



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



ÇATI ÜSTÜ GÜNEŞ ENERJİ
SANTRALLERİNDE VERİMLİLİĞİ
ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN
BELİRLENMESİ

HİMMET ONUR TUNÇEZ

YÜKSEK LİSANS

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

Temmuz-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Himmet Onur TUNÇEZ tarafından hazırlanan “Çatı Üstü Güneş Enerji Santrallerinde Verimliliği Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesi” adlı tez çalışması 06/07/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ

.....

Danışman

Doç. Dr. Levent SEYFİ

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mümtaz MUTLUER

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

HİMMET ONUR TUNÇEZ

Tarih:

ÖZET

ÇATI ÜSTÜ GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNDE VERİMLİLİĞİ ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN BELİRLENMESİ

HİMMET ONUR TUNÇEZ

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Levent SEYFİ

2022, 60 Sayfa

Jüri

**Doç. Dr. Levent SEYFİ
Prof.Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ
Dr.Öğr.Üyesi Mümtaz MUTLUER**

Tüm dünyada teknolojik gelişmeler neticesinde enerji tüketiminde büyük artışlar meydana gelmiştir. Bu nedenle temiz ve yenilenebilir enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Hali hazırda enerji ihtiyacının karşılanması için fosil yakıtlar ve doğalgazın kullanım oranı fazladır. Bu kaynakların kullanımının azaltılması için dünyada ve ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelim artmıştır. Bundan dolayı güneş enerjisi uygulamaları ülkemizde ve dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarının arasında önemli uygulamalardan biri haline gelmiştir. Ülkemizin uygun coğrafi konumda bulunması, güneş enerjisinden elektrik üretimi hususunda önem arz etmektedir. Ülkemizde güneşlenme süresi bakımından en verimli bölge Güneydoğu Anadolu bölgesi, en verimsiz bölge ise Karadeniz bölgesidir. Ülkemizde Güneş enerji sistemlerinin ilk uygulamaları olan arazi tipi güneş enerji santrallerinin yapımları yakın zamanda başlamış olup bu konuda yatırımlar halen devam etmektedir. Arazi tipi santrallerinin sayılarının artması ile transformatör kapasitelerinde doluluk gözlenmeye başlamıştır. Bundan dolayı arazi tipi santrallerin yerine tüketimin ve üretimin aynı yerde yapılacağı çatı tipi güneş enerji santrallerinin yapımına rağbet artmıştır.

Bu tez çalışmasında çatı üstü güneş enerji santrallerinin kurulum ve projelendirme aşamalarında yapılan yanlışlıkların performans ve verimlilik üzerine etkileri PV SOL yazılımı ve SCADA sisteminden alınan veriler üzerinden ortaya konulmaktadır. Yapılan çalışmalar neticesinde çatı üstü güneş enerji santrallerinde yapılan projelendirme esnasında gölgelendirme unsurlarının yanlış yerleştirilmesi sonucunda kayıpların %2.20 olduğu görülmüştür. Santralde oluşan kirlilik sonucunda ise PR değerlerinde ise %14 artış görülmüştür. Sıcaklık artışlarının da %7 ile %9 arasında verimliliği etkilediği görülmüştür. Bu sonuçlara göre çatı üstü güneş enerji santrallerine yapılacak yatırımların amortisman sürelerinin düşürülmesi konusunda önemli bir kaynak ortaya çıkacaktır.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Performans Analizi, Verimlilik, Yenilenebilir Enerji, Güneş Enerji Santrali, PVSOL

ABSTRACT

MS THESIS

DETERMINATION OF FACTORS AFFECTING EFFICIENCY IN ROOFTOP SOLAR POWER PLANTS

HİMMET ONUR TUNÇEZ

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Electrical Electronics Engineering**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Levent SEYFİ

2022, 60 Pages

Jury

**Assoc. Prof. Dr. Levent SEYFİ
Prof.Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ
Asst.Prof. Dr. Mümtaz MUTLUER**

As a result of technological developments all over the world, there has been a great increase in energy consumption. Therefore, clean and renewable energy is needed. Currently, the use of fossil fuels and natural gas is high to meet the energy need. In order to reduce the use of these resources, the tendency to use renewable energy resources has increased in the world and in our country. Therefore, solar energy applications have become one of the important applications among renewable energy sources in our country and in the world. In our country, the most efficient region in terms of sunshine duration is the Southeastern Anatolia region and the most inefficient region is the Black Sea region. The construction of land type solar power plants, which are the first applications of solar energy systems in our country, has recently started and investments in these systems are still ongoing. With the increase in the number of land type power plants, the space in transformer capacities has started to decrease. Due to this situation, the demand for the construction of roof type solar power plants, where consumption and production will be made in the same place, has increased.

