4.1.1. Fotovoltaik dizi kazancı (YA).....	20
4.1.2. Referans kazancı (YR).....	20
4.1.3. Nihai verim (YF).....	21
4.1.4. Performans oranı (PR).....	21
4.1.5. Kapasite faktörü (CF).....	21
4.1.6. Sistem verimi .....	21
4.1.7. Spesifik verim .....	22
4.1.8. Dizi kaybı.....	22
4.1.9. Sistem kaybı.....	22
4.2. Simülasyon Yazılımlarının Kullanımı ve Fotovoltaik Sistem Tasarımı .....	22
4.2.1. PVsyst .....	22
4.2.1.1. PVsyst kullanıcı arayüzü.....	23
4.2.1.2. Projeyi tanımlamak .....	26
4.2.1.3. Projeyi kaydetme .....	26
4.2.2. PVSOL .....	30
4.2.2.1. Giriş penceresi ve proje verileri penceresi.....	30
4.2.2.2. Sistem tipi, iklim ve şebeke penceresi .....	31
4.2.2.3. 3B tasarım ve kablo penceresi .....	32
4.2.2.4. Devre şeması ve finansal analiz penceresi.....	33
4.2.2.5. Sonuçlar ve sunum penceresi.....	34
4.2.3. Global solar atlas.....	35

4.2.3.1. Etkileşimli haritalar.....	36
4.2.3.2. FV enerji verimi hesaplayıcısı .....	36
4.2.3.3. İndirilebilir haritalar .....	37
4.2.3.4. Ülke ve bölgesel güneş potansiyeli istatistikleri.....	37
4.3. Polikristal Fotovoltaik Modüllerin Teknik Bilgileri .....	38
4.4. Performans Analizi .....	39
4.4.1. PVSOL verilerine göre performans analizi.....	43
4.4.2. PVsyst verilerine göre performans analizi .....	44
4.4.3. GSA verilerine göre performans analizi .....	46
5. KAPASİTE FAKTÖRÜ VE MALİYET HESAPLAMASI .....	49
5.1. Kapasite Faktörü .....	49
5.2. Maliyet Hesaplaması.....	49
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	52
KAYNAKLAR .....	54
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER .....	57
ÖZGEÇMİŞ .....	58

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Bataryalı FV güneş enerjisi sistemi.....	12
Şekil 2.2.	Fotovoltaik şebekeden bağımsız sistemler .....	13
Şekil 2.3.	Şebekeye bağlı FV sistemleri oluşturan unsurlar .....	14
Şekil 2.4.	Fotovoltaik sistemlerin şebekeye bağlantısı.....	15
Şekil 2.5.	FV hücre fiyatlarının gelişimi .....	16
Şekil 3.1.	Marmara bölgesi güneş enerjisi haritası.....	17
Şekil 3.2.	Kocaeli güneşlenme haritası.....	18
Şekil 3.3.	Kocaeli ili kullanılamaz alanlar haritası.....	18
Şekil 4.1.	PVsyst simülasyon yazılımı kullanıcı arayüzü.....	23
Şekil 4.2.	Pencere simgelerinin bulunduğu ana menü.....	24
Şekil 4.3.	Türkiye'nin koordinatlarının sisteme tanımlanması .....	25
Şekil 4.4.	Kocaeli ilinin KOÜ"ye kurulan sisteme tanımlanması .....	25
Şekil 4.5.	Veritabanı bölümünde KOÜ GES ısıtım ve sıcaklık değerleri .....	26
Şekil 4.6.	Fotovoltaik sistem girdileri bölümü .....	27
Şekil 4.7.	Tüm yıl boyu maksimum verimlilik için optimum parametreler .....	28
Şekil 4.8.	FV modül ve evirici seçimlerinin, dizi tasarımının yapıldığı "sistem" .....	28
Şekil 4.9.	Simülasyon sonuçlarını gösteren ekran.....	29
Şekil 4.10.	Tüm yıl boyunca kayıp diyagramı .....	29
Şekil 4.11.	Pencere simgelerinin bulunduğu ana menü.....	30
Şekil 4.12.	PVSOL simülasyon yazılımı kullanıcı arayüzü .....	31
Şekil 4.13.	Şebekeye bağlı 3B güneş enerji sistemi .....	31
Şekil 4.14.	3B model ekranı .....	32
Şekil 4.15.	KOÜ 5,1 kW 3B panel yerleştirilme şeması .....	32
Şekil 4.16.	Kablolar penceresi.....	33
Şekil 4.17.	KOÜ 5,1 kW devre şeması.....	33
Şekil 4.18.	Finansal analiz penceresi.....	34
Şekil 4.19.	Sonuç penceresi.....	35
Şekil 4.20.	Orta doğu güneş potansiyelini.....	36
Şekil 4.21.	FV enerji verimi hesaplayıcı ekranı .....	36
Şekil 4.22.	İndirilebilir haritaların ekranı .....	37
Şekil 4.23.	Potansiyel güneş istatistikleri ekranı .....	37
Şekil 4.24.	Fotovoltaik sistemin bağlantı şeması .....	38
Şekil 4.25.	Teknoloji fakültesi binasının çatısında 5,1 kW"lik polikristal güneş modülleri .....	38
Şekil 4.26.	5,1 kW güce sahip şebeke bağlantılı FV sistemin gerçek ve tahmini enerji üretim değerleri.....	41
Şekil 4.27.	Bağlantılı FV PVSOL ve sistemin gerçek ve tahmini enerji üretim değerleri .....	43
Şekil 4.28.	15 haziran 2019 saat 11:00 ile 15:00 arası performansı gösterir grafik .....	44
Şekil 4.29.	Bağlantılı FV PVsyst ve sistemin gerçek ve tahmini enerji üretim değerleri .....	45

Şekil 4.30. 20 Temmuz 2019 saat 11:00 ile 15:00 arası performansı gösterir grafik .....	46
Şekil 4.31. Bağlantılı FV GSA ve sistemin gerçek ve tahmini enerji üretim değerleri.....	47
Şekil 4.32. 18 Temmuz 2019 saat 11:00 ile 15:00 arası performansı gösterir grafik .....	48



## TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1.	Yönetmeliğin incelenmesi sırasında gerekli olabilecek bazı kavramların açıklamaları.....	9
Tablo 1.2.	EPDK tarafından onaylanan ve 1 temmuz 2021 tarihinden itibaren uygulanacak faaliyet bazlı tarifeler .....	10
Tablo 3.1.	Kocaeli ilinde ve ilçelerindeki toplam güneşlenme ve radyasyon verileri .....	19
Tablo 4.1.	FV panellerin teknik bilgileri .....	38
Tablo 4.2.	5,1 kWp güce sahip şebeke bağlantılı FV sistemin gerçek ve tahmini enerji üretim değerleri.....	40
Tablo 4.3.	2018 gerçek enerji üretim değerleri ile tahmini enerji üretim değerlerin farkı .....	42
Tablo 4.4.	2019 gerçek enerji üretim değerleri ile tahmini enerji üretim değerlerin farkı .....	42
Tablo 4.5.	PVSOL değerleri ile sistemde anlık üretilen güç .....	44
Tablo 4.6.	PVsyst değerleri ile sistemde anlık üretilen güç .....	46
Tablo 4.7.	GSA 18 temmuz 2019 değerleri ile sistemde anlık üretilen güç.....	47
Tablo 5.1.	2018 ve 2019 yıllarına ait kapasite faktörü hesaplamaları .....	49
Tablo 5.2.	Gerçek üretilen enerjinin yıllara göre toplam maliyet karşılığı .....	50
Tablo 5.3.	PVSOL verilerine göre üretilen enerjinin maliyet karşılığı .....	50
Tablo 5.4.	Fotovoltaik sistemin kurulum maliyetini karşılama yılını göstermektedir.....	50
Tablo 5.5.	PVSOL verilerine göre FV sistemin kurulum maliyetini karşılama yılını göstermektedir.....	50
Tablo 5.6.	Yerli üretim teşvik sistemi ile kurulum maliyeti karşılama yılının hesaplanması.....	50
Tablo 5.7.	PVSOL verilerine göre yerli üretim teşvik sistemi ile kurulum maliyeti karşılama yılının hesaplanması .....	51



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$\delta$	: Deklinasyon açısı
\$	: Dolar
A	: Amper
CF	: Kapasite faktörü
E	: Enerji
EAC	: Sistemde günlük üretilen AC enerji miktarı (kWh/gün);
GWh	: Gigawatt saat
HT	: Belli bir alana etkiyen güneş ışınımı toplamı (kWh/m <sup>2</sup> )
ID	: Diyot akımı
I <sub>mpp</sub>	: Maksimum güç noktası akım
I <sub>ph</sub>	: Fotovoltaik akım
I <sub>sc</sub>	: Kısa devre akımı
kVA	: Kilovolt amper
kW	: Kilowatt
kWh	: Kilowatt saat
kWp	: Kilowatt peak
m	: Metre
m <sup>2</sup>	: Metrekare
mm	: Milimetre
MW	: Megawatt
MWh	: Megawatt saat
n	: Verim
P <sub>max</sub>	: Maksimum güç
PR	: Performans oranı
V	: Volt
V <sub>mpp</sub>	: Maksimum güç noktası gerilim
V <sub>oc</sub>	: Açık devre gerilimi
W	: Watt
Wp	: Watt peak
YA	: Fotovoltaik dizi kazancı
YF	: Final kazancı
YR	: Referans kazancı

### Kısaltmalar

3D	: Üç Boyutlu
AC	: Alternatif Akım
AG	: Alçak Gerilim
DC	: Doğru Akım
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
EİGM	: Enerji İşleri Genel Müdürlüğü
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurum

ESRI	: Environmental Systems Research Institute (Çevresel Sistemleri Araştırma Enstitüsü)
FV	: Fotovoltaik
GES	: Güneş Enerji Santrali
GSA	: Global Solar Atlası
IEA	: International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
KOÜ	: Kocaeli Üniversitesi
OG	: Orta Gerilim
OSB	: Organize Sanayi Bölgesi
TEDAŞ	: Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
YEGM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
YEKDEM	: Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması



# LİSANSIZ ELEKTRİK ÜRETİMİNDE ŞEBEKE BAĞLANTILI FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN PERFORMANS ANALİZİ

## ÖZET

2013 yılında, yenilenebilir enerji alanında yapılan bir dizi yasal düzenleme ile birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranı artmış ve bu sistemler için yüksek verim ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Verimin sayısal olarak değerlendirilebilmesi için performans analizlerinin yapılması önem arz etmektedir. Performans analizleri sayesinde var olan enerjiden hangi ölçüde yararlanılabildiği ve bu oranı geliştirmek için hangi yöntemlerin uygulanması gerektiği anlaşılabilir. Özellikle yapılan araştırmalar doğrultusunda 2040 yılında dünya nüfusunun 9 milyara yükseleceği ve önümüzdeki 25 yıl içerisinde 2 milyar insana daha enerji arzı sağlanması gerektiği ortaya konmuştur. Dünyada sürekli artış gösteren enerji talebinin bir sonucu olarak fosil yakıt rezervleri hızla azalmakta olup petrol ve doğalgaz rezervleri kritik seviyelere doğru yaklaşmaktadır. Tüm bu bilgiler ışığında yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi artmakla birlikte yüksek nüfusa bağlı olarak artan enerji ihtiyacı da bu kaynaklardan maksimum oranda faydalanmayı zorunlu kılmaktadır. Türkiye, yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan bir ülke olmasına rağmen bu enerjinin kullanım oranı istenilen düzeyde değildir. Ancak son yıllarda yapılan çalışmalar ile güneş enerjisinden maksimum düzeyde faydalanmak için önemli adımlar atılmıştır. Bu çalışmada, elektrik enerjisi üreten fotovoltaik sistemler üzerinde performans analizleri yapılarak elde edilen sonuçlar doğrultusunda bugüne kadar yapılmış olan geliştirme faaliyetlerine katkıda bulunmak amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda Kocaeli Üniversitesi Teknoloji Fakültesinin binası çatısında kurulu gücü 5,1 kW'lık sistemin enerji üretim değerleri ile PVSOL, PVsyst ve GSA programlarından alınan tahmini üretim değerleri karşılaştırılmıştır. Sistemin tahmini üretim performansı, 2018-2019 yılları arasında PVsyst verilerine göre %87,5 - %91, GSA performans yüzdesinin %96,6 - %100 aralığında ve PVSOL verilerine göre ise %97,3 - %98,1 olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Fotovoltaik Sistemin Maliyet Analizi, FV (Fotovoltaik) Sistemlerin Performansı, Lisansız Elektrik Üretimi.

## **PERFORMANCE ANALYSIS OF GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN UNLICENSED ELECTRICITY GENERATION**

### **ABSTRACT**

In 2013, with a series of legal regulations made in the field of renewable energy, the rate of use of renewable energy resources increased and the need for high efficiency for these systems emerged. Performance analysis is important in order to evaluate the efficiency numerically. Through to the performance analysis, it can be understood to what extent it can benefit from the existing energy and which methods should be applied to improve this rate. Especially in line with the researches carried out, it has been revealed that the world population will increase to 9 billion in 2040 and that 2 billion more people should be supplied with energy in the next 25 years. As a result of the ever-increasing energy demand in the world, fossil fuel reserves are rapidly decreasing, and oil and natural gas reserves are approaching critical levels. In light of all this information, the importance of renewable energy sources increases, and the increasing energy need due to the high population also makes it necessary to benefit from these resources at the maximum rate. Although Turkey is a country with a high potential for solar energy as a renewable energy source, the utilization rate of this energy is not at the desired level. However, with the studies carried out in recent years, important steps have been taken to benefit from solar energy at the maximum level. This study, it is aimed to contribute to the development activities carried out so far in line with the results obtained by performing performance analyzes on photovoltaic systems generating electrical energy. For this purpose, the energy production values of the system with an installed power of 5.1 kW on the roof of the Kocaeli University Faculty of Technology building and the estimated production values obtained from PVSOL, PVsyst, and GSA programs were compared. The estimated production performance of the system was %87.5 - 91% according to PVsyst data, 96.6% - 100% GSA performance between 2018-2019, and 97.3% - 98.1% according to PVSOL data.

**Keywords:** Fotovoltaic Systems Cost Analysis, PV (Photovoltaics) Performance Of The System, Unlicenced Electricity Production.

## GİRİŞ

Dünya genelinde ve Türkiye’de nüfus artışı ile doğru orantılı olarak enerji ihtiyacı da günden güne artmaktadır. Bu enerji ihtiyacını karşılamak için en yaygın kullanılan kaynaklar olan fosil yakıtlar ise artan nüfus ve refah seviyesindeki artışa bağlı olarak hızla azalmaktadır. Nüfusa yönelik yapılan araştırmalar dünya nüfusunun önümüzdeki yıllarda hızla yükseleceğini ortaya koyarak enerji alanında gelecekte yaşanacak arzın artacağına işaret etmektedir. 2050 yılına kadar dünya nüfusunun 10 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir [1].

Bu enerji ihtiyacını karşılamak için en yaygın kullanılan kaynaklar olan fosil yakıtlar ise hızla azalmaktadır. Üstelik bu yakıtların kullanımı sonucunda gezegenimizde birtakım olumsuz doğa olayları gerçekleşmektedir. Ayrıca bu olumsuz doğa olaylarının hava, su ve toprak üzerinde etkilerinin sonucunda dünya üzerindeki canlı sağlığı zarar görmektedir [2].

Dolayısıyla artan enerji arzını takiben yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim kaçınılmaz hale gelecektir. Gelecekte yaşanması muhtemel bu enerji sorunlarına tüm dünya ülkelerinde olduğu gibi Türkiye de çözüm arayışı içerisinde. Buna yönelik olarak Türkiye 2023 yılına kadar ulusal enerji hedeflerini belirleyerek bu hedefler doğrultusunda Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’na yayımlanan stratejik enerji planı çerçevesinde Türkiye’nin toplam kurulu güç içerisindeki yenilenebilir yerli enerji kaynaklı kurulu güç oranı %59 değerinden %65’lere çıkartılacağı planlanmaktadır. Ayrıca bu hedefler arasında güneş enerjisinin kurulu güç miktarını 2019 yılına göre iki kat arttırarak 5,4 GW’tan 10-10,5 GW’a yerine çıkarmak vardır. Bu artışın yaklaşık olarak 3GW’ı çatı güneş enerji sistemleri (GES) sistemlerinden kalan 2 GW’nın ise arazi uygulamalarından karşılanması beklenmektedir.

Rüzgâr enerjisinin 7,2 GW’tan 11,8 GW’a, Hidroelektrik enerjisinin 28,4 GW’tan 32 GW’a ve Jeotermal ile Biyokütle enerjisinin ise 1,3 GW’tan 2,9 GW’a çıkarılması hedeflenmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminin toplam elektrik enerjisi içerisindeki payının %30 a çıkarılması hidroelektrik enerji potansiyelinin tamamının elektrik üretimine entegre edilmesi rüzgar enerjisi ile çalışan elektrik üretim santrallerinin kurulu gücünün 20.000 MW'a çıkarılması gibi hedefler doğrultusunda çalışmalar yürütülmektedir [3].

Tüm bunlara ek olarak güneş enerji santrallerinin 2019 yılı itibariyle 3.000 MW ve jeotermal elektrik santrallerinin ise 600 MW kurulu güce ulaşmaları hedeflenmiştir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminin artırılmasına yönelik elektrik piyasası için 2013 yılında yayınlanan lisanssız elektrik üretimine dair yönetmelik ile gerçek veya tüzel kişilere güneş enerjisinden yararlanarak kendi elektriğini üretme ve ihtiyaç fazlasını ulusal şebekeye satabilme hakkı verilmiştir [4].

Üstelik kişiler bu yasa ile elektrik satma yetkisini şirket kurma zorunluluğu olmadan elde ettiklerinden dolayı ciddi bir elektrik üretimi meydana gelmiştir. Bu yönetmeliğin yayınlanmasının ardından ülkemizde yapılan GES yatırımlarına bakacak olursak 2014 yılından bu yana toplam GES kurulu gücünün 40,2 MW'tan 2231,8 MW'a ulaşarak yaklaşık 55 kat artış göstermiştir [5].

Bu bilgiler ışığında yenilenebilir enerji kaynakları çevreye zarar vermeyen, canlı sağlığı üzerinde olumsuz etkilere yol açmayan ve sürdürülebilir nitelikleri ile en çok tercih edilen enerji kaynağı olma özelliğini taşımaktadır. Türkiye dünya çapında düşük fosil yakıt kaynağına sahip ülkelerden biridir. Enerji ihtiyacının önemli bir kısmını ithal ettiği için enerji fakiri ülkeler arasındadır. Ancak son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik yatırımların teşvik edilmesi ile birlikte ithal edilen enerji azaltılmaktadır [6].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının en verimli olan güneş enerjisi yönünden Türkiye zengin bir ülke olarak nitelendirilebilir. Türkiye yıllık 380 MWh'lik üretim ile yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahiptir [7]. FV Uygulamaları Açısından Dünya Güneş Enerjisi Potansiyeli (kWh/kWp : FV'lerin gün ve yıl bazında saatte maksimum düzeyde üreteceği enerji miktarı) [8].

Enerji sektöründe, santrallerde üretilen enerji değerlerinin tahmin edilmesi büyük önem arz etmektedir. Üretilecek enerjinin tahmin edilebiliyor olması tesisin amortisman süresi, bakım zaman aralıkları ve tesisin kurulacağı yerin seçimi gibi hususlara etki edebilmektedir [9].

### Çalışmanın Amacı ve Önemi

Kurulması planlanan bir güneş enerji santralinin üreteceği enerji miktarının önceden yaklaşık olarak bilinmesi, enerji sektörü için büyük önem arz etmektedir. Güneş enerji üretim santralının tasarımında, sistemin konumlanacağı yerin coğrafik şartları, kurulacak olan yapının arazi koşulları, bu bölgeye ait güneşlenme potansiyeli, sistemde yer alacak olacak FV panellerinin ve inverterin verimi gibi birçok parametre göz önünde bulundurulmalıdır. Santralin üreteceği enerjinin önceden yaklaşık olarak bilinmesi bu parametreleri etkileyeceği gibi amortisman süresi ve sistemin bakım planlaması için de yol gösterici olmaktadır. Sistemin enerji üretim miktarının tahmininde, simülasyon programları kullanılarak modellemeler yapılmakta ve bu sayede en doğru tahmin yapılmaya çalışılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı kapsamında, yeni bir sistem kurulumunda fotovoltaik teknolojilerin kullanılması ile elde edilecek enerji miktarlarını tahmin etmek ve bu tahminleri değerlendirmek için ticari bir analiz yapılması hedeflenmiştir. Bu çalışmanın amacı kapsamında, Kocaeli Üniversitesi Enerji Mühendisliği binasının çatısında 2014 yılından itibaren faaliyette olan ve kurulu ve kurulu gücü 5,1 kW olan sistemin simülasyon programında elde edilen modeli üzerinde analizler yapılarak sonuçlar değerlendirilmektedir. Bu amaç doğrultusunda PVsyst, PVSOL ve GSA programları kullanılmış ve kurulu sistemin gerçek üretim verileri ile bu simülasyon programlarından elde edilen analiz verileri arasında karşılaştırmalar yapılarak sistemin performansı değerlendirilmiştir. Bu şekilde sisteme ait verim, performans, üretilecek tahmini enerji gibi birçok bilgiye ulaşılmıştır.

Bu karşılaştırma yöntemi aynı bölgede kurulacak farklı bir fotovoltaik sistemin tasarım ve kurulumu için bir analiz yöntemi olarak kullanılabilir.

## Literatür Araştırması

Nikolaos M. Loulas ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada Yunanistan'a bağlı Selanik Belediyesi sınırlarında bir bina seçmişlerdir. Farklı analiz programları kullanarak bu yapıya ait detaylı gölge analiz sonuçlarını yorumlamışlardır. Bu analizler ile güneş panelleri gölge olmayan alanlara yerleştirilerek PVsyst programında bir yılda üretilen elektrik miktarı hesaplamışlardır [10].

Chiou-Jye Huang ve ark. (2013), uzun vadede bir fotovoltaik sistemin ne kadar enerji üreteceğini, FV sistemin kararlı durumundaki modelini kullanarak tahmini olarak elde etmeyi amaçlamışlardır. Bu amaç doğrultusunda, FV panel sıcaklıkları entegre edilerek sistemin ürettiği enerjinin yaklaşık değeri PVsyst programı ile hesaplanarak tahmin edilmiştir [11].

Axaopoulos ve ark. (2014), FV sistemlerinin üretebilecekleri enerji miktarını tahmin edebilmek için çeşitli analiz programları kullanmıştır. Kurulu gücü 19.8 kWp olan sistemi, iklim verilerini de içeren PVsyst, PVSOL, Polysun, TRNSYS ve Archelios gibi programları kullanarak analiz etmişlerdir. Yaptıkları bu çalışma sonucunda, FV panellerine etkiyen güneş ışınımını tahmin etmede analiz programlarının ortalama olarak sonuca ulaştırdığını; ancak sistemin üreteceği enerjinin miktarının önemli ölçüde sistem kurulumuna bağlı olduğunu belirtmişlerdir [12].

Bruno Wittmer ve ark. (2015) yaptıkları çalışma ile; bir FV sisteminin çalışma ve performans takibindeki referans alınacak en önemli kaynağın şebeke bağlantılı FV sistemlerinin izleme verileri olduğunu ve ana hata çeşitlerinin yalnızca bu veriler analiz edilerek ortaya konabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca izleme verilerinin gerçek değerleri simülasyon sonuçları ile entegre edildiğinde daha kapsamlı problemlerin çözümünde faydalı olabilecek ek veriler sağlandığını vurgulamışlardır [13].