In this thesis, the effects of mistakes made during the installation and projecting stages of rooftop solar power plants on the performance and efficiency will be determined through the PV SOL software and the data to be drawn from the SCADA system. As a result of the work carried out, the losses were 2.20% as a result of incorrect positioning of the shadowing elements during the project at the top solar power plants. As a result of contamination at the plant, PR values increased by 14%. Temperature increases have also affected efficiency between 7% and 9%. Thus, an important resource will emerge in reducing the depreciation periods of investments to be made in rooftop solar power plants.

Keywords: Solar Energy, Performance Analysis, Productivity, Renewable Energy, Solar Power Plant, PVSOL

ÖNSÖZ

Bu tezin her aşamasında emeği geçen ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Levent Seyfi'ye teşekkürü bir borç bilirim. Çalışmamda tüm öğrenim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme şükranlarımı sunarım.

Himmet Onur TUNÇEZ
KONYA-2022



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
3. YENİLENEMEYEN ENERJİ KAYNAKLARI	6
3.1 Petrol.....	6
3.2 Kömür	7
3.3 Doğalgaz	7
4. YENİLENEBİLİR ENERJİ.....	8
4.1. Hidroelektrik Enerjisi	10
4.2. Jeotermal Enerjisi	10
4.3. Biyogaz Enerjisi.....	10
4.4. Dalga Enerjisi	11
4.5. Hidrojen Enerjisi.....	11
4.6. Rüzgâr Enerjisi	12
4.7. Güneş Enerjisi.....	12
5. DÜNYADA VE TÜRKİYEDE GÜNEŞ ENERJİSİ	14
5.1 Dünyada Güneş Enerjisi	14
5.2. Türkiye’de Güneş Enerjisi	16
6. GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNDE KULLANILAN EKİPMANLAR.....	20
6.1. Fotovoltaik Panel	20
6.2. İntertör (Evirici).....	21
6.3. DC Kablolar	22
6.4. AC Kablolar	23
6.5. Güneş Enerji Santrali Ana Dağıtım Panosu.....	24
6.6. Transformatör	25
6.7. SCADA Panosu	26
7. MATERYAL ve YÖNTEM	27
7.1. Santral Tasarımında Kullanılan Simülasyon Programları	27

7.1.1. PVsyst simülasyon programı	27
7.1.2. PV*SOL simülasyon yazılımı	31
8. MEVCUT GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI VE ANALİZİ	36
8.1. Mevcut Santralin PV*SOL Yazılımında Tasarım Aşamaları	39
9. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	45
9.1 Çatı Üstü Güneş Enerji Sistemlerinde Verimliliği Etkileyen Faktörler	45
9.1.1. Panel temizliğinin etkisi.....	49
9.1.2. Farklı senaryolarla santral verimliliğinin analizi	49
9.1.3. Panel-invertör uyumluluk hesabı	52
10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	56
10.1 Sonuçlar	56
10.2. Öneriler	57
KAYNAKLAR	58

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

k_1	: Maksimum sıcaklık katsayısı
k_2	: Minumum sıcaklık katsayısı
$V_{d\max}$: İnvörtör maks. giriş voltajı
V_{poc}	: Panel açık devre voltajı
V_{pn}	: Panel nominal voltajı
V_{dizi}	: Dizi gerilimi
$V_{dizimin}$: Minumum dizi voltajı
V_{dizioc}	: Açık devre dizi voltajı
N_{panel}	: Nominal panel sayısı
DS	: Düzeltme sıcaklığı ($-20^{\circ}C$, $+70^{\circ}C$)
STS	: Standart test sıcaklığı ($25^{\circ}C$)
PSK	: Panel Gerilim Sıcaklık Katsayısı