Cem Haydaroglu ve Bilal Gümüş (2016), FV güneş enerjisi santrallerinde enerji üretim miktarı ile ilgili yapılacak analizler için analiz programlarının önem taşıdığını vurgulamışlar ve Dicle Üniversitesi'nde Mühendislik Fakültesi binasında kurulu olan bir FV sistemi üzerinde incelemeler yapmışlardır. Yaptıkları çalışmalar sonucunda enerji simülasyonlarında PVsyst programının daha ayrıntılı sonuçlar elde etmede başarılı olduğunu belirtmişlerdir. 250 kWp kurulu güce sahip FV santral için PVsyst



programında performans analizleri yapmışlardır ve bu sonuçları sistemin 2015 yılı Aralık ayından itibaren Nisan 2016 tarihine kadarki üretim değerleri ile karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma sonuçlarına göre en yüksek üretimin Ağustos ayında yaşandığı tespit edilmiştir. Ayrıca santralin yıllık ortalama enerji üretiminin 380,6 MWh olacağı tahmin edilmektedir [14].

Ertuğrul Bükün (2017), yaptığı deneysel kurulum ile 250 W'lık FV panelini sabit ve tek eksenli olmak üzere iki farklı güneş takip sistemi olarak modellemiştir. Omik yük ile iki sistemi de ayrı ayrı bağlayarak ölçüm yapmıştır. Yapılan deneysel çalışma sonucunda ise tek eksenli güneş takip sisteminin sabit sisteme göre %30-35 oranında daha yüksek verimle çalıştığı belirlenmiştir.

Ilham Baghdadi ve ark. (2018), Fas'ın Tetouan eyaletinde 5,94 kWp kurulu güneş sahip şebeke bağlantılı FV sistemi üzerinde yaptıkları çalışmalarında, amorf, monokristal ve poli-kristal FV teknolojilerinin performans analizini PVsyst programı yardımıyla karşılaştırmalı olarak yapmışlardır. 2016 yılı süresince toplanan verilerden hareketle bu üç teknoloji sayesinde üretilen enerji ve verim değerlendirilmiştir. Ulaşılan sonuçlarla, teknolojilerden her birinin nihai verim simülasyonunun kaynak verimini yakından izlediği görülmüştür. Son olarak monokristal teknoloji ile üretilen enerji miktarının diğer teknolojilerle kıyaslandığında daha fazla olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Tanış (2019), Elazığ'da, kurulu gücü 1036.8 kWp olan güneş enerji santrali üzerinde yaptığı çalışma ile sistemin PVsyst programında enerji üretim analizini yapmıştır. Yapılan simülasyon sonucunda ise sistemin gerçek üretim değeri ile tahmini üretim değeri arasında %4.52'lik oran ile gerçeğe oldukça yakın bir değere ulaşmıştır.

Hayder Ali ve Hassan Abbas Khan (2019), Pakistan'da Lahore Yönetim Bilimleri Üniversitesi binasında bulunan 42 kWp kurulu gücündeki ve biri polikristal diğeri ise ince film kullanılmış iki sistem üzerinde yaptıkları çalışmalarında, gerçek sistemin çevre şartlarının da aynı şekilde PVSOL programına entegre edilerek bu FV sisteminin üreteceği elektrik miktarı simüle edilmiştir. Simülasyon sonuçları sistemin bir yıllık gerçek üretim verileri ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Ulaştıkları sonuçlara göre; ince film ile tasarlanmış sistemin yıllık daha fazla elektrik üretebildiği ve performansının da daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Ancak

maliyet açısından bakıldığında Pakistan için polikristal panel sistemlerinin daha ekonomik olduğu ve bu sistemlerin ince film tabanlı sistemlere göre daha az alana ihtiyaç duydukları belirtilmiştir.



## 1. LİSANSIZ ELEKTRİK ÜRETİMİNDEKİ YASAL DÜZENLEMELER

6646 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu Resmi gazetede 2013 yılı Mart ayında yayınlanmıştır. Bu kanunun 14. Maddesi; elektrik tüketicilerinin şirket kurma zorunlulukları olmadan ihtiyaç duydukları elektrik enerjisini kendi imkânları ile kurdukları tesislerden karşılayabilme ve ihtiyaç fazlası elektriği ulusal şebekeye satabilme hususlarındaki düzenlemeleri içermektedir. Bu kanun ile birlikte küçük çaplı enerji üretim tesislerinin enerji alanında ülke ekonomisine katkı sağlaması ve aynı zamanda gerçek veya tüzel kişilerin yaptığı bu üretimlerin enerji arzı güvenliğinin sağlanmasına da imkân tanımıştır [15].

Aynı yıl içerisinde Ekim ayında yayınlanan 28783 sayılı Elektrik piyasasında lisanssız elektrik üretim yönetmeliği kapsamında enerji üreticileri Hidrolik, Rüzgâr, Güneş, Jeotermal, Biokütle, Dalga ve Akıntı Enerjisi yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaya teşvik edilmiştir.

Tesislerin tümü bu yönetmelik hükümlerine tabi değildir. İletim veya dağıtım sisteminden izole tesisler, 1MW kurulu güce sahip veya yönetmeliğe göre kurulu güç sınır değeri Bakanlıkça belirlenmiş yenilenebilir enerji kaynaklarından üretim yapan tesisler, üretilen enerjinin tümünün herhangi bir iletim veya dağıtım kanalına verilmeden doğrudan kullanıldığı sistemler, yenilenebilir enerji kaynakları ile üretim yapan aynı zamanda üretimin tüketimin aynı ölçüm noktasında olduğu tesisler bu yönetmelik kapsamında kabul edilmiştir. Lisanssız elektrik üretim tesisi kurmak isteyen üreticiler kullanılacak yenilenebilir enerji kaynağı türüne göre ilgili kurumlara başvuru yapmak zorundadır. Yenilenebilir enerji kaynağı olarak hidrolik kaynaklardan yararlanılacak ise, il özel idaresi olmayan yerleşim yerlerinde Yatırım İzleme ve Koordinasyon Başkanlığına başvurular iletilir. Hidrolik enerji kaynağı dışında herhangi bir yenilenebilir enerji kaynağına dayalı bir tesis kurulacak ise çevre dağıtım şirketleri veya OSB başvuru yapılabilecek kurumlardır. Abonelik için yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak elektrik üretim tesisi kurmak isteyen üreticiler tesislerini kurulu gücü 1 MW'ı geçmemek koşulu ile bir veya birden fazla

üretim tesisi şeklinde kurabilirler. TEDAŞ kurumu güneş enerjisinden elektrik üretiminde özellikle küçük çapta yatırım yapan üreticileri desteklemekte olup 50 kW'a kadar kurulu güce sahip GES'lerin tip şartnamesini yayınlamış ve bu şartname kapsamında projelerin tasarım, uygunluk araştırmaları ve kabul süreçlerinde doğacak ücretleri yatırımcılardan tahsil etmeyecektir. Güneş enerjisinden elektrik üretim sektöründe yürütölen projelerde büyüklükleri dikkate alınmadan küçük ve büyük çaplı projelerin başvuru aşamalarında aynı süreçlerden geçmeleri piyasa için önemli bir sorun haline gelmişti. Çoğunlukla çatılarda kurulan küçük çaplı üretim sistemlerinin büyük projelerle aynı başvuru maliyetine tabi tutulması küçük projelerde yaklaşık olarak sistem maliyetine denk olan bir proje onay maliyeti ortaya çıkarıyordu. Dolayısıyla yaşanan bu olumsuzlukları gidererek küçük tesislerin gelişmesine katkı sağlamak amacıyla TEDAŞ 50 kW'a kadar tip şartnamesini yayınlamaya küçük ve büyük projelerin projelendirilme standartlarını birbirinden ayırmıştır. Böylece kurulu gücü 50 kW'a kadar olan tesislerin projelendirilme esasları bu şartnamede detaylandırılmıştır.

Lisanssız üretim, tüzel ya da gerçek kişiler tarafından yapılabilen (şirket kurma şartı olmadan) elektrik üretimidir. Lisanssız Üretim Yönetmeliği 12.05.2019 tarihinde 30772 sayılı Resmî Gazete 'de yayımlanmış, yayınlanma tarihi itibarıyla yürürlüğe girmiştir. Yönetmeliğe göre, lisanssız elektrik üretimine, lisanslı üretimden farklı olarak tüzel veya gerçek kişiler başvurabilirler; üreticinin şirket kurma zorunluluğu bulunmamaktadır. Ayrıca, tüketicilerin tüketim yerinde veya tüketime en yakın noktada üretim yapmalarının teşvik edildiği görölmektedir. Tüketiciler kendi ihtiyaçlarını karşıladıkları gibi, üretim fazlasını da dağıtım şirketine satabileceklerdir. Yönetmeliğin 1.maddesi, yönetmeliğin amacını ortaya koymaktadır [16].

Yönetmelik dört temel noktada düzenleme içermektedir. Üretim için başvuru usul ve esasları, ihtiyaç fazlası üretimin sisteme verilmesi halinde düzenleme, üretici ve şebeke işletmecilerinin hak ve yükümlölükleri, üretim tesisinin denetlenmesi hususları yönetmelik tarafından düzenlenmektedir.

Yönetmeliğin incelenmesi sırasında gerekli olabilecek bazı kavramların açıklaması Tablo 1.1'de verilmektedir.

Tablo 1.1. Yönetmeliğin incelenmesi sırasında gerekli olabilecek bazı kavramların açıklamaları [11]

Kavram	Açıklaması
Aynı noktada üretim-tüketim	Üretim tesisinin bağlantısı çift yönlü sayaçtan önce, tüketim tesisi tarafına yapılmış ise ilgili üretim ve tüketim tesisleri aynı yerde kabul edilir.
Mikrokojenerasyon	Kurulu gücü 100 kW veya daha az, elektrik enerjisine dayalı kojenerasyon tesisi.
İmdat grupları	Can ve mal güvenliğini korumak amacıyla kurulan elektrojen (yaygın kullanım şekli ile jeneratör seti) grupları
Dağıtık üretim	Bu kavram yönetmelikte dolaylı bir şekilde yer almakla birlikte, yönetmeliğin 1.maddesindeki “tüketicilerin ihtiyaç duydukları elektriği kendi üretim tesislerinin tüketim noktasına en yakın olanından karşılaması” ifadesi dağıtık üretim tanımına uymaktadır.
Sözleşme gücü	(Talep edilen güç) Kurulu güç x kapasite faktörü

### 1.1. Lisanssız Üretim Başvuru Süreci

Lisanssız üretim başvuruları ilgili dağıtım şirketine yapılır, dağıtım şirketi evrak incelemesi ardından dağıtım transformatöründe uygun kapasite mevcutsa teknik değerlendirme yapılmak üzere belgeler EİGM’ye gönderilir. Olumlu görüş alınması sonrasında çağrı mektubu ve bağlantı görüşü bildiren bilgilendirme ilgili dağıtım şirketince başvuru sahibine yapılır. Başvuru sahibi TEDAŞ’a projeyi sunar ve olumlu görüş alınması halinde ilgili dağıtım şirketine TEDAŞ’tan alınan onay belgesiyle başvuru yapar. Dağıtım şirketi ile anlaşması imzalanarak, AG seviyesinden bağlananlar 1 yıl, OG seviyesinden bağlananlar 2 yıl içinde tesisin kurulumunu bitirmelidir [17].

### 1.2. Üretim – Tüketim Hesaplanması

50 kW altı üretim tesisleri için üretim tüketimin esas alındığı noktaya çift yönlü sayaç kurulması yeterliyken, 50 kW üstünde ölçüm ve haberleşme özelliği bulunan sistemler zorunlu tutulmaktadır. Bu şartın uygulamadaki karşılığı SCADA vb. sistem olmaktadır.

### 1.3. Tüketim Birleştirme

Tükettikleri elektrik enerjisi ortak bir sayaçta bağlı olabilen veya bağlantı noktaları ve tarife grupları aynı olan kullanıcılar tüketim birleştirme yaparak üretim tesisleri kurabilirler. Ancak söz konusu tüketim birleştirmenin yapılabilmesi için katılımcılardan her birinin ayrı tüketim tesisi olmalıdır.

### 1.4. Dağıtım Sistemine Satış

İhtiyaç fazlası elektriğin dağıtım şirketine satılması tablo 2.1’de gösterildiği gibi 01/07/2021 EPDK tarife tabloları üzerinden ücretlendirilerek yapılacaktır. Yönetmelikle bu satış için 10 yıllık alım garantisi verilmektedir. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarından üretim yapanlar YEKDEM ile desteklenmektedir. Çift yönlü sayaçlardan saatlik bazda ölçüm alınarak, aylık üretim tüketim verileri üzerinden mahsuplaşma yapılacaktır [18].

Tablo 1.2. EPDK tarafından onaylanan ve 1 temmuz 2021 tarihinden itibaren uygulanacak faaliyet bazlı tarifeler

1/7/2021	Faaliyet Bazlı Tüketici Tarifeleri (kr/kWh)					Güç Bedeli Hariç Toplam Tarifeler (kr/kWh)			
Görevli Tedarik Şirketinden Enerji Alan İletim Sistemi Kullanıcıları	Perakende Tek Zamanlı Enerji Bedeli	Perakende Gündüz Enerji Bedeli	Perakende Puant Enerji Bedeli	Perakende Gece Enerji Bedeli	Dağıtım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece
Tüketici	63.8700	64.7394	106.3099	31.1880	0.0000	63.8700	64.7394	106.3099	31.1880
Dağıtım Sistemi Kullanıcıları	Perakende Tek Zamanlı Enerji Bedeli	Perakende Gündüz Enerji Bedeli	Perakende Puant Enerji Bedeli	Perakende Gece Enerji Bedeli	Dağıtım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece
Orta Gerilim Çift Terimli						Orta Gerilim Çift Terimli			
Sanayi	63.8338	64.7033	106.2738	31.1518	11.7040	75.5378	76.4073	117.9778	42.8558
Ticarethane	69.6006	70.3903	115.6218	34.4014	18.2404	87.8410	88.6307	133.8622	52.6418
Mesken	48.2340	49.1731	83.3774	21.8206	18.0670	66.3010	67.2401	101.4444	39.8876
Tarımsal Sulama	63.0021	63.7147	104.3911	31.2103	15.0223	78.0244	78.7370	119.4134	46.2326
Aydınlatma	63.7331				17.5068	81.2399			

### 1.5. Çatı ve Cephe Güneş Enerjisi Uygulamaları

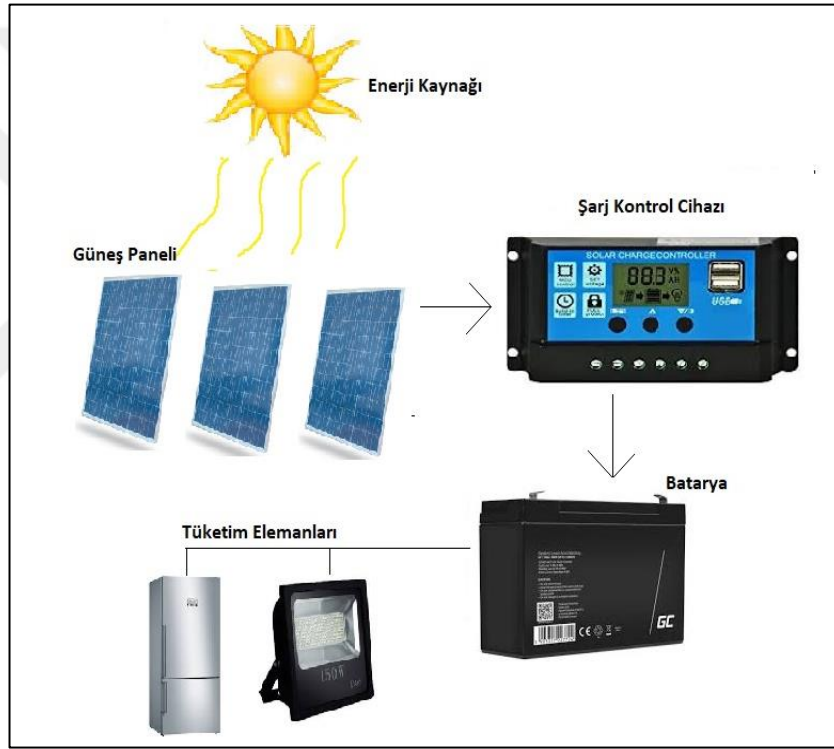
Dünyada güneş enerjisinden elektrik üretiminde yaygın uygulamalardan biri de binaların çatı ve cephelerine kurulan güneş enerjisi sistemleridir. Lisanssız Elektrik Üretimi Yönetmeliği 11. maddenin 3. fıkrasında, güneş enerjisinden elektrik üretimi için ancak çatı ve cephe uygulamalarına izin verilmektedir. Bu uygulamada üst sınır sözleşme gücü olup, en fazla 10 kW’a kadar izin verilmektedir. Tüketim fazlası elektriğin 10 yıl boyunca şebeke işletmecisi tarafından EPDK tarafından ilan edilen

ve aynı abone grubuna ait, perakende olarak tek zamanlı aktif enerji birim fiyatı ile şebeke satın alınması zorunludur. Çatı ve cephe uygulamalarının 10 kW ile sınırlandırılmasında dağıtım sisteminde kapasite arttırılmadan uygulama yapılmasının amaçlandığı söylenebilir [19].



## 2. FV SİSTEM TÜRLERİ

Solar FV sistemi, bir yükü beslemek için basitçe tasarlanmış bir sistemden, büyük FV santralleri gibi yüksek güce sahip sistemlere kadar tasarlanabilir. Örneğin bir bağımsız FV sistemi FV modülleri, şarj kontrolörü, evirici ve gerektiğinde pil gibi dört temel unsurdan oluşmaktadır [20]. Bu sistemlerin bir örneği Şekil 2.1’de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Bataryalı FV güneş enerjisi sistemi

FV modülü, doğrudan güneş enerjisini DC elektriğe dönüştüren FV hücrelerinden oluşmaktadır.

Bu yüzeyler yakıt kullanılmayan ve yıpranmaya sebep olacak hareketli parçalar bulundurmayan, titreşimsiz gürültüsüz ve çevreye zarar vermeyen sistemlerdir. Şarj kontrol cihazı ise, pil kullanım ömrünü artırma işlevlerine ve pillerin aşırı şarj edilmesini önleme özelliğe sahiptir. Evirici, FV modüllerin tarafından üretilen gücün alternatif akıma (AC) dönüştürülmesini sağlamaktadır. Modüllerin ürettiği fazla



enerjiyi geceleri ve güneş ışığının az olduğu günlerde kullanılmak üzere depolamak için FV sistemlerinde piller kullanılmaktadır. Bağımsız sistemler, şebekeye bağlı sistemler ve hibrit sistemler gibi FV sistemleri vardır.

### 2.1. Şebekeden Bağımsız FV Sistemleri (Off-Grid)

Şebekeden bağımsız FV sistemleri yerel şebekeye bağlı değildir. Güç dağıtım ağından izole edilmiş uzak alanlarda faydalıdır aynı zamanda az enerji ihtiyacı duyulan yerlerde kullanılmaktadır. AC ana şebekesinin erişilemediği uzak bölgelerde, şebekeden bağımsız FV sistemi, bir AC voltaj kaynağı olarak kullanılabilir. Bir FV sistemin hava değişikliğinden ve güneşlenme oranları az olduğu dönemlerde yedek besleme olarak fazla enerjiyi üretti dönemlerde depolamak üzere şarj edilebilir kullanılması gereklidir [21]. Bağımsız (Off-grid) FV sistemlerinde endişe ise meydana gelen dalgalanan voltaj ve güç bunları önlemek için invertörler DC akım kontrollü bir şekilde AC akıma eviriciler vasıtasıyla dönüştürülür. Örneğin bir bağımsız FV sisteminin blok diyagramı Şekil 2.2'de gösterilmektedir.

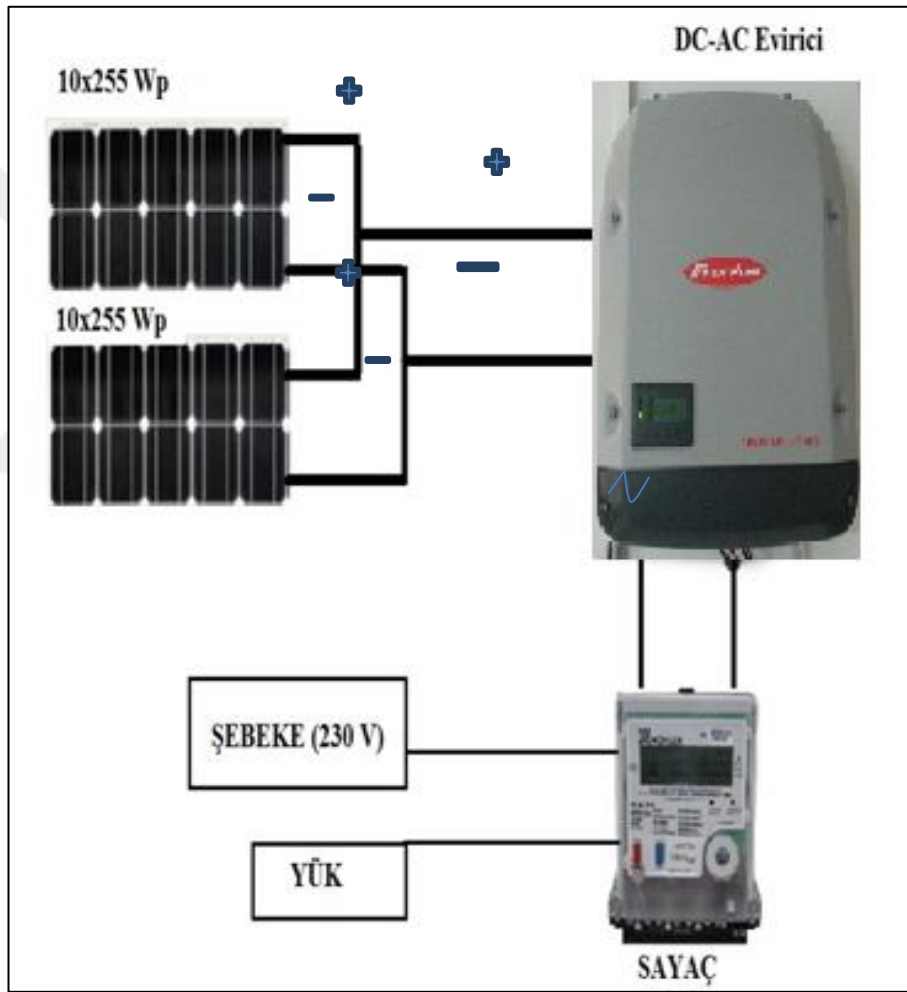


Şekil 2.2. Fotovoltaik şebekeden bağımsız sistemler

### 2.2. Şebeke Bağlantılı FV Sistemleri (On-Grid)

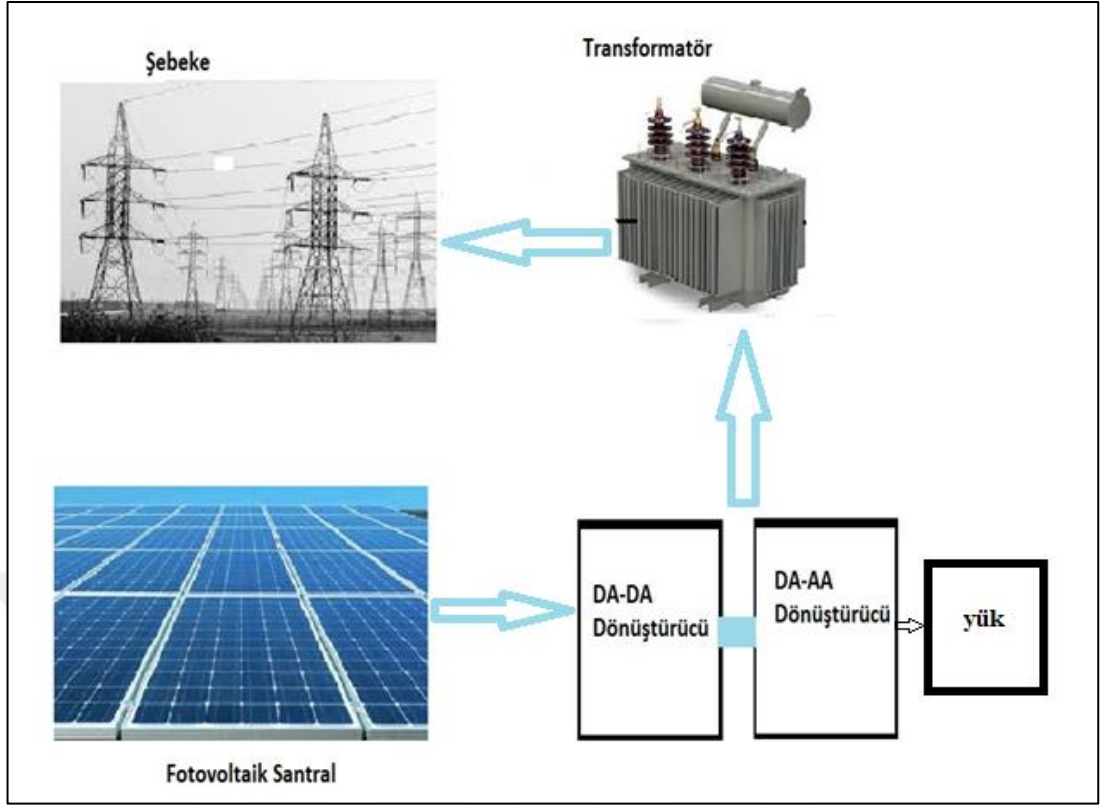
Şebekeye bağlı (On-Grid) sistemler, öz tüketimden sonra fazla enerjinin şebekeye beslenmesi için doğrudan dağıtım şebekesine bağlanır. Şebekeye bağlı uygulamalarda sistemi kuran enerji ihtiyacını FV sistemin üretmiş olduğu elektrik

kapatır. İhtiyacın çok yüksek olduğu durumda ise tüm üretim kapasitesi talepten az kaldığı için eksik olan enerji ulusal şebekeden alınır. Bunun yanı sıra güneşten üretim fazla olursa bataryaları kullanmadan direkt ulusal şebekeye aktarılabilir. Bu tür FV santralleri, yüksek enerji üretimi ve güneş enerjisinin verimli kullanımı için kullanışlıdır. Bunun yanı sıra konut veya kurumlarda elektrik faturalarını düşürmek ve temiz enerjiyi teşvik etmek amacıyla da kullanılır. Şebekeye bağlı sistemleri oluşturan üç ana unsur bulunmaktadır. Bu unsurlar; çift yönlü elektrik sayacı. Şebekeye bağlı evirici ve güneş paneli Şekil 2.3'te gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Şebekeye bağlı FV sistemleri oluşturan unsurlar

Şebekeye bağlı bir FV sistemdeki Şekil 2.4'te gösterildiği gibi ana bileşenler, inverter ve modüllerdir. Evirici, FV dizisindeki mevcut DC gücünü, şebeke şirketinin voltaj ve güç kalitesi gereksinimleri ile tutarlı olarak kullanılabilir AC gücüne dönüştürür. FV sistemi AC çıkışı ve ulusal şebeke arasında çift yönlü bir sayaç kullanılmaktadır.