Kısaltmalar

GES	: Güneş Enerji Santrali
AC	: Alternatif Akım
DC	: Doğru Akım
V	: Volt
kV	: Kilovolt
kW	: Kilowatt
kWh	: Kilowatt-saat
TW	: Terawatt
TWh	: Terawatt-saat
MWh	: Megawatt-saat
MW	: Megawatt
MWe	: Megawatt Elektrik
OSB	: Organize Sanayi Bölgesi
PV	: Fotovoltaik
TEDAŞ	: Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İdaresi Anonim Şirketi
VDC	: Panel Sistem Voltajı
W_p	: Maksimum Güç
YEGM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
KF	: Kalite Faktörü
IRENA	: International Renewable Energy Agency
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
EMO	: Elektrik Mühendisleri Odası
PR	: Performans Oranı
MPPT	: Maksimum Güç Noktası Takibi

1. GİRİŞ

Dünyada ve ülkemizde son yıllarda artan enerji tüketimi ile birlikte enerji temininde sorunlar gözlenmeye başlamıştır. Bu sorunun çözümü için enerji üretiminde yenilebilir enerji kaynaklarına yönelim artmıştır. Yenilebilir enerji kaynaklarına yönelimin artmasının sebepleri ise dünyada enerji üretiminde kullanılan kömür, petrol ve doğalgaz gibi kaynakların tükenmeye ve pahalılaşmaya başlamasıdır. Dünyada enerji üretimi için kullanılan kaynaklar;

- Yenilenebilir Enerji
- Yenilemeyen Enerji

şeklinde iki ana kola ayrılmaktadır. Enerji kaynakları dönüştürülebilir özelliklerine göre;

- Birincil Kaynaklar
- İkincil Kaynaklar

şeklinde ikiye ayrılmaktadır. Şekil 1.1’de enerji kaynaklarının tablo şeklinde gösterimi verilmiştir.



Şekil 1.1. Enerji kaynaklarının kategorize edilmesi

Dünyada enerji üretiminde kullanılabilir olan en önemli enerji kaynağı güneştir. Dünyada bulunan diğer enerji kaynaklarının oluşumunda güneş enerjisi önemli rol oynamıştır. Bu bağlamda büyük potansiyeli bulunan güneş enerjisinin değerlendirilmesi kaçınılmaz bir durum haline gelmiştir. Güneş enerjisinin değerlendirilmesi son yıllarda ülkemizde artmaya başlamıştır. Güneşten elektrik üretimi yapılabilmesi için santraller kurulmaya başlamıştır. Bu hususta ilk santraller kurulurken teknolojinin çok gelişmiş olmamasından dolayı verimleri düşüktür. Kurulan santrallerde verimliliğin düşük olması yapılacak olan yatırımların geri dönüş sürelerinin daha uzun olmasını sağlayacaktır. Bu sebepten dolayı teknolojinin gelişmesi ile kurulacak güneş enerji santrallerinde verimlilik en önemli faktörlerden biri haline gelmiştir. Santrallerin kurulum öncesi ve kurulduktan sonraki dönemlerde enerji verimliliği göz önüne alınmalıdır. Bu yüzden bu tez çalışmasında çatı üstüne kurulan güneş enerji santrallerinde verimliliği etkileyen faktörlerin belirlenmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Özkök, 2015 yılında yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında Türkiye’de her bir coğrafi bölgede seçilen en düşük ve en yüksek güneş radyasyonuna göre seçilmiş olan illerde küçük kapasiteli sistemlerin karşılaştırmasını HOMER yazılımı ile yapmıştır. Karadeniz ve Marmara bölgelerinde geri ödeme süresinin uzun olmasından dolayı şebekeye satış tarifesinin yüksek uygulanmasının ve Ege ve Doğu Anadolu bölgelerinde yapılacak desteklemeler ile PV sistemlerini daha cazip hale getireceğini belirtip yaygınlaşmasını sağlayacağını ifade etmişler.

Kaya ve Koç, 2015 yılında yayınlamış oldukları makale de enerji kaynaklarının dünyada ve Türkiye’deki durumları ile alakalı değerlendirmeler yapmıştır. Türkiye’nin 2013-2014 yılları arası ve 2014’e kadar olan on yıllık üretim tüketim durumlarını değerlendirmişlerdir. Türkiye’de 2015 yılı itibari ile yenilenebilir enerji kaynaklarına yeterli ilginin gösterilmediğini belirtmişlerdir.

Boztepe, 2017 yılında EMO İzmir şubesi aylık bülteni için yazmış olduğu yazıda fotovoltaiik güç sisteminde verimliliği ve işletme ömrünü etkileyen parametreleri incelemiştir. Santralin tasarımı esnasında simülasyon yöntemleri ile tasarımın doğrulanması gerektiğini belirtmiştir.

Sadıkoglu, 2018 yılında yaptığı tez çalışmasında 1MWp gücünde şebekeye bağlı güneş enerji santralının performans analizini yaparak santralde oluşan tozlanma sorununun performans ve ekonomik değerler üzerine etkisinden bahsetmiştir. Panel temizliği sürecinin hem temizleme masrafları hem de üretim değerleri göz önüne alındığında haftalık olarak yapılan temizlik çalışmalarının panel temizliği için yeterli olduğu sonucunu elde etmiştir.

Öncin, 2018 yılında yazmış olduğu yüksek lisans tezinde Güneş enerji santrallerinin çatı uygulamalarının nasıl yapıldığını, iş güvenliği tedbirlerinin neler olduğunu örneklerle açıklamıştır. Ülkemizdeki yasal mevzuatları dikkate alarak küçük güçte ve çatı üstü güneş enerji santrallerinin projelendirme ve kurulum esnasındaki belirsizliklerini ortadan kaldırmayı amaçlamıştır.

Dondariya ve ark., 2018 yılında Hindistan’da Ujjain şehrinde 6.4 kWp şebekeye bağlı çatı fotovoltaiik sistemini analiz etmişlerdir. PVSOL yazılımı ile, 20 tane 320 Wp nominal güçte mono-kristal silikon PV teknolojisinin enerji üretimi verimini incelemiştir. Mono-kristal silikon bir yılda 1528.125 kWh/kWp enerji üreterek, elektrik ihtiyacının %41’inden fazlasını karşılamıştır.

Atalay, 2019 yılında yapmış olduğu çalışmada, PV çatı panel uygulamalarında verimi etkileyen en büyük sebeplerin güneş açısı, panel verimi, gölgelenme, ortam sıcaklığı ve ortamın tozlu olması olduğunu belirtmiştir. Kar ve yağmur yağışlarının panel verimliliğini etkilediği ve panellerin üst kısımlarının tozlardan arındırılmasının verimliliği etkilediğini belirtmiştir.

Kınalı, 2019 yılında yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında güneş enerjisi üretim tesislerinin gerçek tasarım modelleri ve üretim verilerini piyasada kullanılan simülasyon programları aracılığıyla karşılaştırarak performanslarını değerlendirmiştir. Yapmış olduğu çalışmada yıllık enerji üretim değeri, referans verimi, final verimi, kapasite faktörü ve performans oranı tahminlerinde en iyi sonucu PVSOL yazılımı ile aldığını ve en doğru tahminlerin ise performans tahminleri olduğunu belirtmiştir.

Aksangör ve ark., 2019 yılında yapmış olduğu çalışmada Ankara ilinde bulunan kampüse ait binaların elektrik tüketimini güneş enerji sistemleri ile karşılanmak istenmesi durumunda kurulacak sistemlerin performanslarının simülasyon yazılımları sayesinde belirlenmesini amaçlamıştır. Tasarlanan sisteme ait performans oranının %84.1 olacağını öngörmüş olup tasarladığı sistemin bileşenler ile uyumlu çalışacağını belirtmiştir.

Ramanan ve ark. 2019 yılında yaptıkları çalışmada Güney Hindistan'ın Tamil Nadu şehrinde şebekeye bağlı poli-kristal silikon ve ince film güneş panellerini içeren, fotovoltaik sistemin bir yıllık performansını PVsyst yazılımı ile ölçerek gerçek ölçüm değerleriyle kıyaslamışlardır. Performansın belirlenmesinde dizi verimi, nihai verim, PV verimliliği, performans oranı ve kapasite kullanım faktörü gibi parametreleri dikkate almışlardır. Sistemde poli-kristal için 1536.9 kWh, ince film için 1698.4 kWh yıllık enerji üretimi olarak tespit edilmiştir. Yıllık ortalama performans değeri poli-kristal için %78.48, ince film için %86.73 olmuştur. İnce film panellerin yüksek performans oranına sahip olması nedeniyle poli-kristal panellerden daha yüksek verim sunduklarını gözlemlemişlerdir.