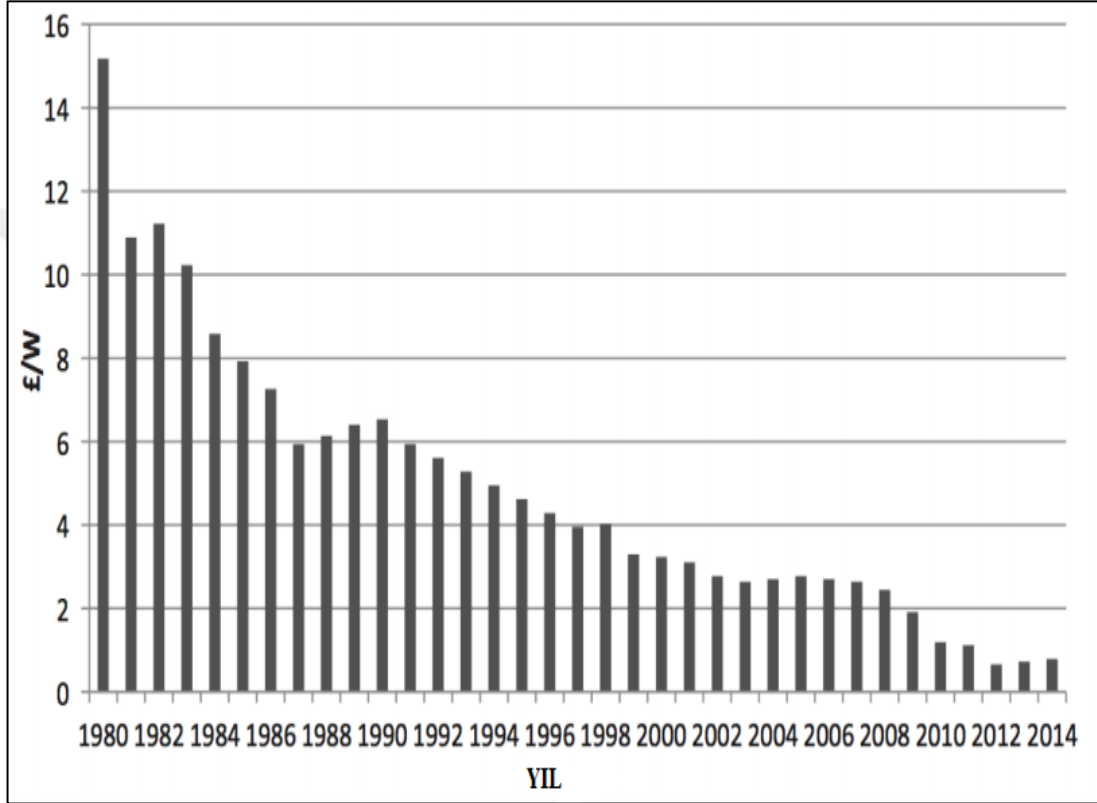
Şekil 2.4. Fotovoltaik sistemlerin şebekeye bağlantısı

Bu, FV gücü yük talep gücünden daha büyük olduğunda, FV sisteminin şebekeye yerel besleme yüklerine güç sağlamasını sağlar. Geceleri veya yüksek yük talepleri sırasında, yükün gerektirdiği güç, üretilen FV gücünden daha fazladır. Yükün gerektirdiği fazla güç, şebeke hizmetinden alınır. Bu güvenlik özelliği, şebekeye bağlı tüm FV sistemlerinde gereklidir ve şebeke servis veya onarım için kapalı olduğunda FV sisteminin çalışmaya ve şebekeye beslenmeye devam etmemesini sağlar.

### 2.3. FV Sistemlerin Maliyetlerinin Gelişimi

FV modülünün üretim maliyetleri ve fiyatı son yıllarda önemli ölçüde azalmıştır. FV sistemlerinin 1970'lerin ortalarında uzaydan karasal uygulamalara geçişi ile FV maliyetlerinde azalma yaşandı. Bu devrim, cihaz kalitesi ve güvenilirliğine yönelik talebin artmasıyla daha fazla standardizasyona ve pazarlarda rekabet artışına yol açtı. Maliyetlerdeki bu azalma, c-Si modülündeki düşüşten kaynaklanmıştır. Fiyatlar, 1968'de watt-tepe başına 90 \$'dan 1978'de watt-tepe başına 15 \$'a düşmüştür. c-Si maliyetlerinin düşüşü dönemler boyunca devam etti ve gelişmiş cihaz verimliliği ve

üretim ölçeği, ana maliyet düşürme faktörleri üzerinde azaltıcı etkisi oldu. FV panel fiyatının Şekil 2.5’de gösterildiği gibi düşmeye devam ettiğini ve 1987’de watt-tepe noktası başına yaklaşık 9 \$’da kaldığını ve daha sonra 1988’den 1990’a kadar arttığı görülmüştür. FV modülü fiyatlarında daha sonra FV modülü üretim kapasitesindeki artışlar ve FV talebini yavaşlatan dünya çapındaki bir durgunluk nedeniyle 1991’den 1995’e kadar önemli ölçüde bir düşüş yaşanmıştır [22].



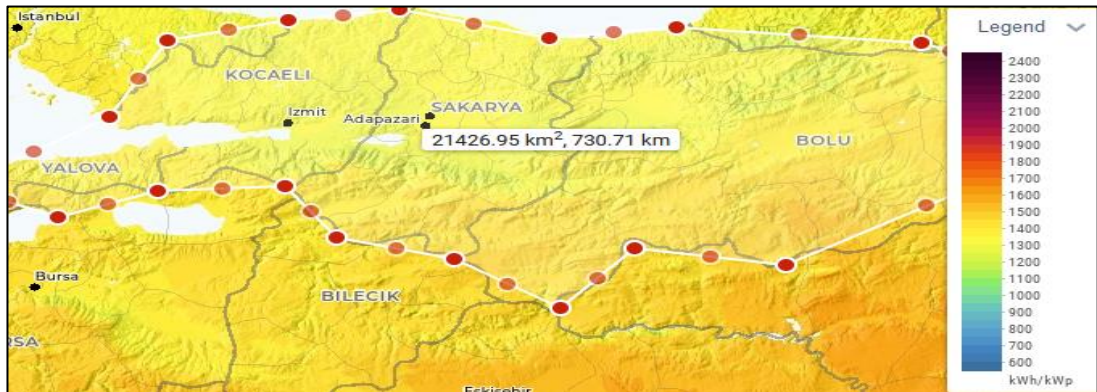
Şekil 2.5. FV hücre fiyatlarının gelişimi [22 ]

### 3. KOCAELİ GÜNEŞ ENERJİ POTANSİYELİ

Güneş fiziksel oluşumlara etki eden en önemli enerji kaynağıdır. Güneşten elde edilen enerji, diğer enerji çeşitlerinin içinde dönüştürülerek kullanılabilir. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli bakımından  $1.311 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$ 'lık değerle yüksek sayılabilecek bir potansiyele sahipken Doğu Marmara TR42 Bölgesi Şekil 3.1'de gösterildiği gibi  $1.168 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$ 'lık değeri ile Türkiye ortalamasına göre düşük bir enerji potansiyeline sahiptir. Ancak yine de bu bölgenin enerji potansiyeli Avrupa'ya göre yüksektir. Dolayısı ile bu potansiyelin etkili bir şekilde değerlendirilebilmesi için bu alanda gerekli tanıtım ve yatırım faaliyetlerinin yürütülmesi önem arz etmektedir. Bu konuda Sakarya Üniversitesi tarafından yapılan çalışmalar yol gösterici niteliktedir. Doğu Marmara bölgelerinden biri olan TR42 Bölgesi sınırında bulunan Kocaeli ili ve bu ile bağlı ilçelerin güneş enerjisi potansiyellerine ilişkin veriler aşağıdaki Tablo 3.1'de sunulmuştur.

Avrupa'da güneş enerjisi potansiyeli bakımından  $1311 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$  güneş ışınımı ve 2640 saatlik güneşlenme süresi ile Türkiye İspanya'dan sonra en yüksek değere sahip ülkedir. Verilen değerlerin güç ve güneşlenme süresi cinsinden ise; günlük  $3,6 \text{ kWh/m}^2$  güç ve toplamda 110 günlük güneşlenme süresi olarak ifade edilebilir.

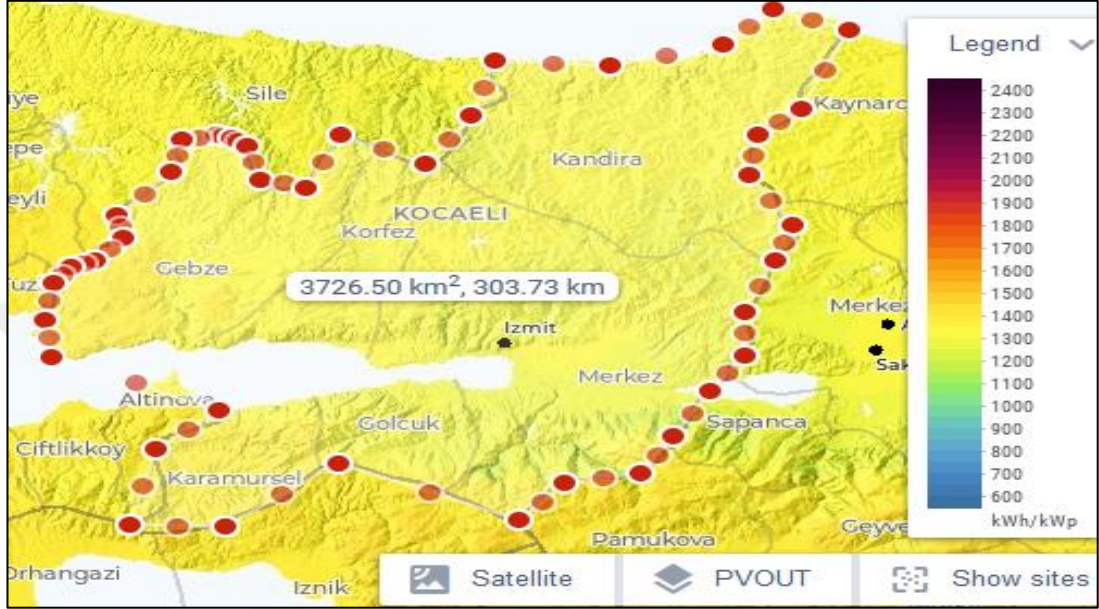
Türkiye'nin kuzey batısında yer alan Kocaeli şehrinin yıllık güneş ışınımı Şekil 3.2'de gösterildiği gibi  $1400\text{-}1450 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$  gibi bir ortalama değere sahiptir. Toplam Yıllık Güneşlenme Süresi (Saat/yıl) ise 2.409.



Şekil 3.1. Marmara bölgesi güneş enerjisi haritası

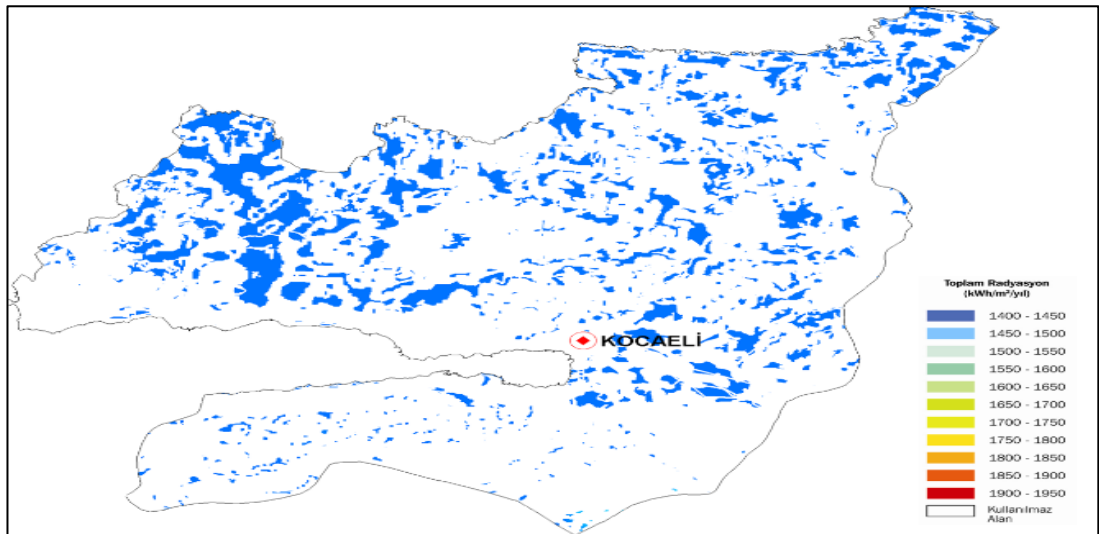


Son yıllarda Kocaeli ve birçok ilçesinde güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi, güneş enerjisi ile çalışan sulama sistemleri, çatı üstü sistemleri ve bu sistemlerde kullanılan panellerin fiyatlarına yönelik ciddi çalışmalar yapılmaktadır.



Şekil 3.2. Kocaeli güneşlenme haritası

Şekil 3.3'deki haritada boyalı alanların haricindeki kısımlar Kocaeli'de güneş enerjisinden yararlanılamayacak bölgeleri ifade etmektedir. Toplam güneşlenme süreleri ve radyasyona bakıldığında ilçelerin bu değerlerinin birbirinden ciddi anlamda farklı olmadığı anlaşılmaktadır.



Şekil 3.3. Kocaeli ili kullanılamaz alanlar haritası [17]

Tablo 3.1. Kocaeli ilinde ve ilçelerindeki toplam güneşlenme ve radyasyon verileri [23]

Aylar		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Kocaeli	R	1,4	2,2	3,3	4,3	5,5	5,9	5,81	5,2	4,1	2,8	1,6	1,3
	G	3,3	4,2	5,3	6,6	8,6	9,8	10,5	9,6	8,0	5,5	3,9	3,1
Derince	R	1,5	2,4	3,3	4,5	5,6	6	5,9	5,4	4,2	2,9	1,8	1,3
	G	3,3	4,2	5,3	6,6	8,6	9,8	10,4	9,59	7,96	5,4	3,97	3,2
Gebze	R	1,4	2,3	3,1	4,4	5,6	5,98	5,9	5,3	4,2	2,9	1,8	1,3
	G	3,3	4,2	5,3	6,6	8,6	9,8	10,5	9,6	8,0	5,5	3,9	3,1
Gölcük	R	1,5	2,4	3,3	4,5	5,6	6	5,9	5,4	4,2	2,9	1,8	1,3
	G	3,3	4,2	5,1	6,5	8,6	9,7	10,3	9,5	8	5,43	4	3,1
Kandıra	R	1,3	2,21	3,1	4,3	5,5	5,9	5,7	5,17	4,6	2,7	1,62	1,2
	G	3,3	4,2	5,3	6,6	8,5	9,9	10,5	9,7	7,8	5,3	3,8	3,1
Karamürsel	R	1,5	2,4	3,3	4,5	5,6	6	5,9	5,4	4,2	2,9	1,8	1,3
	G	3,3	4,2	5,3	6,6	8,5	9,9	10,5	9,7	7,8	5,3	3,8	3,1
Körfez	R	1,4	2,2	3,3	4,3	5,5	5,9	5,8	5,2	4,1	2,8	1,6	1,3
	G	3,3	4,2	5,3	6,6	8,6	9,8	10,5	9,6	8,0	5,5	3,9	3,1
Merkez	R	1,5	2,4	3,3	4,5	5,6	6	5,9	5,4	4,2	2,9	1,8	1,3
	G	3,3	4,1	5,2	6,6	8,5	9,8	10,4	9,5	7,9	5,4	3,9	3,2

R : Toplam radyasyon (kWh/m<sup>2</sup>-gün)      G : Güneşlenme süresi (saat)

## 4. ENERJİ ÜRETİMİ İLE PERFORMANS ANALİZİ

Bu tez çalışması kapsamında Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Yerleşkesi Teknoloji Fakültesi çatısı üzerinde kurulmuş bulunan ve 2014 Yılı temmuz ayında devreye alınan 5,1kWp gücündeki fotovoltaik sisteme ilişkin gerçek enerji üretim ve maliyet verileri esas alınmaktadır. Bu FV sistem Üniversitemiz Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü tarafından 2013-2016 Yılları arasında yürütülmüş 113E143 no'lu TÜBİTAK projesi kapsamında kurulmuştur. FV sistem şebeke bağlantılıdır ve hala enerji üretimine devam etmektedir. FV sistem enerji üretim verileri kullanılan Ethernet çıkışlı evirici aracılığı ile internet üzerinden çevrimiçi olarak izlenmekte ve web ortamında kayıt edilmektedir.

### 4.1. Sistem Performans Değişkenleri

Şebeke bağlantılı FV sistemlerde performans hesabı yapabilmek için Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından performans parametreleri belirlenmiştir. Oluşturulan bu performans değişkenleri, üretilen enerji, ışınlım ve sistem kaybı gibi verilerin sistem üzerindeki etkileri referans alınarak esas sistemin verim analizinde kullanılmaktadır. Fotovoltaik sistemlerde performans ile ilgili faydalanılan terimler aşağıda sıralanmaktadır.

#### 4.1.1. Fotovoltaik dizi kazancı ( $Y_A$ )

Bu değer hesaplanırken Fotovoltaik sistemin enerji değeri güç değerine ( $P_0$ ) bölünmektedir. Birimi ise kWh/kWp/gün olarak verilir [24].

$$Y_A = \frac{E_a}{P_0} \quad (4.1)$$

#### 4.1.2. Referans kazancı (YR)

Normal şartlarda referans verim (YR), enerji üretimini temsil etmekte iken toplam alana etkiyen güneş ışınlım HT (kWh/m<sup>2</sup>) değerinin referans ışınlıma ( $G_{STC} = 1\text{kW/m}^2$ ) bölünmesi sonucu standart test durumundaki oranını belirtir [25].



$$Y_R = \frac{H_T}{G_{STC}} \quad (4.2)$$

#### 4.1.3. Nihai verim (Y<sub>F</sub>)

Nihai verim değeri, üretilen AC enerjisinin yıllık, aylık veya günlük değerinin, sistemin standart test durumundaki kurulu gücünün maksimum değerine bölünerek elde edilir.

$$Y_F = \frac{E_{AC}}{P_0} \quad (4.3)$$

#### 4.1.4. Performans oranı (P<sub>R</sub>)

Bu oran, kullanılabilir durumdaki enerji ile ideal şartlardaki kayıpsız sistemin enerjisi arasındaki orandır [26].

$$P_R = \frac{Y_F}{Y_R} \quad (4.4)$$

#### 4.1.5. Kapasite faktörü (CF)

Kapasite faktörü sistemin ürettiği enerjinin, üretilebilecek maksimum teorik enerji değerine bölünmesi ile hesaplanır.

$$CF = \frac{E_{AC}}{365 \times 24 \times (P_0)} \quad (4.5)$$

#### 4.1.6. Sistem verimi

Sistem verimini hesaplamak için; sistemden elde edilen enerji değeri ile fotovoltaik sistem yüzeyine yansıyan radyasyon miktarı arasında aşağıdaki gibi bir denklem kurulur.

$$n_{sys} = \frac{E_{AC}}{H_T \times A} \quad (4.6)$$

E<sub>AC</sub>: Sistemde günlük üretilen AC enerji miktarı (kWh/gün); A: FV dizi alanı (m<sup>2</sup>)

H<sub>T</sub>: Belli bir alana etkiyen güneş ışınımı toplamı (kWh/m<sup>2</sup>)

#### 4.1.7. Spesifik verim

Spesifik verim, sistem boyutuna göre üretilen enerjiyi normalleştirir. Birimi saat veya kWh / kWp'dir Denklem 4.7 ye göre hesaplanmaktadır [27].

$$\text{spesifik verim} = \frac{\text{ACÇıkış enerjisi (kWh)}}{\text{DC güç(kWp)}} \quad (4.7)$$

#### 4.1.8. Dizi kaybı (Lc)

Referans verim (YR) ile dize verimi (YA) arasındaki fark ile bulunur [24].

$$LC = YR - YA \quad (4.8)$$

#### 4.1.9. Sistem kaybı (Ls)

Dize verim (YA) ile sistem verimi (YF) arasındaki fark ile bulunur [28].

$$Ls = YA - YF \quad (4.9)$$

### 4.2. Simülasyon Yazılımlarının Kullanımı ve Fotovoltaik Sistem Tasarımı

Çalışmanın bu kısmında Kocaeli ili İzmit ilçesinde, 5,1 kW kurulu güce sahip şebeke bağlantılı güneş enerjisi sisteminin modellenmesi yapılmış olup elde edilen simülasyon sonuçlarının yapay sinir ağı verileri ile karşılaştırmalı analizi yapılacaktır. Bu analizleri yapabilmek için iki ayrı simülasyon programı olan PVsyst, PVSOL ve GSA'ten faydalanılacaktır.

#### 4.2.1. PVsyst

PVsyst programı güneş enerjisi sistemlerinde simülasyon oluşturan bir yapay zeka sinir ağıdır. Bu program sayesinde hem on-grid (şebekeye bağlı), hem de off-grid (şebekeden bağımsız) gibi farklı türde sistemlerin tasarımı yapılabildiği gibi güneş enerjisinden yararlanılarak sulama sistemi tasarımları da kolaylıkla yapılabilmektedir.

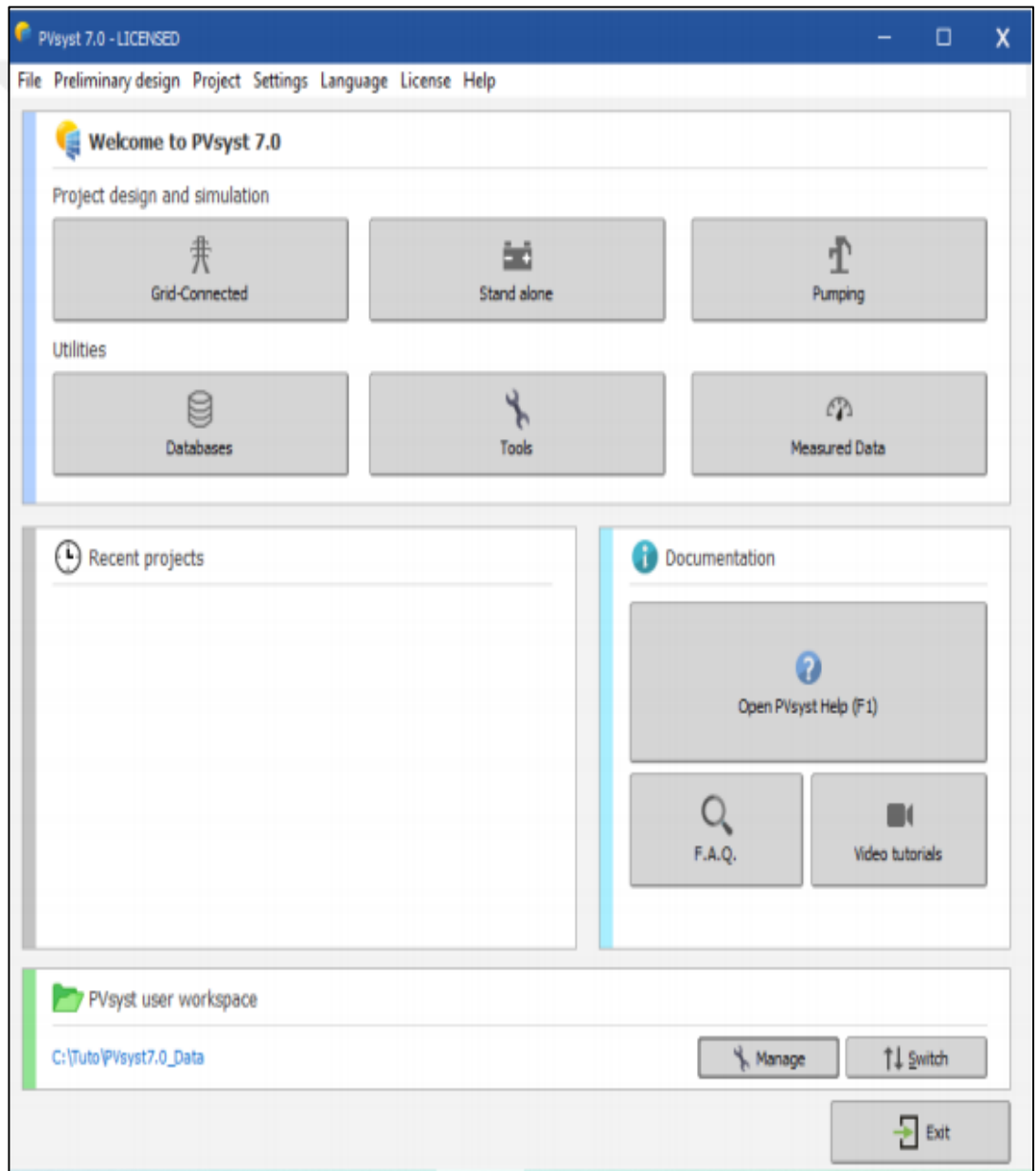
PVsyst programında gölgelenme durumlarının simülasyonunu, programda hazırlanan 3 boyutlu modellere güneş panellerini yerleştirerek görülmektedir. Kendi

tasarladığınız güneş enerjisi sisteminiz üzerinde güneşin doğuşu ve batışı esnasındaki panel yüzeylerine düşen gölgelenmeleri gerçek zamanlı olarak izleyebilirsiniz [28].

Program dili İngilizce olup ücretli bir simülasyon programıdır. Ancak mevcut demo sürümü ile ücretsiz erişim de sağlanabilmektedir.

#### 4.2.1.1. PVsyst kullanıcı arayüzü

PVsyst programı çalıştırıldığında kullanıcıları dört ana bölümden oluşan ana sayfaya yönlendirir.



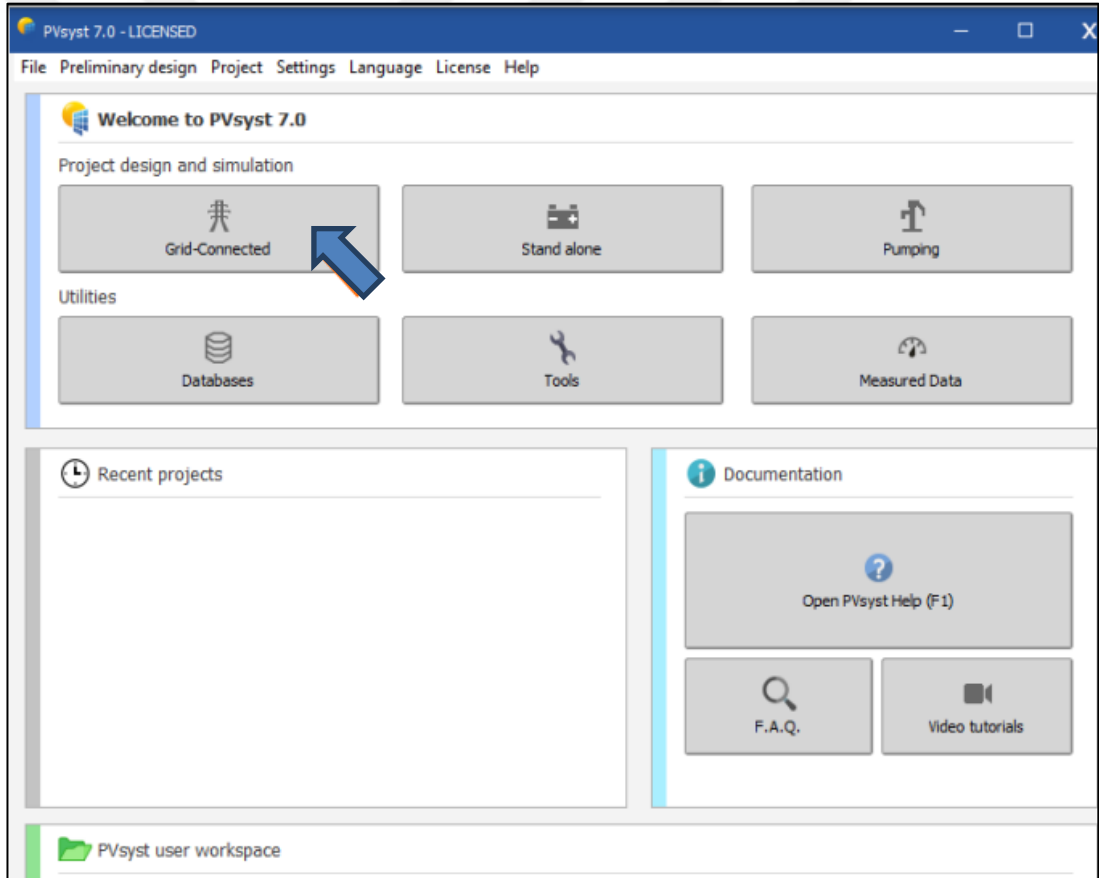
Şekil 4.1. PVsyst simülasyon yazılımı kullanıcı arayüzü

“Proje tasarımı ve simülasyon” yazılımın ana parçasıdır ve projenin bir bütün olarak çalışmasını sağlar. Proje, Meteorolojik verilerin seçimini, sistem tasarımını, gölgeleme çalışmalarını ve kayıpları içermektedir. Simülasyon, saatlik adımlarla tam bir yıl boyunca gerçekleştirilerek eksiksiz bir rapor ve birçok ek sonuç sağlar.

“Son projeler”, son projelerin hızlı bir şekilde bulunmasını ve değiştirilebilmesini sağlar.

“Dokümantasyon”, PDF eğitimleri, Videolar ve bir FAQ yardımıyla farklı simülasyonların gerçekleştirilmesine yardımcı olmaktadır.

“PVsyst user Workspace”, kullanıcı tarafından oluşturulan tüm verileri içerir.



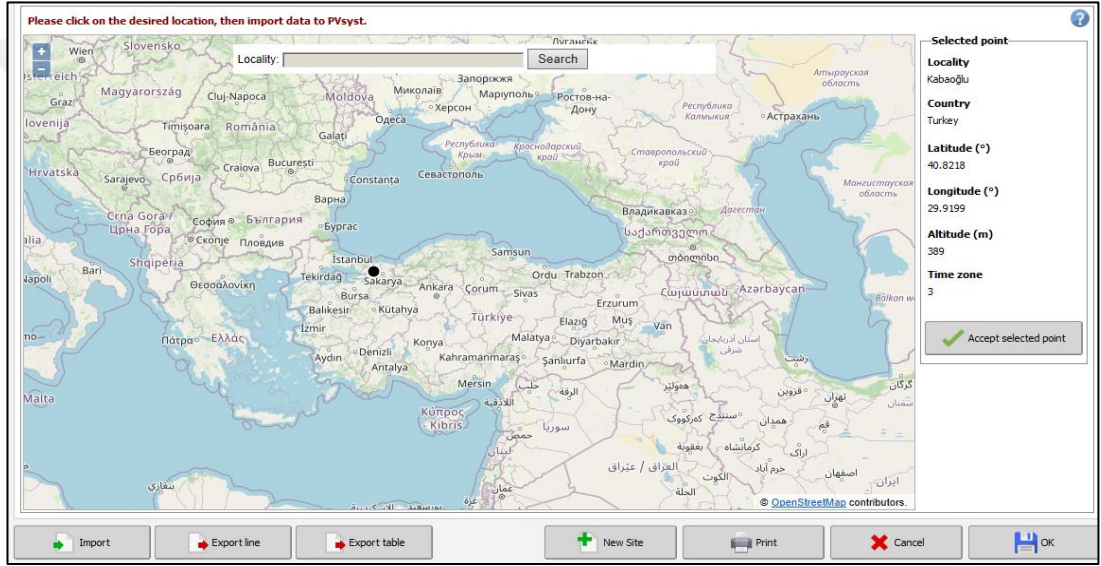
Şekil 4.2. Pencere simgelerinin bulunduğu ana menü

PVsyst’te bir proje geliştirilirken, aşağıda belirtilen kademeli adımlarla ilerlenmesi önerilmektedir:

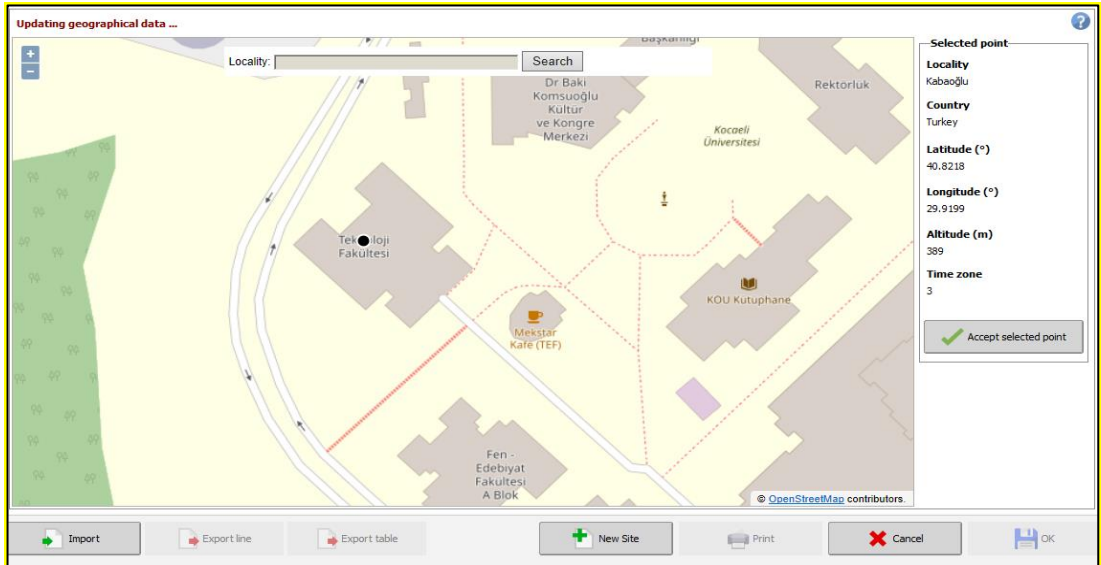
- Coğrafi konumu ve meteorolojik verileri belirterek bir proje oluşturulur.
- Yalnızca FV modüllerinin oryantasyonu, gerekli güç dahil olmak üzere temel bir

sistem varyantı tanımlanır. Aynı zamanda kullanılabilir alan ve kullanılmak istenilen FV modülleri ve eviricilerin türü gibi parametrelerin seçimi için PVsyst programı temel bir yapılandırma önermekte ve tüm parametreler için makul varsayılan değerler belirlemektedir.

- Bu ilk sisteme kademeli olarak pertürbasyonlar eklenerek ardışık değişkenler tanımlanır. Örneğin uzak gölgelendirmeler, yakın gölgelendirmeler, özel kayıp parametreleri, ekonomik değerlendirme vb.
- Karşılaştırma yapabilmek ve simülasyonda her bir değişkenin etkisini anlayabilmek için tüm değişkenler kaydedilir ve simülasyona eklenir.



Şekil 4.3. Türkiye'nin koordinatlarının sisteme tanımlanması



Şekil 4.4. Kocaeli ilinin KOÜ'ye kurulan sisteme tanımlanması

#### 4.2.1.2. Projeyi tanımlamak

Projede, kontrol paneli “Yeni proje” üzerine tıklanır ve bir proje adı tanımlanır. Ardından “Site ve Meteo”ya tıklanır.

Meteonorm’daki yaklaşık 2.550 siteyi tutan yerleşik veritabanından bir site seçebilir veya dünyanın herhangi bir yerinde bulunabilecek yeni bir site tanımlayabilirsiniz.

Proje panosunda, albedo değerleri, tasarım koşulları, tasarım sınırlamaları ve arayüz tercihleri gibi ortak proje parametrelerine erişmenizi sağlayacak “Proje ayarları” paneline tıklanır.

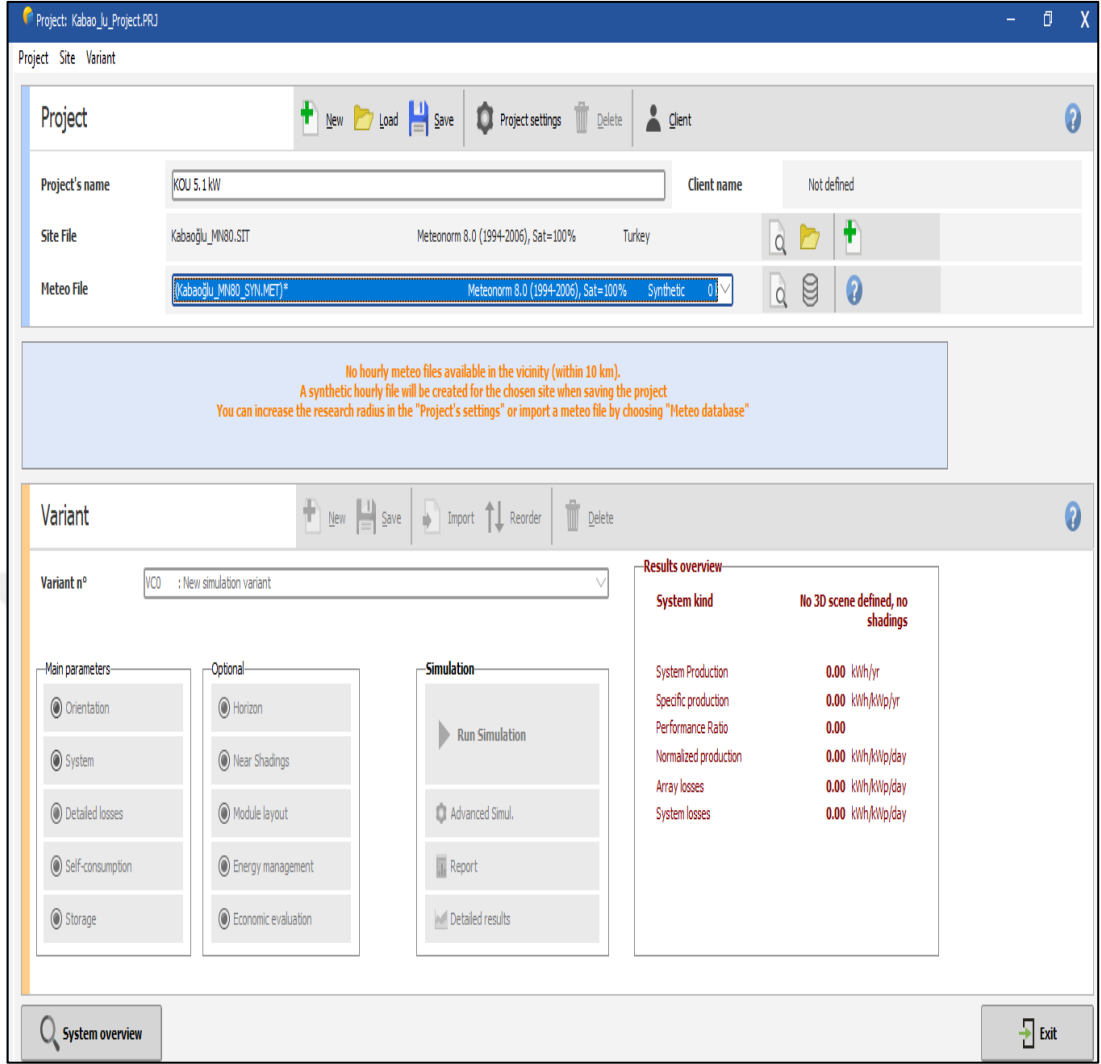
	Global horizontal irradiation kWh/m <sup>2</sup> /mth	Horizontal diffuse irradiation kWh/m <sup>2</sup> /mth	Temperature °C	Wind Velocity m/s	Linke turbidity [-]	Relative humidity %
January	53.4	27.9	5.4	2.39	2.872	77.4
February	63.1	40.7	6.2	2.60	3.218	75.4
March	103.3	59.5	8.8	2.60	3.807	72.1
April	141.8	73.4	12.4	2.49	4.399	71.8
May	189.7	81.6	17.8	2.30	3.875	70.3
June	205.6	84.8	22.5	2.30	3.515	66.3
July	205.9	80.9	25.8	2.39	3.471	62.5
August	180.8	69.8	25.8	2.40	3.494	63.6
September	134.4	53.7	20.6	2.20	3.401	70.7
October	84.9	41.8	15.7	2.10	3.273	75.2
November	56.8	31.1	11.0	2.10	2.978	78.3
December	44.7	27.1	7.1	2.38	2.874	77.5
Year	1464.5	672.3	14.9	2.4	3.431	71.8

Şekil 4.5. Veritabanı bölümünde KOÜ GES ısıtım ve sıcaklık değerleri

Proje parametreleri iletişim kutusundaki ikinci sekme, “Tasarım Koşulları” sayfasını içerir.

#### 4.2.1.3. Projeyi kaydetme

Projeyi Kaydetme (Saving the Project) Gerekli değişken seçimleri yapıldığında (yani Varyant seçeneklerine gidildiğinde), projeyi kaydetmek gerekmektedir. Açılan iletişim kutusu projenin yeniden adlandırılmasına izin verir. Seçilecek isim tüm varyantlar için bir etiket olarak kullanılacağından basit bir dosya adı seçilmesi önerilmektedir.

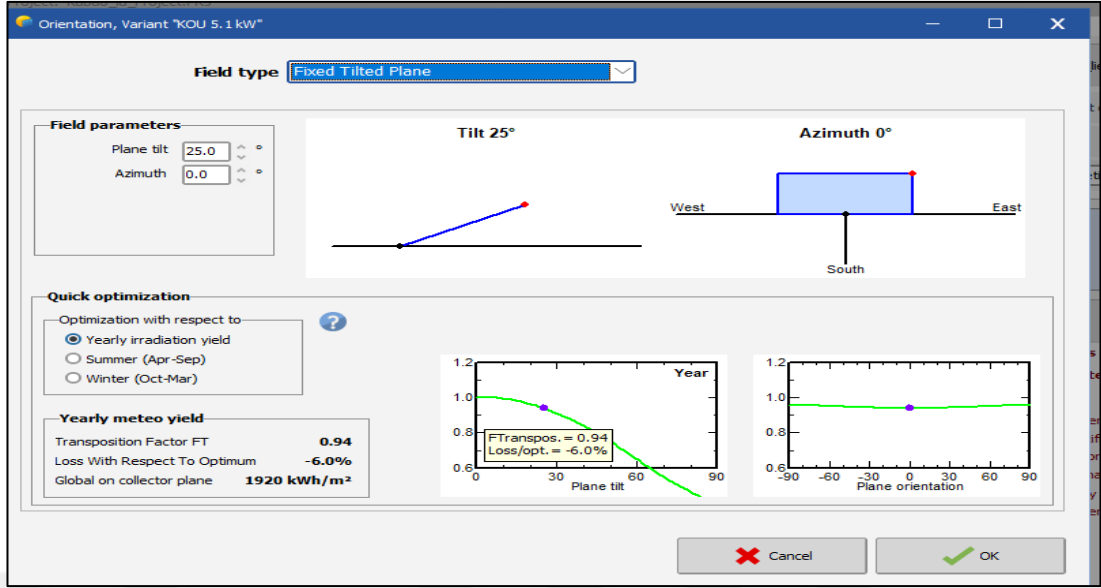


Şekil 4.6. Fotovoltaik sistem girdileri bölümü

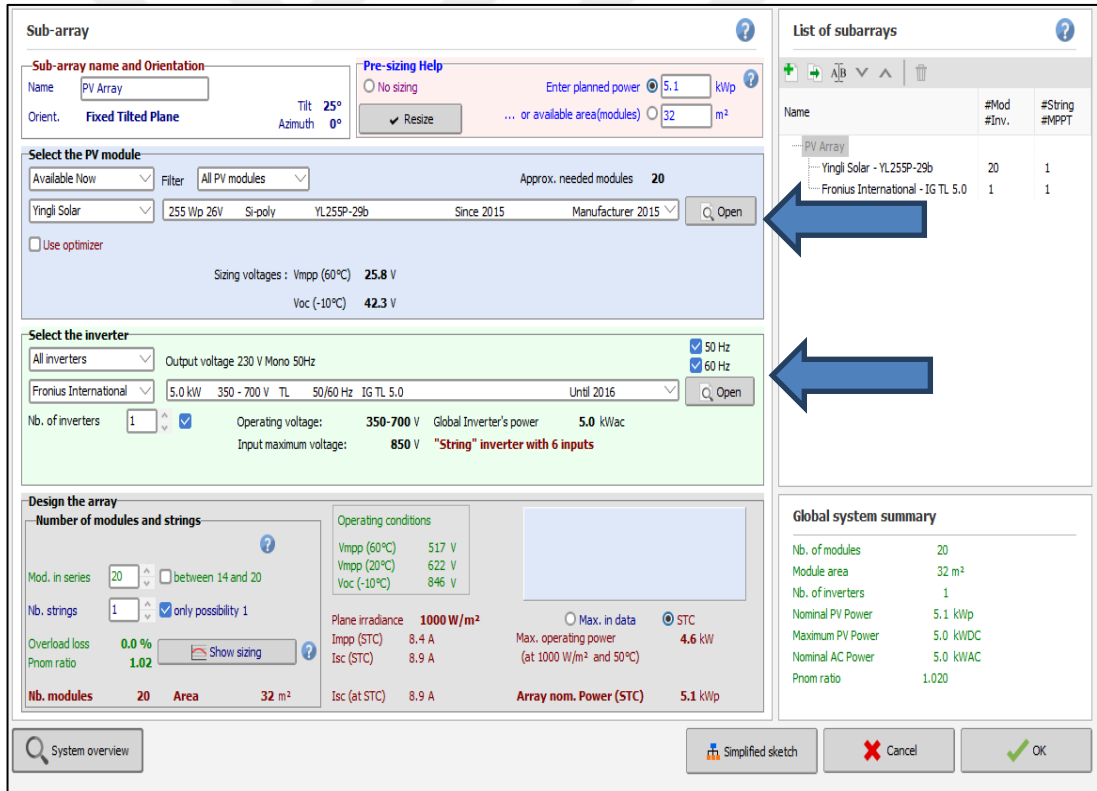
Projenin sahasını ve meteorolojik girdisi tanımlandıktan sonra, ilk varyant oluşturmaya devam edebilir. Başlangıçta kırmızı ile işaretlenmiş “Yönlendirme” ve “Sistem” olmak üzere iki panel olduğu fark edilmektedir. Kırmızı renk, projenin bu varyantının simülasyon için henüz hazır olmadığı, ek girdi gerekli olduğu anlamına gelmektedir. Herhangi bir varyant için tanımlanması gereken ve henüz belirlenmemiş olan temel parametreler; güneş panellerinin yönü, FV modüllerinin tipi ve sayısı ve kullanılacak eviricilerin türü ve sayısı [28].