İzgi ve Özcan, 2020 yılında yazmış oldukları araştırma makalesinde simülasyon programları kullanarak farklı panel teknolojilerini karşılaştırmış olup kullanılması gereken uygun panel teknolojisi hakkında çıkarım yapmışlardır. Mono kristal sistemin çatıda kapattığı bölgenin miktarı ve ürettiği elektrik açısından önemli bir avantaja sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

Akcan ve arkadaşları, 2020 yılında yazmış oldukları araştırma makalesinde Batman ilinde okul çatısına yapılması planlanan santrali PVsyst adlı simülasyon programında simüle ederek 35.31 MWh/yıl enerjinin şebekeye satılarak okul için gelir

oluşturulacağını belirtmiştir. Batman ili için PV sisteminden elektrik üretiminin iyi bir seçenek olarak ön plana çıktığını belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmanın farklı güç ve koşullar baz alınarak farklı uygulamalar için de faydalı olacağını belirtmişler.

Kılıcı, 2020 yılında yazmış olduğu yüksek lisans tezinde Kayseri ilinde sabit sistem ve hareketli sistemleri içeren 5 farklı varyasyonun tasarımını ve üretim analizlerini gerçekleştirmiştir. Santrallerde hareketli sistem ve çift yüzeyli panellerin geliştirilmesi ve hayata geçirilmesi gerektiğini belirtmiş olup PVsyst yazılımının çıkarmış olduğu veriler ile gerçek veriler arasında %2 oranında bir fark olduğunu belirtmiştir. Bu farkın kabul edilebilir bir fark olduğunu ve programın güvenilir olduğunu belirtmiştir.

Tozkoparan, 2021 yılında yapmış olduğu tez çalışmasında Kocaeli'nin Çayırova ilçesinde kurulmuş olan 1410kWp – 1200kW kurulu gücündeki çatı üstü güneş enerji santralini enerji üretim analizini yapmıştır. Optimizer kullanarak santralin avantaj ve dezavantajlarını ortaya koymuştur. Gelecekte kurulacak olan santrallerde tasarım aşamasında üretim verimliliği, maliyet gibi kriterler için optimizer kullanılabileceğini belirtmiştir.

Öztürk, 2021 yılında yapmış olduğu çalışmada güneş enerji santrallerinin kurulum öncesi hesaplanan yatırım maliyetinin ve geri ödenme süresinin kurulum sonrası ile arasında ortaya çıkan farkı tespit etmeye çalışmıştır. Çalışmasında santrallerin üretim analizlerinin kurulumdan sonra 5., 10. ve 15. yıllarda tekrar yapılması gerektiğini belirtmiştir.

3. YENİLENEMEYEN ENERJİ KAYNAKLARI

Dünyada bulunan kullanıldıkça tükenen, kendini yenileyemeyen enerji kaynakları yenilenemez enerji kaynakları olarak adlandırılır. Doğada ölen canlılar vakit geçtikçe fiziksel olarak bozunmaya başlar. Bu bozunma uzun yıllar sürer. Bozunma toprak üstünde başlayıp yıllar içerisinde toprak altına ilerler. Bu şekilde canlı kalıntısı katılarak fosil haline gelir. Canlılar zaman geçtikçe bazıları petrol haline bazıları kömür veya mermer haline gelebilir. Bu dönüşüm sayesinde fosil yakıtlar oluşur. Bu fosil yakıtlar enerji üretiminde kullanılır. Bu kaynaklara yenilenemeyen enerji kaynakları denilebilir. Bu enerji kaynaklarını kömür, petrol ve doğalgaz diye sıralayabiliriz.

Yenilenemez enerji kaynaklarının Dünyada birincil enerji tüketiminde bulunan payı 2018 yılında %71'dir. Şekil 3.1'de dünyada elektrik üretimi için kullanılan kaynakların dağılımı verilmiştir.