İlk önce “Oryantasyon” seçeneğine tıklanır. Güneş enerjisi kurulumu için alan türü, eğim ve azimut açıları değerlerinin girilmesi gereken oryantasyon sayfası açılacaktır.

Veri tabanından bir FV modülü seçilir. “Tüm modüller” arasından üretici olarak “Yingli” seçilir ve 5.1 kW modeli tanımlanır.



Şekil 4.7. Tüm yıl boyu maksimum verimlilik için optimum parametreler

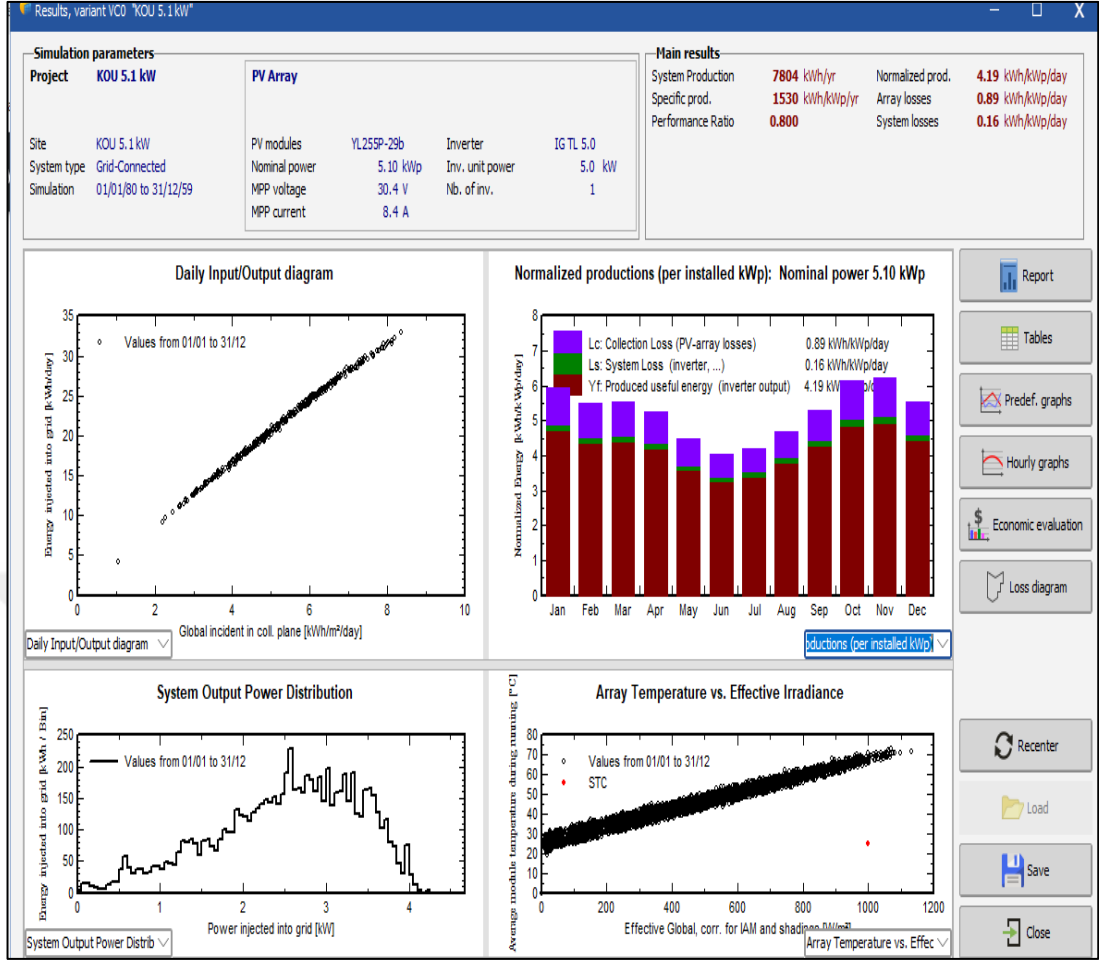


Şekil 4.8. FV modül ve evirici seçimlerinin, dizi tasarımının yapıldığı “sistem”

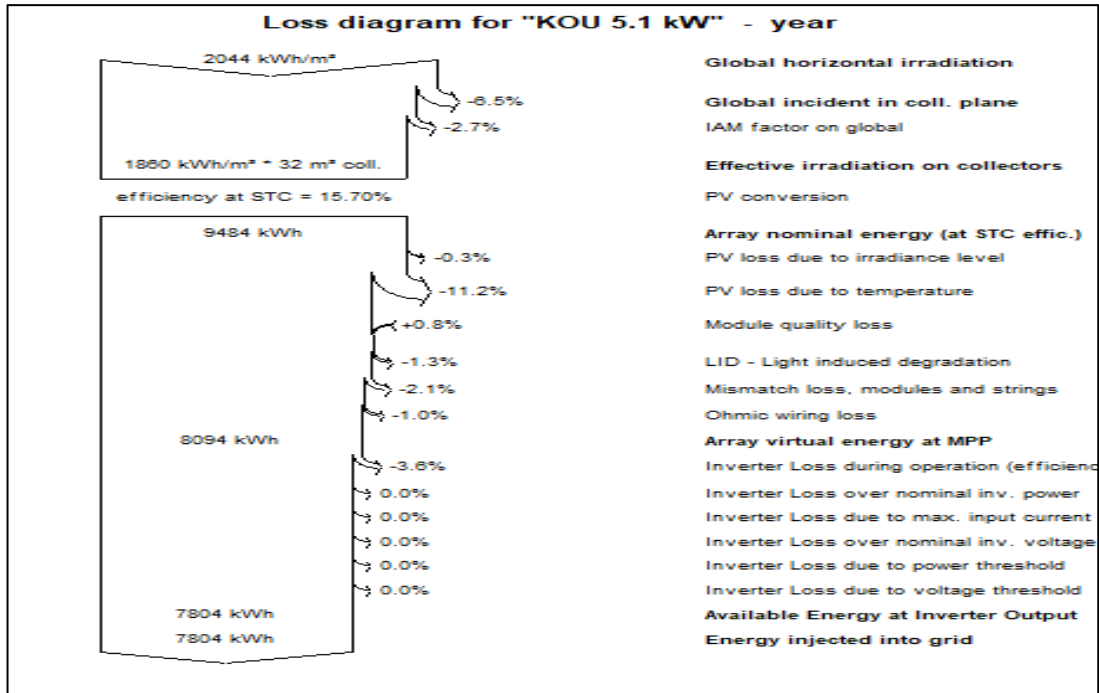
İnverter seçiminde Şekil 4.8’de görüldüğü gibi International Fronius firmasına ait Symo 4,5-3-S modeli kullanılmaktadır.

Bu şekilde ilk simülasyon için gerekli olan tüm zorunlu unsurlar tanımlanmış bulunmaktadır. Seçimleri doğrulamak için “Tamam” a tıklanır.





Şekil 4.9. Simülasyon sonuçlarını gösteren ekran



Şekil 4.10. Tüm yıl boyunca kayıp diyagramı

## 4.2.2. PVSOL

Valentin Software tarafından 1998 yılında piyasaya sürülen PvSOL simülasyon programı, fotovoltaik sistemlerde tasarıma ihtiyaç duyan mühendis, tasarımcı, yatırımcı ve tesisatçı gibi birçok kişiye profesyonel tasarım imkanı sunmuştur.

Teşviklerin azalmasıyla bağlantılı olarak müşterileri fotovoltaik sistemin öz tüketim ile birlikte amortismanı pozitif etkileyen bir verimle çalıştığına ikna etmek önemli bir unsur haline gelmiştir.

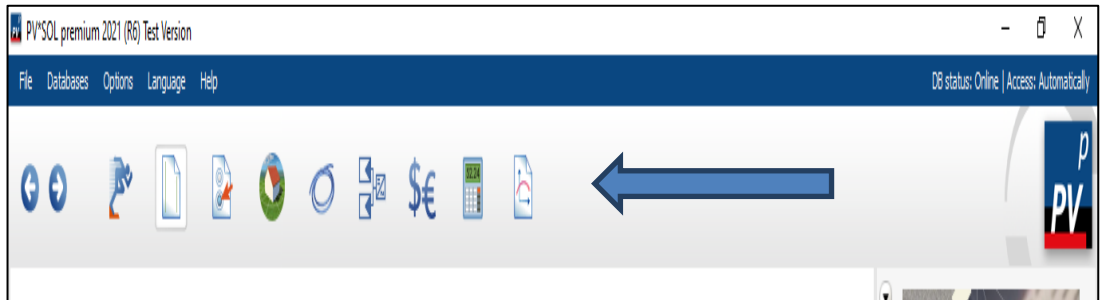
Dinamik bir yazılım olan PVSOL sayesinde öz tüketim ve depolamanın da dahil edildiği doğruluk oranı daha yüksek olan hesaplamalar yapılabilmektedir.

İklim verilerini sağlayan MeteoSyn, Deutsche Wetterdienst adında bir Alman kurumu tarafından yönetilen iklim veritabanından sağlanmaktadır. Bu veritabanında 1981-2010 yılları arasında kapsayan zaman diliminde Almanya için 450; 1986 ile 2005 yılları arasında ise dünya genelinde meteonorm 7.0 bazı için sayısı 8000'den fazla iklim verisi bulunmaktadır. Harita üzerinden iklim verileri rahatlıkla seçilebilmektedir.

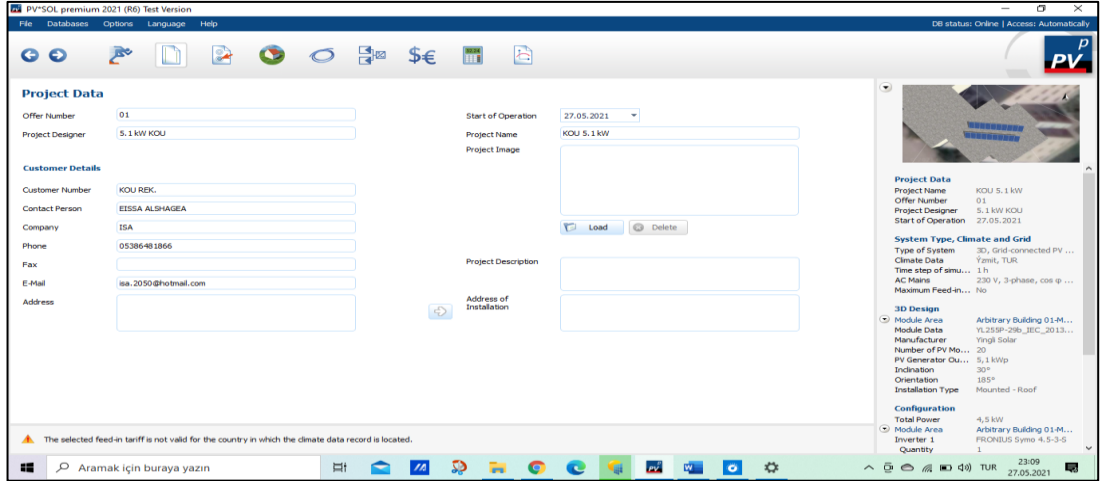
Aynı zamanda bu veritabanına kendi ölçümlerinize ait iklim verilerinizi kaydedebilir ya da interpolizasyon yöntemi ile yeni iklim verileri elde edebilirsiniz.

### 4.2.2.1. Giriş penceresi ve proje verileri penceresi

Programın bu penceresi başlangıç sayfası olup, programın kullanımı ile ilgili bilgi sağlayan eğitim videolarına burada bulunan linkler yoluyla ulaşılabilir. Ayrıca bu pencerede son açılan projeleri görme, yeni proje oluşturma, örnek proje açma, eski projeleri açma gibi işlemler yapılabilmektedir. Projeye ait bilgiler bu ekrana aktarılır.



Şekil 4.11. Pencere simgelerinin bulunduğu ana menü

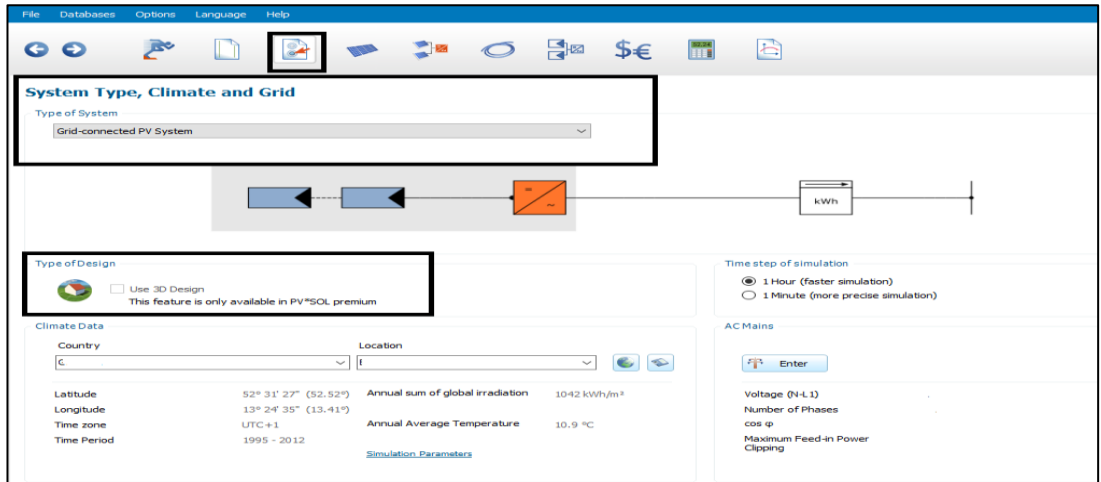


Şekil 4.12. PVSOL simülasyon yazılımı kullanıcı arayüzü

#### 4.2.2.2. Sistem tipi, iklim ve şebeke penceresi

Programın bu penceresinde, sistemin türü, FV sistemin kurulacağı konumun iklim verileri ve bu bölgeye ait şebeke özellikleri tanımlanmaktadır. Tip olarak 8'e yakın sistem türü bulunmaktadır. Bu sistemlerden en sık kullanılanlar; şebeke bağlantılı ve şebekeden bağımsız üç boyutlu sistemler, şebekeye elektrik cihazları ile bağlanmış olan üç boyutlu sistemler olarak sıralanabilir.

Type of design bölümünde, sistemin 3B olarak tasarlanıp tasarlanmayacağına karar verilmektedir. Climate data sekmesinden, projenin konumu (ülke ve şehir olarak) seçilir. Bu konuma ait iklim verileri MeteoSyn veritabanından sağlanmaktadır. Şebeke gerilimi, AC şebekesinin monofaze veya trifaze olması durumu ve güç faktörü gibi veriler AC Mains penceresinde belirlenir.

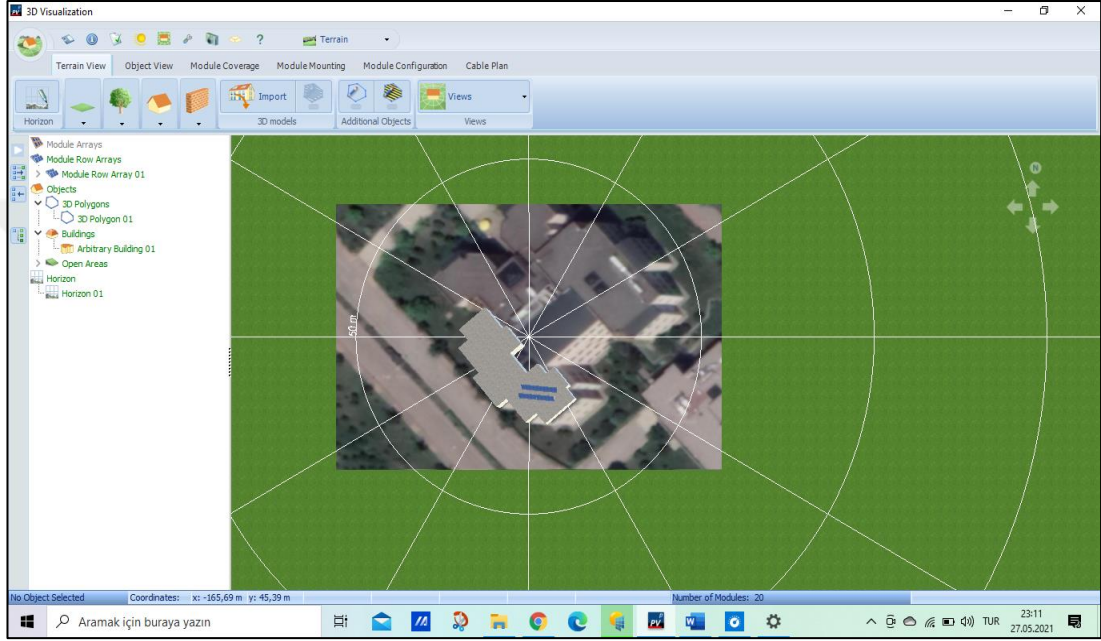


Şekil 4.13. Şebekeye bağlı 3B güneş enerji sistemi

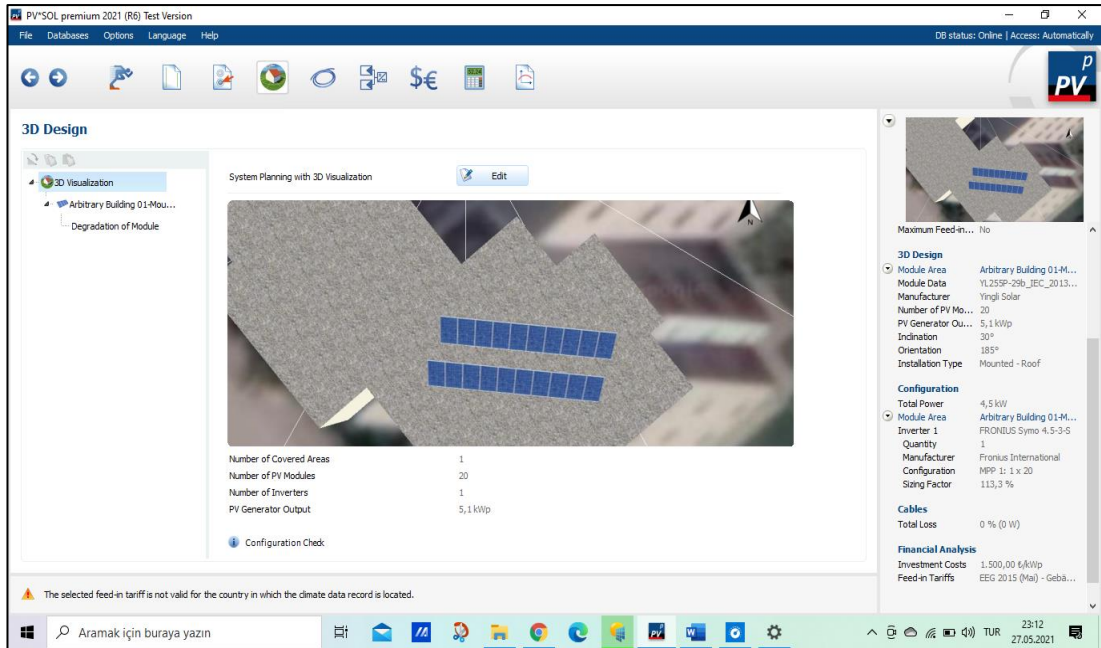
### 4.2.2.3. 3B tasarım ve kablo penceresi

FV sisteminin modellenmesi bu pencerede yapılmaktadır. Edit sekmesi seçilerek uydu görüntüleri ile bütünleşik çalışan 3B Visualization programına erişim sağlanmaktadır.

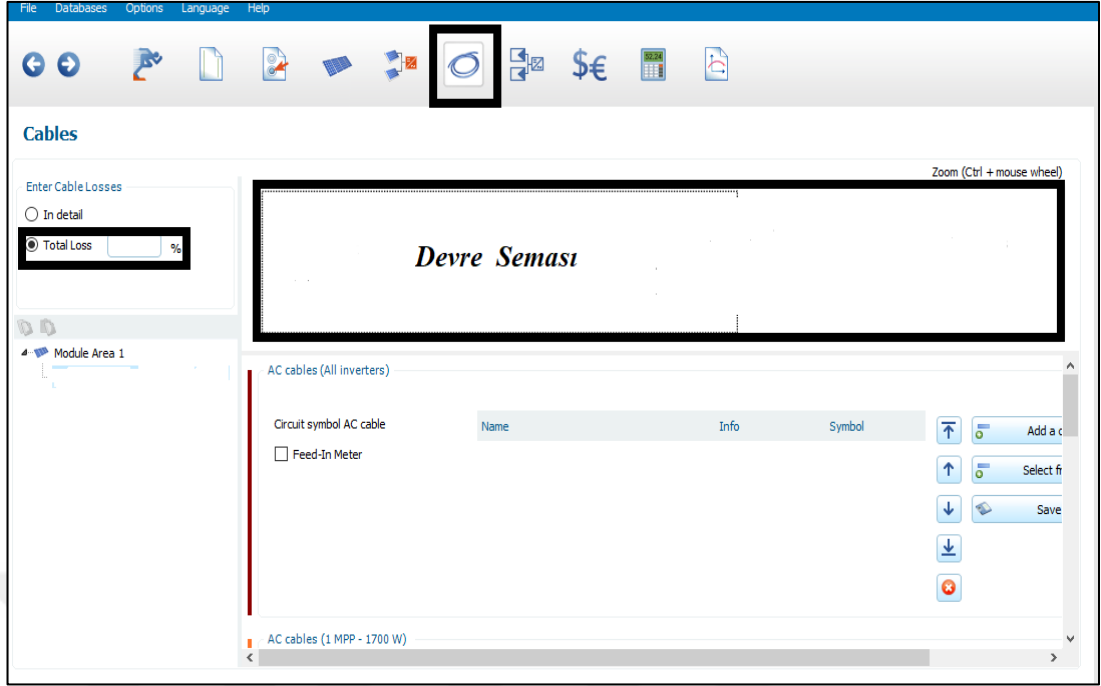
Programın Cables penceresinde kablo kayıplarının hesabı yapılmaktadır.



Şekil 4.14. 3B model ekranı



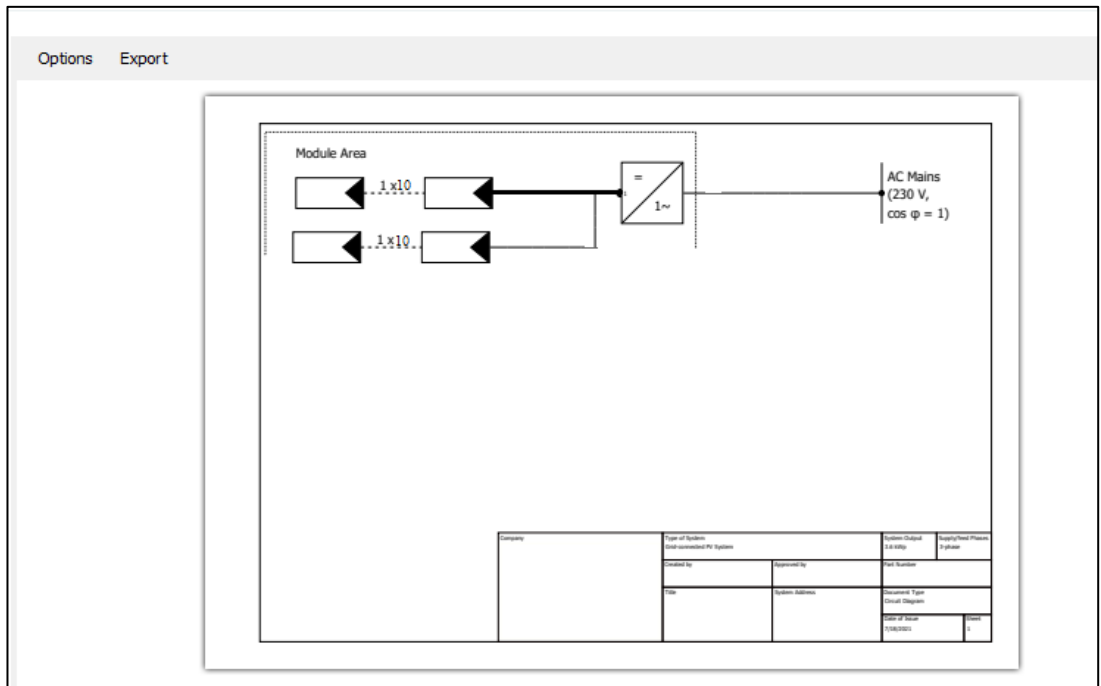
Şekil 4.15. KOÜ 5,1 kW 3B panel yerleştirilme şeması



Şekil 4.16. Kablolar penceresi

#### 4.2.2.4. Devre şeması ve finansal analiz penceresi

Programın bu biriminde FV model düzeneğinin panel konumlanması ve sistemin devre diyagramına dair bilgiler bulunur ve istenildiği takdirde bu bilgiler çeşitli formatlarda program dışına aktarılabilir.



Şekil 4.17. KOÜ 5,1 kW devre şeması

Ayrıca sistemin ekonomik analizinde gerekli olacak olan tüm maliyet verileri de dahil olmak üzere sistemin çalışma süresi, girilen rakamsal değerlerin brüt mü net mi olduğu bilgisi, proje ömrü ve faiz oranı gibi birçok faktör bu bölümde tanımlanmaktadır. Program, para birimini proje için seçilen konuma göre otomatik olarak belirlemektedir. Feed-in Tariff sekmesinden, santralin kurulu olduğu ülke, montaj tipi ve geçerlilik tarihi belirlenerek enerji satışına yönelik planlamalar da yapılabilmektedir.

File Databases Options Language Help

Financial Analysis

Economic Parameters

Financial Analysis Parameters

Assessment Period: 20 Years, Interest on Capital: 1%, Investment Costs: 5400 \$

Energy Balance/Feed-in Concept

Price of Electricity sold to Third Party

[Bankability: Exceedance probability of the forecast yield \(P50/P90\)](#)

Feed-in Tariff

Applied Feed-in Tariffs  Validity of the Feed-in Tariff = Start of Operation

Info	Tariff Name	Valid from	Valid to	<input type="button" value="Add"/>
	EEG 2015 (Ma) - Gebäudeanlage	07/17/2021	12/31/2041	

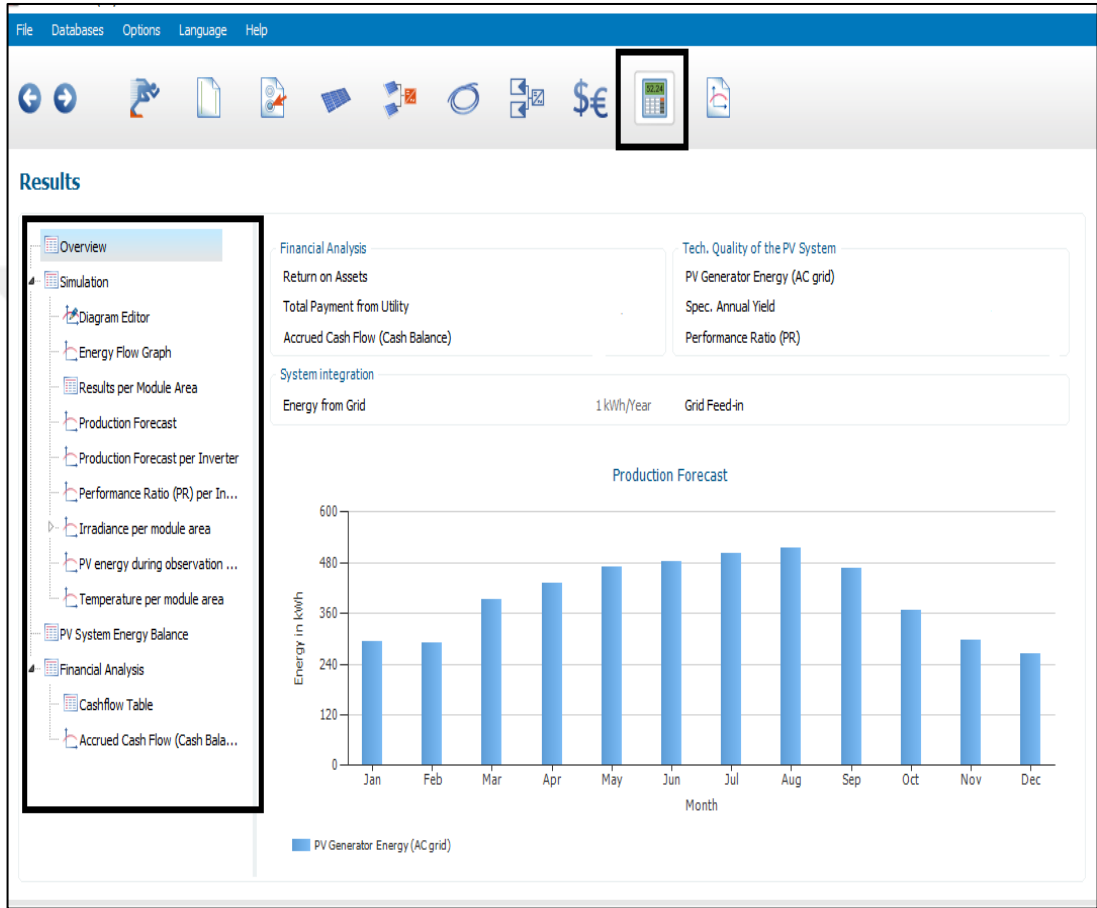
Inflation Rate for Feed-in / Export Tariff

Şekil 4.18. Finansal analiz penceresi

#### 4.2.2.5. Sonuçlar ve sunum penceresi

Son aşama olarak Results butonuna tıklandığında, analiz başlatılır ve sistem çalıştırılmış olur. Bu pencere sayesinde sistemin; yıllık enerji üretimi, performansı, yıl bazında verim miktarı, enerji grafiklerinin aylık olarak düzenlenmiş hali, emisyon miktarı, her bir inverter için enerji üretim grafikleri, performansın aylara dağılım grafikleri ve yüzeye düşen radyasyon miktarı gibi bilgilerine ulaşılabilmektedir.

Presentation penceresi ise projenin özet bir sunumunu görüntülemektedir. Bu bölümde proje adı, adres detayları, şirkete ait logo, müşteri verileri ile birlikte projenin bir resmi ve açıklaması bulunmaktadır. Tüm bu ulaşılan bilgi ve sonuçlar program içerisinde görüntülenebildiği gibi çeşitli formatlarda (Word, Excel, Adobe Acrobat .pdf vb.) dışarı aktarılabilir.



Şekil 4.19. Sonuç penceresi

#### 4.2.3. Global solar atlas

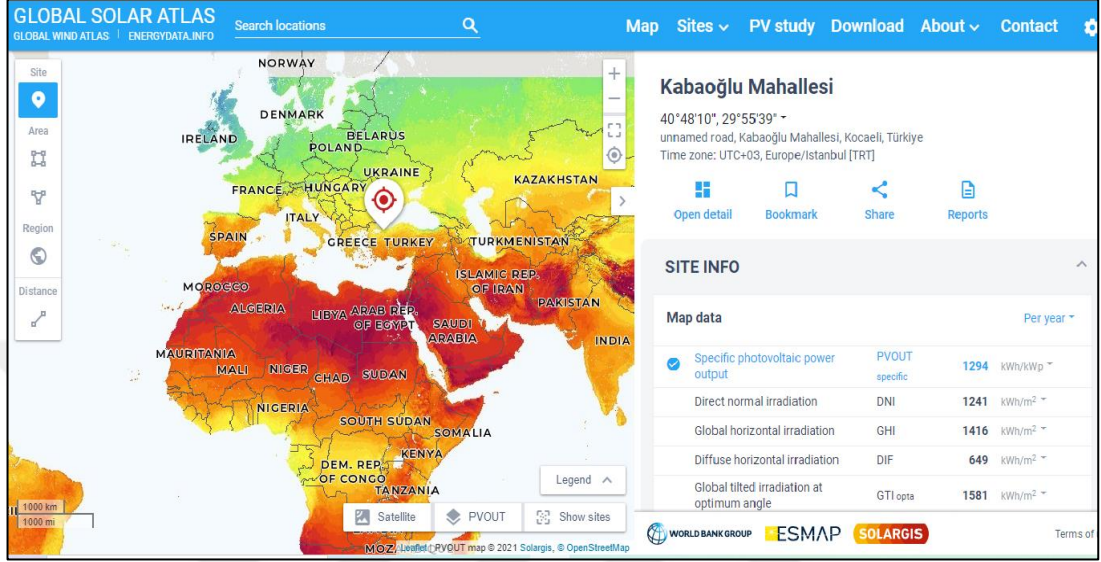
Geçerliliği uluslararası alanda kanıtlanmış olan global solar atlası modeli sayesinde güneş kaynak bilgileri ve güneş kaynak alanları rahatlıkla tespit edilebilmektedir. Geçmişte güneş kaynak alanını tespit etmek için ekonomi ve zaman kayıplarına sebep olan geniş çalışmalar yapılmaktaydı ve bu model sayesinde bu kayıplar minimum düzeye indirgenmiştir.

Global Solar Atlas, size bir site veya bölge için güneş enerjisi potansiyeline genel bir bakış sağlayacak çevrimiçi bir araçtır [29].



#### 4.2.3.1. Etkileşimli haritalar

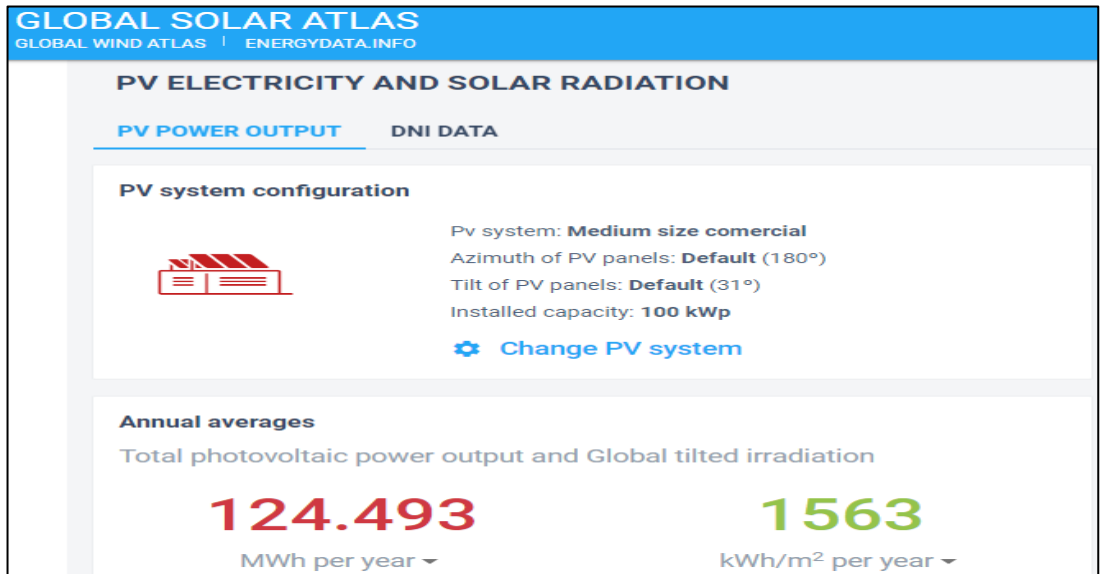
Etkileşimli haritalar, bir bölge için güneş kaynağı potansiyelinin görselleştirilmesine izin verir ve her harita tıklaması için yıllık ortalama değerler sağlar.



Şekil 4.20. Orta doğu güneş potansiyelini

#### 4.2.3.2. FV enerji verimi hesaplayıcısı

FV verim hesaplayıcısı, özel tanımlı bir FV sistemi için uzun vadeli enerji veriminin hesaplanmasına olanak tanır. Enerji verim tahminleri, FV üretiminin mevsimsel ve gün içi değişkenliğini anlamayı sağlayan 12x24 (ay x saat) profilleri olarak sağlanır.

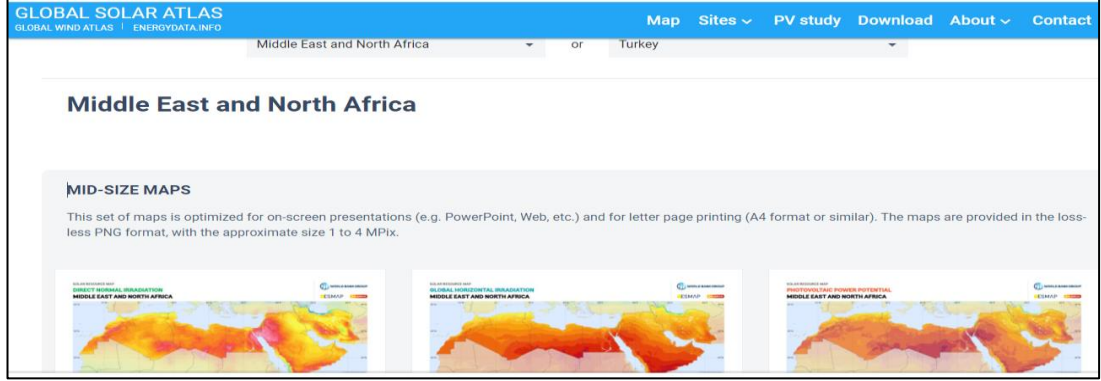


Şekil 4.21. FV enerji verimi hesaplayıcı ekranı



### 4.2.3.3. İndirilebilir haritalar

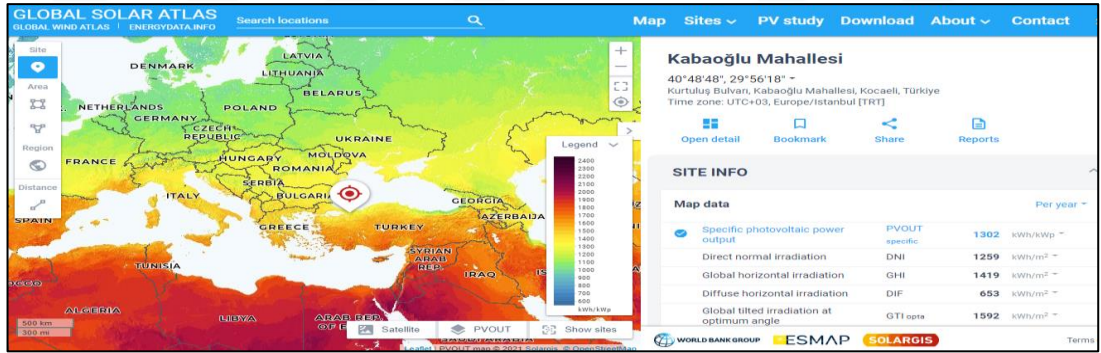
İndirme bölümü, sunum amacıyla poster haritalarının indirilmesine izin verir



Şekil 4.22. İndirilebilir haritaların ekranı

### 4.2.3.4. Ülke ve bölgesel güneş potansiyeli istatistikleri

Politika yapımcıların ve araştırmacıların ilgili ülkeler ve bölgeler için güneş enerjisinin teorik ve pratik potansiyelini anlamalarına yardımcı olmak için güneş enerjisi potansiyelinin ülke düzeyinde anlık görüntüleri hazırlanmıştır.



Şekil 4.23. Potansiyel güneş istatistikleri ekranı

Global Solar Atlas'ın amacı, politika yapımcıların, araştırmacıların ve ticari güneş enerjisi şirketlerinin daha iyi kararlar almasına yardımcı olmak için giriş düzeyinde güvenilir veriler sağlamaktır. Büyük enerji santrallerinin projeye özel analizi için, Global Solar Atlas aracılığıyla elde edilen veriler yalnızca ön analiz için uygundur. FV verim tahminleri, bir fotovoltaik enerji santralının potansiyel verimini etkileyebilecek birçok önemli faktörü hesaba katmaz. Büyük enerji santralleri için, kesin bir enerji verimi tahmini elde etmek için daha detaylı verim tahmin araçlarıyla çalışılması tavsiye edilir.

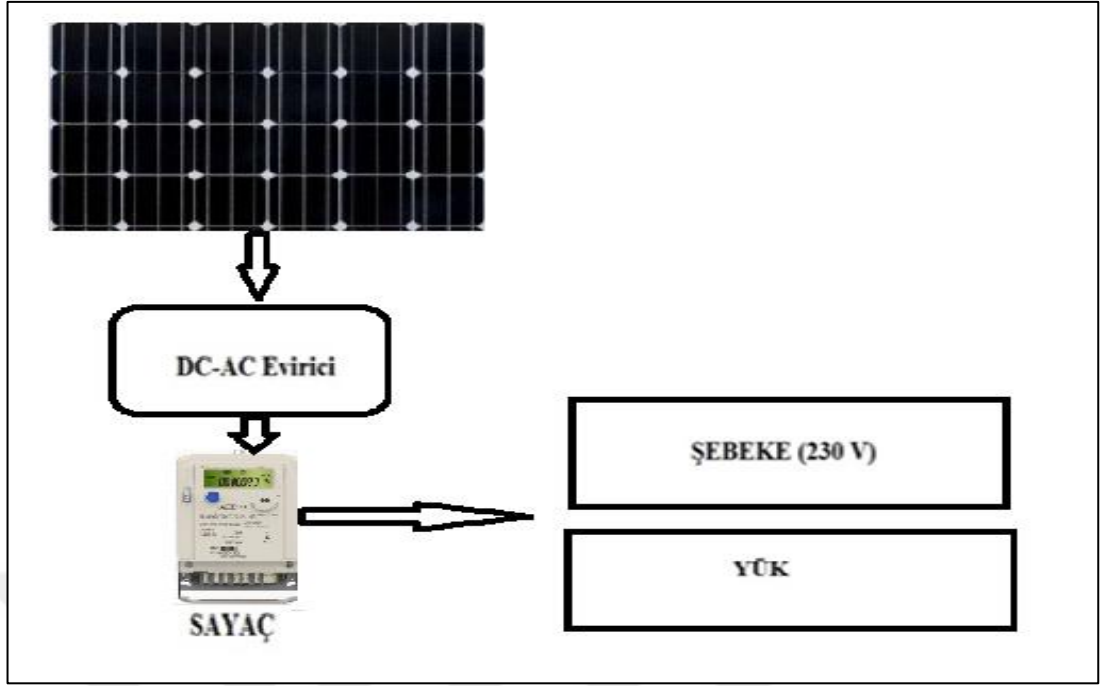
### 4.3. Polikristal Fotovoltaik Modüllerin Teknik Bilgileri

Kullanılan FV (Fotovoltaik) modüllerin teknik bilgileri Tablo 4.1’de verilmektedir. Kurulan sistem Kocaeli Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği binasının çatısında 5,1 kWp kurulu güce sahip polikristal güneş panelleri ile beslenen güneş enerjisi elektrik üretim sistemi olarak belirlenmiş olup bu sistem istenen deneyler için elverişli bir sistemdir. Kullanılan FV (Fotovoltaik) panellerin teknik bilgileri Tablo 4.1’de verilmektedir.

Tablo 4.1. FV panellerin teknik bilgileri

Marka / Tip	Yingli / YL255P-29b
FV Modül Hücre Sayısı	60
Hücre Tipi ve Boyutları	Poly - 156x156 mm
Pmax	255 Wp
Modül Verimi	15,6 %
Güç Toleransı	2 %
Vmpp	30,6 V
Imp	8,32 A
Voc	38,7 V
Isc	8,88 A
Maksimum Sistem Gerilimi	387 V
Gerilim Katsayısı	-0,33 %/°C
Akım Katsayısı	0,06 %/°C
Güç Katsayısı	-0,45 %/°C

Şekil 4.24’de görülen Kocaeli Üniversitesi Teknoloji Fakültesi binası çatısına kurulan FV güç sistemi her biri birbirine seri bağlı 10 adet güneş paneli içeren 2 diziden oluşmaktadır. Sistemde evirici olarak Fronius International firmasına ait Symo 4,5-3-S modeli evirici olarak kullanılmıştır.



Şekil 4.24. Fotovoltaik sistemin bağlantı şeması

#### 4.4. Performans Analizi

Kocaeli Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği binası çatısında kurulu olan şebeke bağlantılı 5,1 kWp kurulu güce sahip sistemin performans analizini yapmak için PVSOL programında yapılan performans analizinin verilerine göre performansın en yüksek olduğu ayın şekil 4.26'da görüldüğü üzere Haziran ayı olduğu saptanmıştır



Şekil 4.25. Teknoloji fakültesi binasının çatısında 5,1 kWp'lik polikristal güneş modülleri

Şebeke bağlantılı FV sistemin 2018 Ocak-Aralık ve 2019 Ocak-Aralık ayları arasında 12 aylık gerçek, GSA, PVSOL ve PVsyst'den alınan izleme verileri aşağıdaki Tablo 4.2'de verilmektedir.

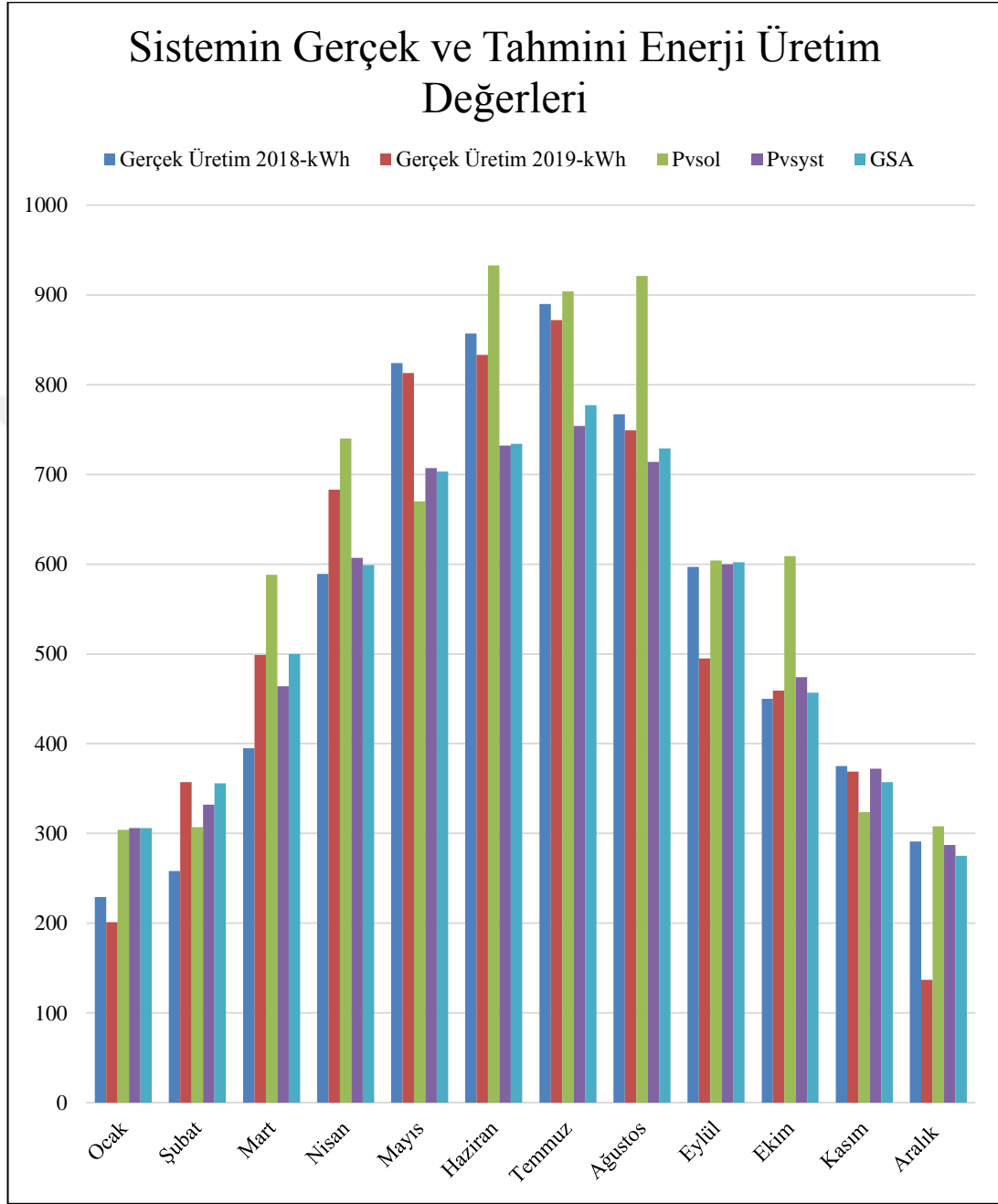
Tablo 4.2. 5,1 kWp güce sahip şebeke bağlantılı FV sistemin gerçek ve tahmini enerji üretim değerleri

<b>FV sisteminin Gerçek, PVSOL PVsyst ve GSA Elektrik Üretim Verileri</b>					
<b>Aylar</b>	<b>Gerçek Üretim</b>	<b>Gerçek Üretim</b>	<b>PVsyst</b>	<b>GSA</b>	<b>PVSOL</b>
	<b>(kWh)-2018</b>	<b>(kWh)-2019</b>	<b>(kWh)</b>	<b>kWh</b>	<b>kWh</b>
<b>Ocak</b>	229,8	201,3	304,0	306,48	306,91
<b>Şubat</b>	258,77	357,71	307,0	356,16	332
<b>Mart</b>	395,45	499,38	588,0	500,29	464,54
<b>Nisan</b>	589,79	683,2	740,0	599,53	607,09
<b>Mayıs</b>	824,74	813,7	670,0	703,83	707,83
<b>Haziran</b>	857,68	833,42	933,0	734,74	732,92
<b>Temmuz</b>	890,63	872,96	904,0	777,41	754,61
<b>Ağustos</b>	767,53	749,23	921,0	729,59	714,18
<b>Eylül</b>	597,26	495,83	604,0	602,29	600,72
<b>Ekim</b>	450,3	459,3	609,0	457,93	474,76
<b>Kasım</b>	375,77	369,07	324,0	357,7	372,76
<b>Aralık</b>	291,42	137,33	308,0	275,14	287,09
<b>TOPLAM</b>	<b>6529,14</b>	<b>6472,43</b>	<b>7213,0</b>	<b>6401,08</b>	<b>6355,41</b>

Sistemin enerji üretim değerlerini Tablo 4.2'de incelendiğinde 2018 yılı gerçek enerji üretiminin 6529,14 kWh / yıl, 2019 yılı enerji üretiminin ise 6571,51 kWh/yıl olarak gerçekleştiği görülmektedir.

En yüksek enerjinin üretildiği ayların Temmuz ayı, en düşük enerji üretiminin ise Ocak ayları olduğu görülmektedir. FV sistemimiz GSA (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası) verileri ile PVSOL ve PVsyst ile

simüle edilerek gerçek üretim ile tahmini elektrik üretimi karşılaştırılmıştır. Gerçek üretim ile tahmini üretimin aylık olarak karşılaştırılması Şekil 4.26’da verilmektedir.



Şekil 4.26. 5,1 kW güce sahip şebeke bağlantılı FV sistemin gerçek ve tahmini enerji üretim değerleri

Sistemin tahmini üretim performansı, 2018-2019 yılları arasında Pvsyst verilerine göre %87,5-%91, GSA performans yüzdesinin %96,6-%100 aralığında ve PVSOL verilerine göre ise %97,3-%98,1 olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Tablo 4.3. 2018 gerçek enerji üretim değerleri ile tahmini enerji üretim değerlerin farkı

Aylar	Gerçek Üretim 2018-kWh	PVSOL kWh	PVsyst kWh	GSA kWh	Gerçek ile PVSOL Farkı (%)	Gerçek ile PVsyst Farkı (%)	Gerçek ile GSA Fark (%)
<b>Ocak</b>	229	304	306	306	-32.75	-33.62	-33.62
<b>Şubat</b>	258	307	332	356	-18.99	-28.68	-37.98
<b>Mart</b>	395	588	464	500	-48.86	-17.47	-26.58
<b>Nisan</b>	589	740	607	599	-25.64	-3.06	-1.70
<b>Mayıs</b>	824	670	707	703	18.69	14.20	14.68
<b>Haziran</b>	857	933	732	734	-8.87	14.59	14.35
<b>Temmuz</b>	890	904	754	777	-1.57	15.28	12.70
<b>Ağustos</b>	767	921	714	729	-20.08	6.91	4.95
<b>Eylül</b>	597	604	600	602	-1.17	-0.50	-0.84
<b>Ekim</b>	450	609	474	457	-35.33	-5.33	-1.56
<b>Kasım</b>	375	324	372	357	13.60	0.80	4.80
<b>Aralık</b>	291	308	287	275	-5.84	1.37	5.50
<b>Toplam</b>	<b>6529,14</b>	<b>6355</b>	<b>7213</b>	<b>6401</b>	<b>2.7</b>	<b>10.5</b>	<b>2</b>

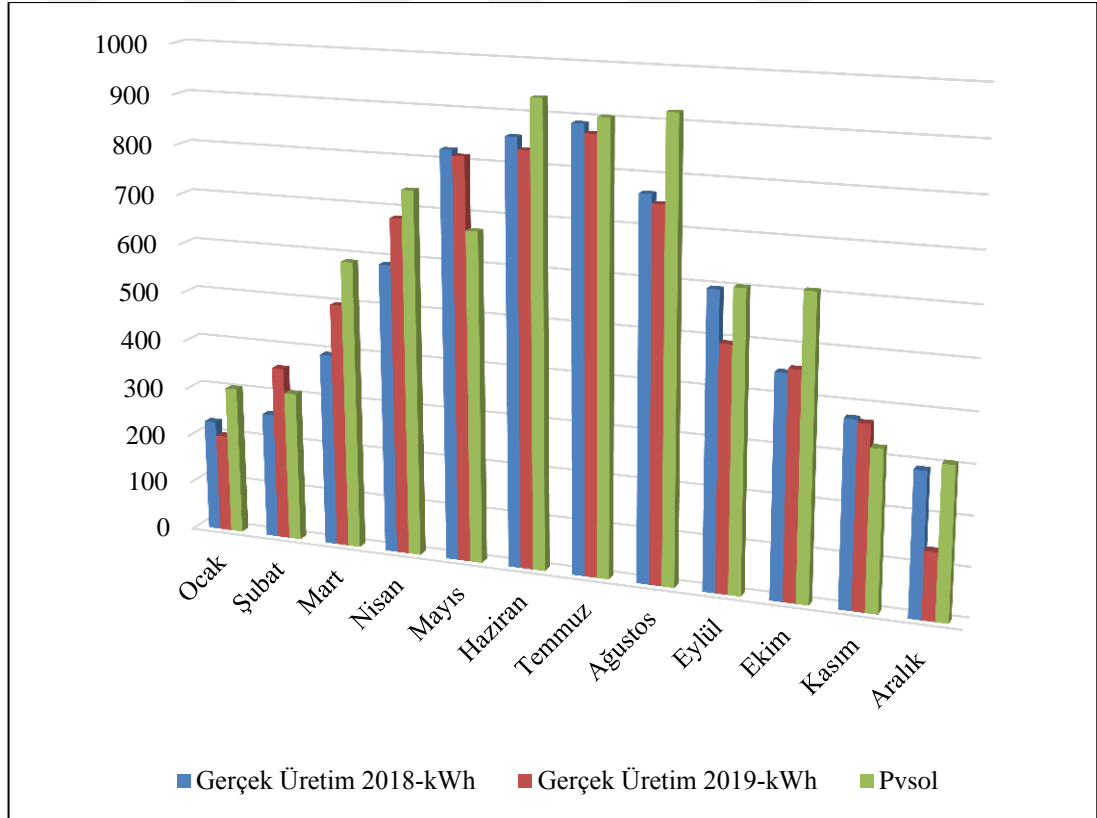
Tablo 4.4. 2019 gerçek enerji üretim değerleri ile tahmini enerji üretim değerlerin farkı

Aylar	Gerçek Üretim 2019-kWh	PVSOL kWh	PVsyst kWh	GSA kWh	Gerçek ile PVSOL Farkı (%)	Gerçek ile PVsyst Farkı (%)	Gerçek ile GSA Fark (%)
<b>Ocak</b>	201	304	306	306	-51.24	-52.24	-52.24
<b>Şubat</b>	357	307	332	356	14.01	7.00	0.28
<b>Mart</b>	499	588	464	500	-17.84	7.01	-0.20
<b>Nisan</b>	683	740	607	599	-8.35	11.13	12.30
<b>Mayıs</b>	813	670	707	703	17.59	13.04	13.53
<b>Haziran</b>	833	933	732	734	-12.00	12.12	11.88
<b>Temmuz</b>	872	904	754	777	-3.67	13.53	10.89
<b>Ağustos</b>	749	921	714	729	-22.96	4.67	2.67
<b>Eylül</b>	495	604	600	602	-22.02	-21.21	-21.62
<b>Ekim</b>	459	609	474	457	-32.68	-3.27	0.44
<b>Kasım</b>	369	324	372	357	12.20	-0.81	3.25
<b>Aralık</b>	137	308	287	275	-124.82	-109.49	-100.73
<b>Toplam</b>	<b>6472,43</b>	<b>6355</b>	<b>7213</b>	<b>6401</b>	<b>1.8</b>	<b>11.5</b>	<b>1.1</b>

Tablo 4.4’de 2019 Ocak ayında gerçek ve simülasyon verileri oldukça farklı yaklaşık olarak %50 bunun sebebi ocak ayında yağın kar nedeniyle panellerin üstünün örtülmesi gösterilebilir.

#### 4.4.1. PVSOL verilerine göre performans analizi

Kocaeli Üniversitesi Teknoloji Fakültesi binası çatısında kurulu olan şebeke bağlantılı 5,1 kWp kurulu güce sahip sistemin performans analizini yapmak için PVSOL programında yapılan performans analizinin verilerine göre performansın en yüksek olduğu ayın Şekil 4.27’de de görüldüğü üzere haziran ayı olduğu saptanmıştır. PVSOL verilerine istinaden 15 Haziran tarihinde saat 11’den başlayarak saatlik dilimde elde edilen sonuçlar Şekil 4.28’de gösterilmektedir.



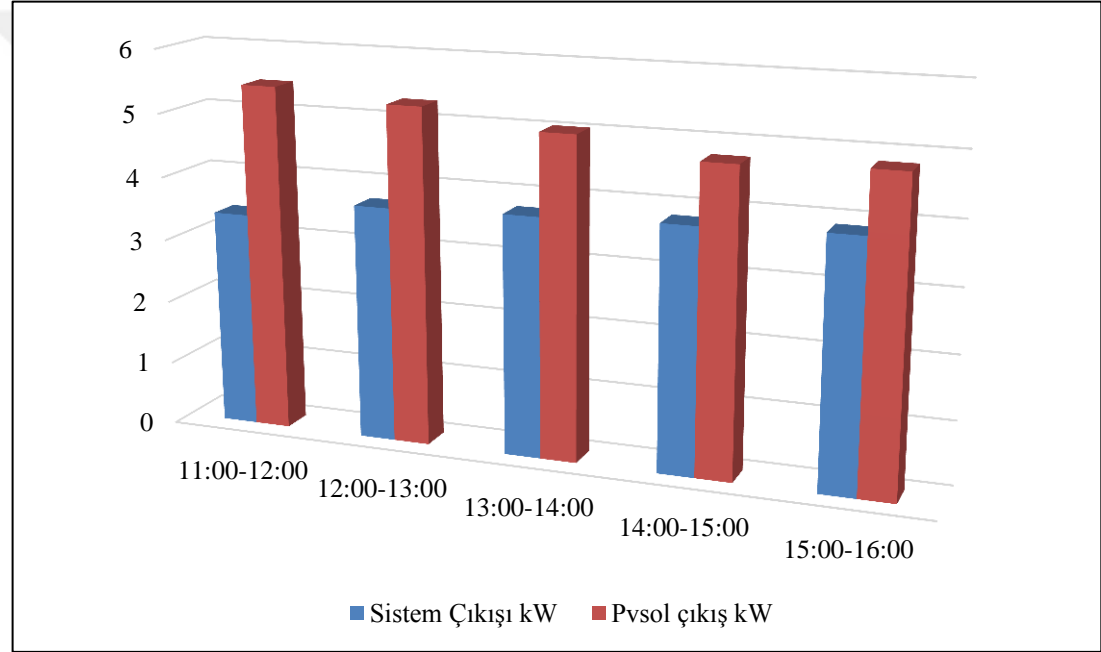
Şekil 4.27. Bağlantılı FV PVSOL ve sistemin gerçek ve tahmini enerji üretim değerleri

PVSOL verilerine göre sistemin 2018 ve 2019 yıllarına ait gerçek enerji üretimine ilişkin, Şekil 4.27’deki tablo incelendiğinde kış aylarında gerçek ve tahmini değerler yaz aylarına göre hava durumunun güneşlenme süresi ve radyasyon oranı üzerindeki negatif etkisi sebebiyle daha düşüktür.

Aynı zamanda yaz aylarında gerçek enerji miktarının PVSOL verilerine göre daha düşük olması ise hem panel yaşlanmasından hem de programdaki meteoroloji verilerinin eski olmasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 4.5. PVSOL değerleri ile sistemde anlık üretilen güç

Saat	PVSOL çıkış kW	Sistem Çıkışı kW	Sıcaklık °C	Anlık Performans
11:00	5,45	3,4	28	62,5%
12:00	5,29	3,7	30	69,9%
13:00	5,03	3,76	31	74,8%
14:00	4,76	3,82	32	80,25%



Şekil 4.28. 15 haziran 2019 saat 11:00 ile 15:00 arası performansı gösterir grafik

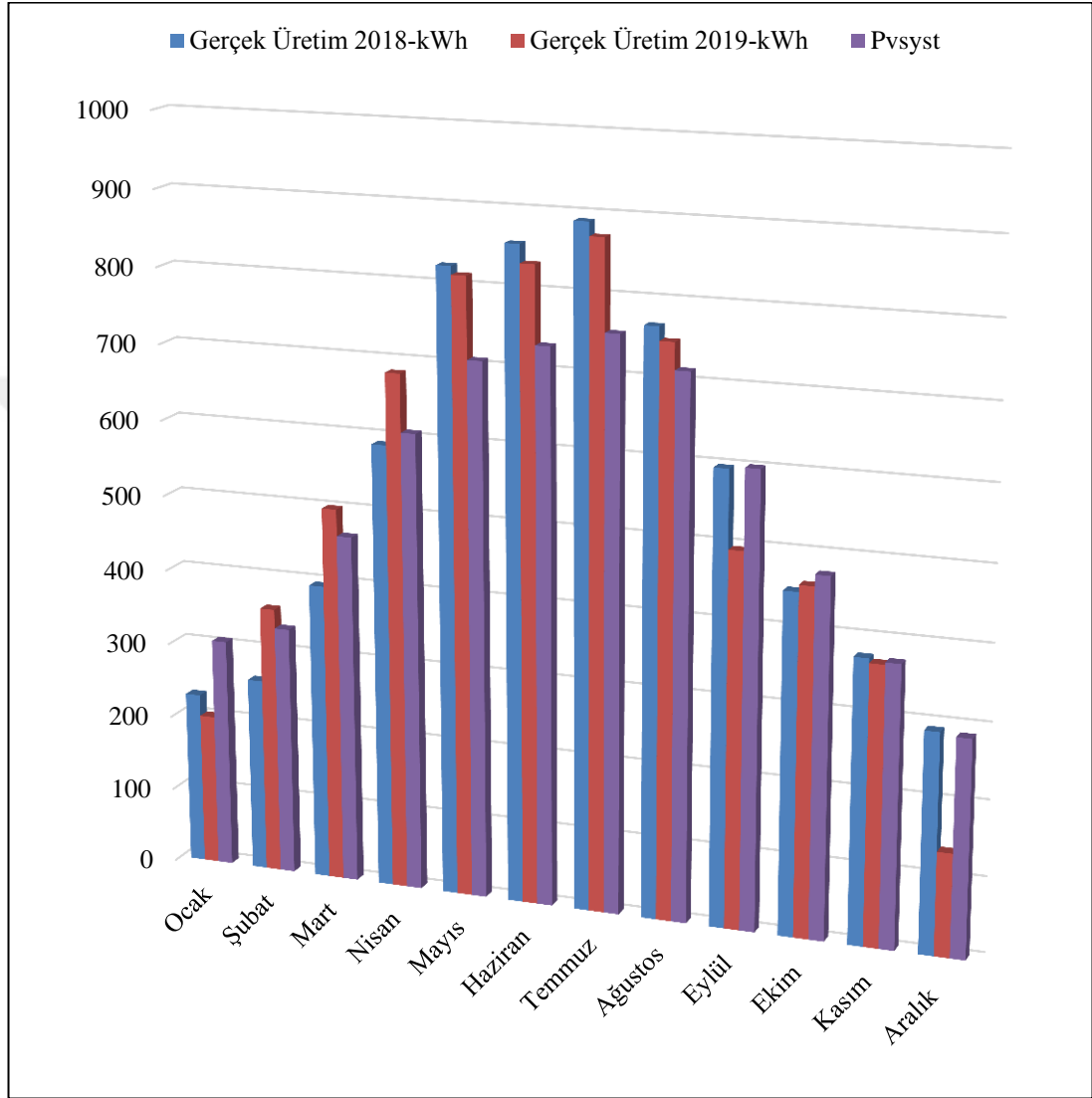
Şekil 4.28'de 15 haziran 2019 11:00 ile 15:00 saatleri arası performansı gösteren grafiği incelendiğinde saat 11:00'den saat 15:00'a doğru enerji üretiminin hava sıcaklığının, güneşlenme süresi ve radyasyon oranının yükselmesine bağlı olarak arttığı gözlenmektedir.

#### 4.4.2. PVsyst verilerine göre performans analizi

Kocaeli Üniversitesi Teknoloji Fakültesi binası çatısında kurulu olan şebeke bağlantılı 5,1 kWp kurulu güce sahip sistemin performans analizini yapmak için PVsyst programında yapılan performans analizinin verilerine göre performansın en



yüksek olduğu ayın Şekil 4.29'de de görüldüğü üzere haziran ayı olduğu saptanmıştır. PVsyst verilerine istinaden 20 temmuz tarihinde saat 11'den başlayarak saatlik dilimde elde edilen sonuçlar Şekil 4.30'de gösterilmektedir.



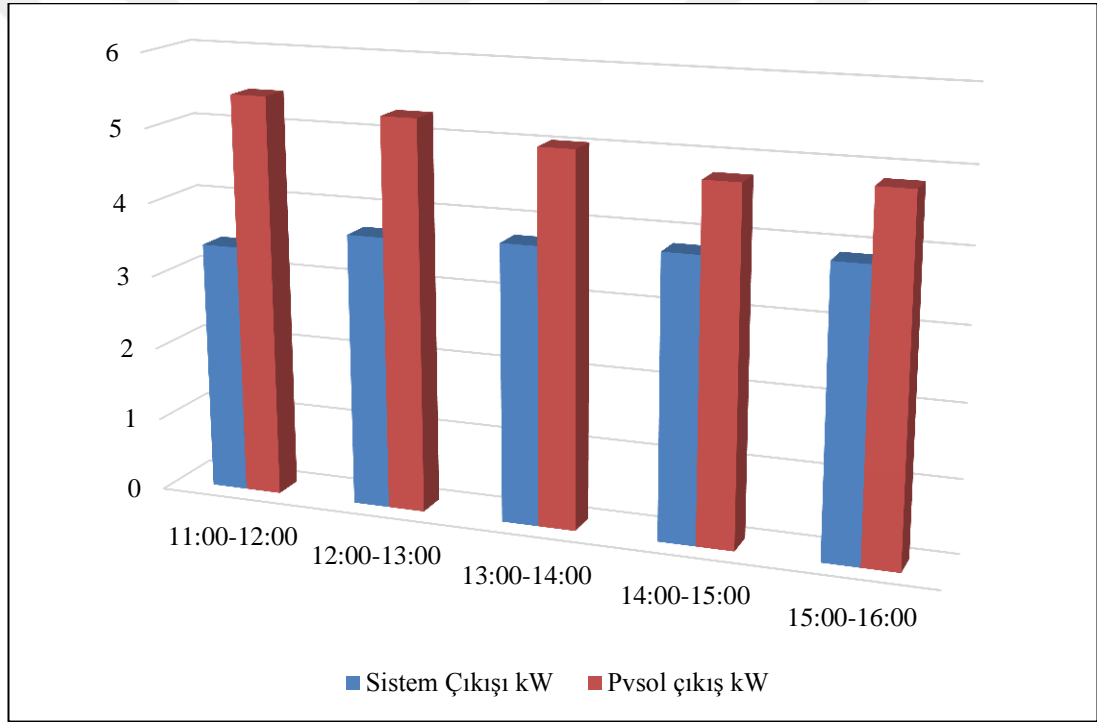
Şekil 4.29. Bağlantılı FV PVsyst ve sistemin gerçek ve tahmini enerji üretim değerleri

PVsyst verileri dikkate alındığında 2018 ve 2019 yıllarında sistemin ürettiği gerçek enerji üretimini gösteren Şekil 4.29 incelendiğinde kış aylarında gerçek ve tahmini değerler yaz aylarına göre hava sıcaklığı, güneşlenme süresi ve radyasyon oranındaki düşüşten kaynaklı olarak daha düşüktür. Bununla beraber kış aylarındaki PVsyst verileri gerçek üretim değerlerine göre programdaki meteoroloji verilerinin eski olmasından dolayı yüksektir. Ancak yaz aylarında üretilen gerçek enerji değerinin PVsyst programından elde edilen enerji değerine göre düşük olduğu görülmektedir.

Tablo 4.6. PVsyst değerleri ile sistemde anlık üretilen güç

Saat	PVsyst çıkış kW	Sistem Çıkışı kW	Sıcaklık °C	Anlık Performans
11:00	3,35	3,61	29	92,4%
12:00	3,88	4,1	32	94,3%
13:00	4,20	4,40	34	95,4%
14:00	4,46	4,62	36	96,25%

Şekil 4.30 20 Temmuz 2019 saat 11:00 ile 15:00 arası performansı gösteren grafiği incelendiğinde; saat 11:00'den saat 15:00'a doğru enerji üretimi hava sıcaklığı, güneşlenme süresi ve radyasyon oranının yükselmesiyle beraber artmaktadır.

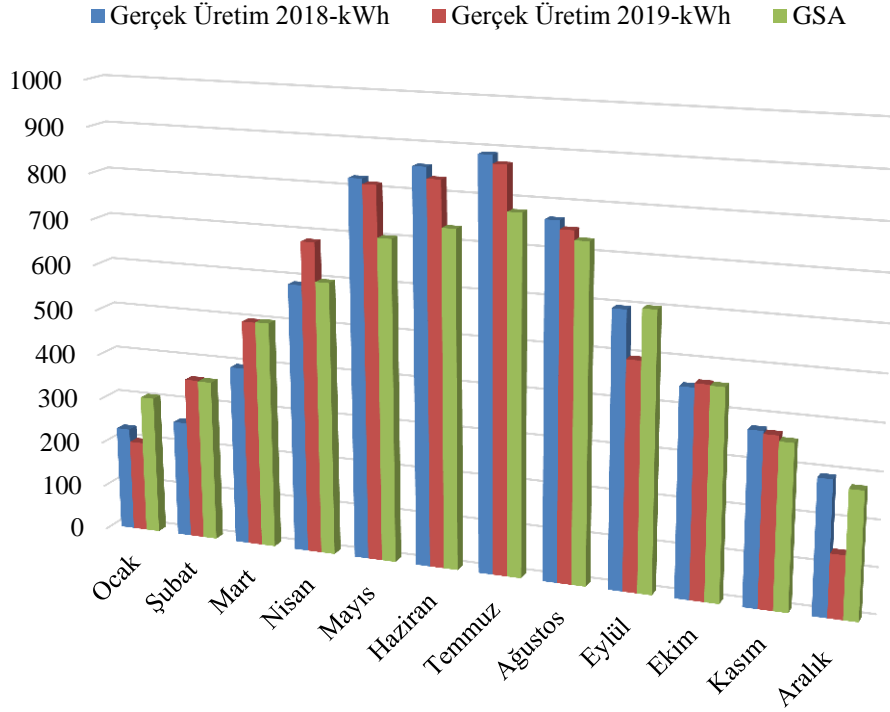


Şekil 4.30. 20 Temmuz 2019 saat 11:00 ile 15:00 arası performansı gösterir grafik

#### 4.4.3. GSA verilerine göre performans analizi

Kocaeli Üniversitesi Teknoloji Fakültesi binası çatısında kurulu olan şebeke bağlantılı 5,1 kWp kurulu güce sahip sistemin performans analizini yapmak için GSA sitesinde yapılan performans analizinin verilerine göre performansın en yüksek olduğu ayın Şekil 4.31'de de görüldüğü üzere haziran ayı olduğu saptanmıştır. GSA verilerine istinaden 18 Temmuz tarihinde saat 11'den başlayarak saatlik dilimde elde edilen sonuçlar Şekil 4.32'de gösterilmektedir.

## Sistemin Gerçek ve Tahmini Enerji Üretim Değerleri

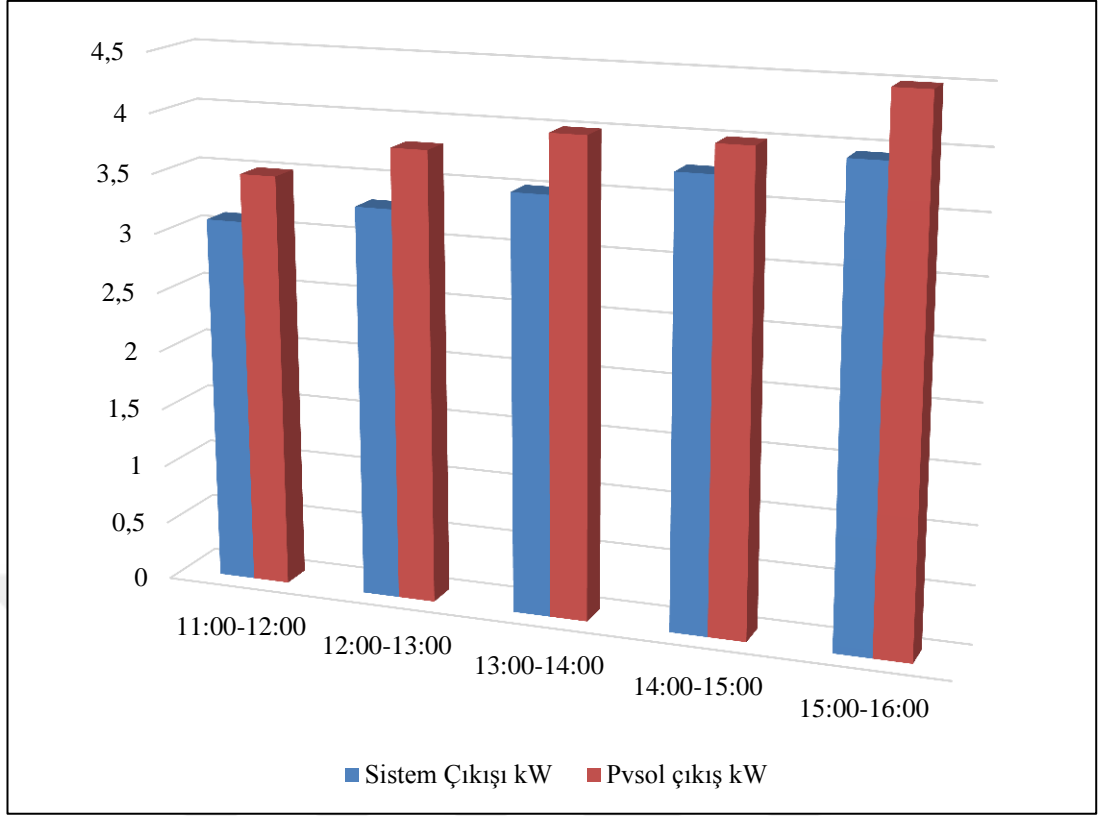


Şekil 4.31. Bağlantılı FV GSA ve sistemin gerçek ve tahmini enerji üretim değerleri

GSA verilerine göre 2018 ve 2019 yıllarında sistemin gerçek enerji üretimi, Şekil 4.31'deki tablo incelendiğinde; kış aylarında gerçek ve tahmini değerler yaz aylarına göre hava sıcaklığı, güneşlenme süresi ve radyasyon oranının azalmasına bağlı olarak daha düşüktür. Ayrıca kış aylarındaki GSA verileri gerçek üretim değerlerinden yüksek olmakla birlikte Şekil 4.31'i incelediğimizde yaz aylarında gerçek enerji miktarının yaklaşık olarak GSA verileri ile aynı olduğunu görülmektedir.

Tablo 4.7. GSA 18 temmuz 2019 değerleri ile sistemde anlık üretilen güç

Saat	GSA çıkış kW	Sistem Çıkışı kW	Sıcaklık °C	Anlık Performans
11:00	3	3,5	29	85,5%
12:00	3,36	3,7	32	87,3%
13:00	3,59	4	34	89,4%
14:00	3,9	4,2	36	92,25%



Şekil 4.32. 18 Temmuz 2019 saat 11:00 ile 15:00 arası performansı gösterir grafik

Şekil 4.32. 18 Temmuz 2019 saat 11:00 ile 15:00 arası performansı gösteren grafiği incelediğimizde saat 11:00'den saat 15:00'a doğru enerji üretimi hava sıcaklığı, güneşlenme süresi ve radyasyon oranının yükselmesiyle beraber artmaktadır.

## 5. KAPASİTE FAKTÖRÜ VE MALİYET HESAPLAMASI

### 5.1. Kapasite Faktörü

Elektrik enerjisi üreten santrallerde belli aralıklarda santralde üretilen elektrik enerjisinin toplam değerinin santralin en yüksek kapasiteyle üretebileceği enerjiye oranının elde edilmesi ile kapasite faktörü (CP) hesaplanır [30]. Elde edilen bu değer elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan santrallerde fosil yakıtla üretim yapanlara kıyasla daha düşüktür. Bu durumun başlıca nedenlerinden biri ise yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanılan santrallerde üretim durumunun meteorolojik durum ile paralel olmasıdır. Aşağıda verilen denklem (5.1), 2018 ve 2019 yıllarına ait kapasite faktörü hesaplanmasını göstermektedir.

$$\%CP = \frac{\text{Gerçek üretilen enerji}}{(24 \text{ saat}) \times (365 \text{ gün}) \times \text{kurulu güç}} \times 100 \quad (5.1)$$

Yukarıda verilen formüle istinaden kurulu gücü 5,1 kWp olan FV sisteminin yapılan hesaplamalar sonucunda %14,61 olduğu belirlenmiştir. Bu hesaplamada 2018 ve 2019 yılları toplam gerçek üretim değerleri dikkate alınmıştır.

Tablo 5.1. 2018 ve 2019 yıllarına ait kapasite faktörü hesaplamaları

Yıl	Gerçek Üretilen Enerji	Kurulu Güç	Kapasite Faktörü
2018	6529,14 kWh	5,1 kWp	14,61
2019	6472,43 kWh	5,1 kWp	14,48

### 5.2. Maliyet Hesaplaması

Kurulu gücü 5,1 kWp olan polikristal fotovoltaiik sistem şebekeye bağlanarak 2014 Temmuz ayı itibari ile enerji üretimine geçmiştir. Sistemin 30.12.2019 tarihine kadar ürettiği enerji miktarı Tablo 5.3'te verildiği üzere 34,67 MWh olarak gerçekleşmiştir. Tablo 3'te ise 2018 yılında 12 ayı kapsayan üretim değerleri verilmektedir. Sistemimizin kurulum maliyeti ise montaj işlemleri ile birlikte toplamda 8100 \$ olarak hesaplanmıştır. Fotovoltaiik sistemden elde edilen enerji elektrik dağıtım şirketleri tarafından kWh başına 0,133 dolarlık ücret karşılığında satın alınmaktadır.

Verilen bilgiler ışığında hesap yapıldığında yıllık kazanç denklem (5.2) de verilmektedir.

$$\text{Yıllık kazanç} = \text{toplam üretilen enerji miktarı (kWh)} \times 0,133 \$ \quad (5.2)$$

Tablo 5.2. Gerçek üretilen enerjinin yıllara göre toplam maliyet karşılığı

Yıl	Üretilen Enerjinin Maliyet Karşılığı
2018	868,37 \$
2019	860,83 \$

Tablo 5.3. PVSOL verilerine göre üretilen enerjinin maliyet karşılığı

Yazılım Programı	Üretilen Enerjinin Maliyet Karşılığı
PVSOL	845,22 \$

$$\text{Amortisman Süresi} = \frac{\text{Kurulumu için harcanan para}}{\text{1 yılda ürettiği toplam enerji maliyeti}} \quad (5.3)$$

Tablo 5.4. Fotovoltaik sistemin kurulum maliyetini karşılama yılını göstermektedir.

Yıl	Kurulum Maliyeti (\$)	1 Yılda Üretilen Enerji Maliyeti (\$)	Maliyetini Karşılama Süresi (Yıl)
2018	8100	868,37	9,33

Tablo 5.5. PVSOL verilerine göre FV sistemin kurulum maliyetini karşılama yılını göstermektedir

PVSOL	Kurulum Maliyeti (\$)	1 Yılda Üretilen Enerji Maliyeti (\$)	Maliyetini Karşılama Süresi (Yıl)
	8100	845,22	9,58

Eğer kurulan fotovoltaik sistem yerli üretim teşvik sisteminden yararlanılarak ulusal şebekeye bağlanmış olsaydı, üretilen enerjinin kWh birim başına alım fiyatı 0,133 \$ yerine 0,20 \$ olarak hesaplama yapılacaktı. Yerli üretim teşvik sistemi ile kurulumunu karşılama yılı hesaplaması Tablo 5.4’de gösterilmiştir.

Tablo 5.6. Yerli üretim teşvik sistemi ile kurulum maliyeti karşılama yılının hesaplanması

Yıl	Üretilen Enerjinin Maliyet Karşılığı(\$)	kWh Başına Alım Fiyatı (\$)	Kurulum Maliyeti (\$)	Kurulum Maliyetini Karşılama (Yıl)
2018	1305,82	0,20	8100	6,2

Tablo 5.7. PVSOL verilerine göre yerli üretim teşvik sistemi ile kurulum maliyeti karşılama yılının hesaplanması

PVSOL	Üretilen Enerjinin Maliyet Karşılığı(\$)	kWh Başına Alım Fiyatı (\$)	Kurulum Maliyeti (\$)	Kurulum Maliyetini Karşılama (Yıl)
	1271,082	0,20	8100	6,37

Yapılan hesaplamalar ile Kocaeli ili İzmit ilçesi sınırları içerisinde kurulan 5,1 kWp kurulu güce sahip bir polikristal fotovoltaik sistemin yaklaşık 9 yıllık süreçte kurulum maliyetini tamamlayacağı sonucuna ulaşılmıştır. Ek olarak bu fotovoltaik sisteme yerli üretim teşviklerinin de dahil edilerek şebekeye aktarılması ile kurulum maliyetini karşılama yılında 3 yıllık bir azalma elde edilerek bu sürecin 7 yıla düşürülebileceği hesaplamalar ile saptanmıştır. Fotovoltaik sistem kurulum maliyetlerinin önümüzdeki yıllarda düşeceği de göz önüne alındığında 9,33 yıl olarak hesaplanmış olan sürenin daha da indirgenmesi mümkün hale gelecektir.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada, Kocaeli Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği binasının çatısında bulunan FV sistem gerçek verileri kullanılmış olup şebekeye bağlı fotovoltaik güç sisteminde üretilen tahmini güç ve gerçek üretim verileri karşılaştırılmıştır. Sistemin tahmini üretim performansı, 2018-2019 yılları arasında PVSyst verilerine göre %87,5-%91, GSA performans yüzdesinin %96,6-%100 aralığında ve PVSOL verilerine göre ise %97,3-%98,1 olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir. Işınım şiddetleri ve ortam sıcaklığında yükselme veya düşüşün performans oranlarını ciddi ölçüde etkilediği dolayısıyla bu faktörlerin üretim performanslarına etki eden faktörlerin en önemlileri oldukları gözlenmiştir. Bunlara ek olarak enerji üretiminin bedeli 12 aylık zaman dilimi için dolar cinsinden hesaplanmıştır. Bu çalışma ile İzmit bölgesinde bir polikristal fotovoltaik sistem kurulduğu takdirde bu sistemin yaklaşık 9,33 yılda kurulum maliyetini karşıladığı hesaplanmıştır. Ayrıca yapılan hesaplamalara göre bu sistemlere yerli üretim teşvik mekanizmaları dahil edildiğinde bu sürenin 3 yıl daha indirgenebileceği kanıtlanmıştır. Fotovoltaik sistem için kabul edilebilir sınırlar aralığında ve değeri %14,61 olan bir kapasite faktörüne ulaşılmıştır. Son olarak şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız sistemler karşılaştırılır ise şebeke bağlantılı sistemlerde enerji üretiminin tüketimi karşılayamadığı durumlarda ihtiyaç duyulan gücün şebekeden sağlanabilmesi ayrıca enerji fazlasının şebekeye aktarılabilir olmasıdır.

Yapılan bu çalışmadan ulaşılan bilgiler ışığında, FV güneş enerji santrallerinin tasarımında güneşten daha yüksek verimle faydalanmak için çift yüzeye sahip ve çift yönlü hareket eden sistemler ile çalışmalar yapılmalıdır. Panel arka yüzeylerine yerden ışınım yansıdığı hesaba katılarak albedo değerini yükseltici parametrelerin incelenmesi; hareketli sistemler için ise verimi arttırmaya yönelik çalışmalar yapılması önerilmektedir.

İlerleyen zamanlarda Kocaeli sınırları içerisinde kurulması planlanan bir FV sistem için gerekli simülasyonların PVSOL programı yardımıyla yapılması önerilmektedir. Kurulacak olan herhangi bir FV tesisinin detaylı simülasyonu için üç boyutlu



modelleme özelliği ile gölgeleme kayıplarını dahi hesaplayabilen PVsyst programının kullanılması önerilmektedir.

Son olarak yapılan bu çalışma sonucunda üzerinde çalışılan sistemin, yıllık üreteceği enerji miktarı ve sağlayacağı kazanç itibariyle enerji tüketim giderlerini düşüreceği tespit edilmiş olup tesisin çalışmayı sürdürmesi ve bu tesise gereken önemin verilmesi önerilmektedir.



## KAYNAKLAR

- [1] Şahin, S. Değişen Dünya Nüfus Yapısının Görsel Materyallerle İfadesi: Nüfus Piramitlerini Yeniden Düşünmek, *Tucaum Uluslararası Coğrafya Sempozyumu*, Ankara, Türkiye, 13-14 Ekim 2016.
- [2] Koç, A., Yağlı, H., Koç, Y., Uğurlu, İ., Dünyada Ve Türkiye’de Enerji Görünümünün Genel Değerlendirilmesi, *Mühendis ve Makina*, 2018, 59(692), 86-114.
- [3] Alshagea, E., Fotovoltaik Güneş Santralleri İle Şebeke Bağlantılı Elektrik Üretim Sistemlerinde Dünyadaki ve Türkiye’deki Gelişmeler, *International Marmara Sciences Congress*, Kocaeli, Türkiye, 2020.
- [4] ETKB, Enerji Verimliliği Destekleri Hakkında Uygulama Usul ve Esasları, *Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı*“ Ankara, 2020.
- [5] Korkmaz, A., Kılıç, E., Türkay, M., Çakmak, Ö. F., Arslan, T. Y., Erdoğan, U., A Blockchain Based P2p Energy Trading Solution For Smart Grids, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, 2020, 1-65.
- [6] Acar, A., Sarı, C. ve Taranto, Y., Binalarda çatı üstü güneş enerjisi potansiyeli - Türkiye’de çatı üstü güneş enerjisi sistemlerinin hayata geçmesi için finansman modelleri ve politikalar, *Shura Enerji Dönüşüm Merkezi*, 1, 1-64, 2020.
- [7] Çetin, S., Turan, E. ve Bayrakdar, E., Türkiye’nin Güneş Enerjisi Politikaları, *Third Sector Social Economic Review*, 2019, 54(2), 949-968.
- [8] Oral, M., Türkiye’nin Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Pv Uygulamalarının Yerel Ölçekte Değerlendirilmesi: Karabük İli Örneği, *International Journal Of Geography And Geography Education*, 2020, 42(482), 503.
- [9] Aktas, A., Ozdemir, E., Karakaya, A., Ucar, M., Operation And Performance Of Grid-Connected Solar Photovoltaic Power System İn Kocaeli University, *Journal Of Optoelectronics And Advanced Materials*, 2013, 15(5-6), 559-564.
- [10] Özcan, Ö., İzgi, E., Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Çatı Sisteminin Karşılaştırmalı Performans Analizi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2020, 23(3), 127-140.
- [11] Silvestre, S., Kichou, S., Chouder, A., Nofuentes, G., Karatepe, E., Analysis of Current and Voltage Indicators In Grid Connected PV (photovoltaic) Systems Working In Faulty and Partial Shading Conditions, *Energy*, 2015, 86, 42-50.

- [12] Keskin, C., Pauly, D., Changes In The ‘Mean Temperature Of The Catch’: Application Of A New Concept To The North-Eastern Aegean Sea, *Acta Adriatica: International Journal Of Marine Sciences*, 2014, 55(2), 213-218.
- [13] Shezan, S. A., Julai, S., Kibria, M. A., Ullah, K. R., Saidur, R., Chong, W. T., & Akikur, R. K. Performance analysis of an off-grid wind-PV (photovoltaic)-diesel-battery hybrid energy system feasible for remote areas, *Journal of Cleaner Production*, 2016, 125, 121-132.
- [14] Haydaroglu, C., Gümüş, B., Dicle Üniversitesi Güneş Enerjisi Santralinin Pvsyst İle Simülasyonu Ve Performans Parametrelerinin Değerlendirilmesi, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 2016, 7(3), 491-500.
- [15] EPDK, Elektrik Piyasasında Depolama Faliyetleri Yönetmeliği, *Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu*, Ankara, 2021.
- [16] URL-1: <https://www.epias.com.tr>, (Erişim tarihi: 17 Mayıs 2021).
- [17] URL-2: [www.investinaksaray.com](http://www.investinaksaray.com), (Erişim tarihi: 17 Mayıs 2021).
- [18] URL-3: [www.mevzuat.gov.tr](http://www.mevzuat.gov.tr), (Erişim Tarihi: 17 Mayıs 2021).
- [19] Bayhan, M., Ay Türkmen, M., DURAN, Z., Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Güneş Enerjisi: Denizli İli Uygulanabilirlik Araştırması, *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 2016, 25, 151-165.
- [20] İőçan, S., Ersanlı, C. C., Fotovoltaik Güneğ Paneli Destekli Batarya Garaj ve Led Aydınlatma Sistemi Uygulaması, *Organizing Committee Members*, 2016, 108.
- [21] Alkan, S., Öztürk, A., Zavrak, S., Tosun, S., Avcı, E., Bir Evin Elektrik Enerjisi İhtiyacını Karőılayacak Fotovoltaik Sistemin Kurulması, *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu*, Bursa, 27-29 Kasım 2014.
- [22] Xavier, J. M., Performance Analysis Of A Pv Grid-Connected System At The Universidade Nacional Timor Lorosa’e, *Universidade Do Porto*, 2019, 1-95.
- [23] Çelikkaya, A., Dünyada Yenilenebilir Enerji Yatırımlarına Sağlanan Vergi Teşviklerinin Değerlendirilmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 2018, 20(1), 357-384.
- [24] Khotimatus, S., Deđerőken Özellikli Fotovoltaik Güneş Enerji Santrallerinin Mevcut Verilerle Pvsyst Programında Üretim ve Performans Analiz,

*Orphanet J. Rare Dis.*, 2020, 21(1), 1-9.

- [25] Haydaroglu, C., Gümüş, B., Dicle Üniversitesi Güneş Enerjisi Santralının Pvsyst İle Simülasyonu ve Performans Parametrelerinin Değerlendirilmesi, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 2016, 7(3), 491-500.
- [26] E. Deniz, Güneş enerjisi santrallerinde kayıplar, *Türkiye Elektr. Mühendisleri Odası*, 2013, 1(1), 1–14.
- [27] Kılıcı, O., Koklu, M., The Importance Of Fixed And Variable Angle in Solar Power Plants Analysis, *International Journal Of Applied Mathematics Electronics And Computers*, 2019, 7(4), 75-83.
- [28] Demiryürek, H. K., Arifoğlu, U., Bolat, M., Lebit Enerji Güneş Santralının Pvsyst Programı ile Analizi, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 2020, 9(3),1351–1363.
- [29] “Global Photovoltaic Power Potential by Country,” Glob. Photovolt. Power Potential by Ctry., no. June, 2020.
- [30] Castro, P. B., Fotovoltaik Sistemler İçin İnternet Üzerinden Gerçek Zamanlı Bir İzleme Sistemi Tasarım ve Uygulaması, *Glob. Shad. Africa Neoliberal World Order*, 2006, 44(2), 8–10.

## KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Alshagea, E.**, Fotovoltaik Güneş Santralleri İle Şebeke Bağlantılı Elektrik Üretim Sistemlerinde Dünyadaki ve Türkiye'deki Gelişmeler, *International Marmara Sciences Congress*, Kocaeli, Türkiye, 2020.
- [2] **Alshagea, E.**, Lisanssız Elektrik Üretiminde Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Sistemlerin Performans Analizi. Türkiye'deki Gelişmeler, *International Marmara Sciences Congress*, Kocaeli, Türkiye, 2021.



## ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta eğitimini İBB’de tamamladı. Lise öğrenimine Sana şehrinde devam ederek 2014 yılında Kocaeli Üniversitesi Teknoloji fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği bölümünü kazandı. Bir yıl Türkçe dil hazırlık sınıfının ardından dört yıllık mühendislik eğitimini tamamlayarak 2019 yılında mezun oldu. 2018-2019 yılları arasında SEBA makine şirketinde enerji mühendisi olarak çalıştı. 2019-2021 yılları arasında Zeray İnşaat şirketinde satış yöneticisi olarak çalıştı. 2019-2021 yılları arasında Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği anabilim dalında yüksek lisans eğitimini tamamladı. 2021 yılı Ocak ayı itibari ile şu anda çalışmakta olduğu Mimar İnşaat şirketinde satış yöneticisi olarak işe başladı.