	2000	2018
Coal	5 995	10 123 (TWh)
Oil	1 207	808 (TWh)
Natural gas	2 760	6 118 (TWh)
Nuclear	2 591	2 718 (TWh)
Hydro	2 613	4 203 (TWh)
Wind and solar PV	32	1 857 (TWh)
Other renewables	217	739 (TWh)
Total generation	15 436	26 603 (TWh)
<i>Electricity demand</i>	<i>13 152</i>	<i>23 031 (TWh)</i>

Şekil 3.1. Yenilenemeyen enerji kaynaklarının enerji tüketimindeki payı (World Energy Outlook, 2019)

3.1 Petrol

Ham petrol ve doğalgazın ana bileşenleri Hidrojen ve Karbon dur. Bu bileşenler toprağın ve suyun tazyiki ile beraber yer altında derinlere iner, sıcaklık ve basıncın etkileri ile tepkimelere girerek petrol oluşur. Oluşan petrol, yer altında emilerek yer altı sularının da etkisi ile kireçtaşlarına sürüklenir. Bu sayede petrol yatakları oluşur (Akbulut, 2018).

3.2 Kömür

Kömür, yanıcı, organik ve tortulu bir kaya olup çoğunlukla karbon içermesine rağmen içerisinde birçok farklı element de mevcuttur. Kömür, kaya tabakalarının arasında milyonlarca yıl basınç ve ısının etkisi ile damarlar halinde değişikliğe uğrayarak meydana gelmektedir. Kömür dünyada elektrik üretiminde en çok kullanılan kaynak olma özelliğini taşımaktadır (Kurt, 2006).

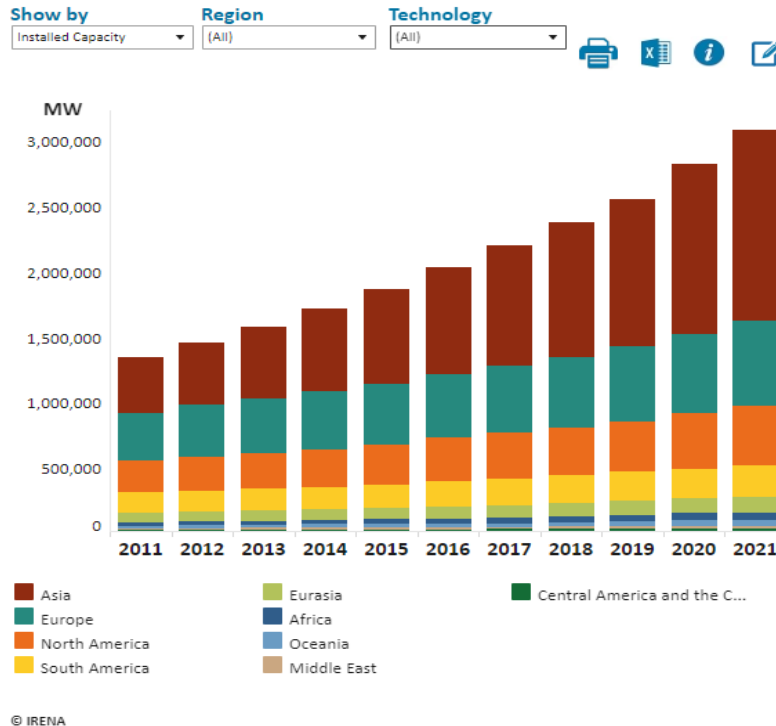
3.3 Doğalgaz

Doğalgaz birincil enerji kaynaklarından biridir. Doğalgaz dünyanın büyük bir kısmının su ile kaplı olduğu dönemde oluşmuştur. Milyonlarca yıl önce bitkiler ağaçlar hayvanlar karışık tabakalaşmışlardır. Bu tabakalaşma sıcaklık, basınç gibi etkilerle beraber günümüzde doğalgaz haline gelmiştir. Doğalgaz içerisinde %90-99 oranında metan yüzde 1-3 arasında azot, karbondioksit, kükürt, hidrojen ve helyum bulundurulur. Doğalgaz, dünyada elektrik üretiminde kömürden sonra en çok kullanılan kaynaktır (Kurt, 2006).

4. YENİLENEBİLİR ENERJİ

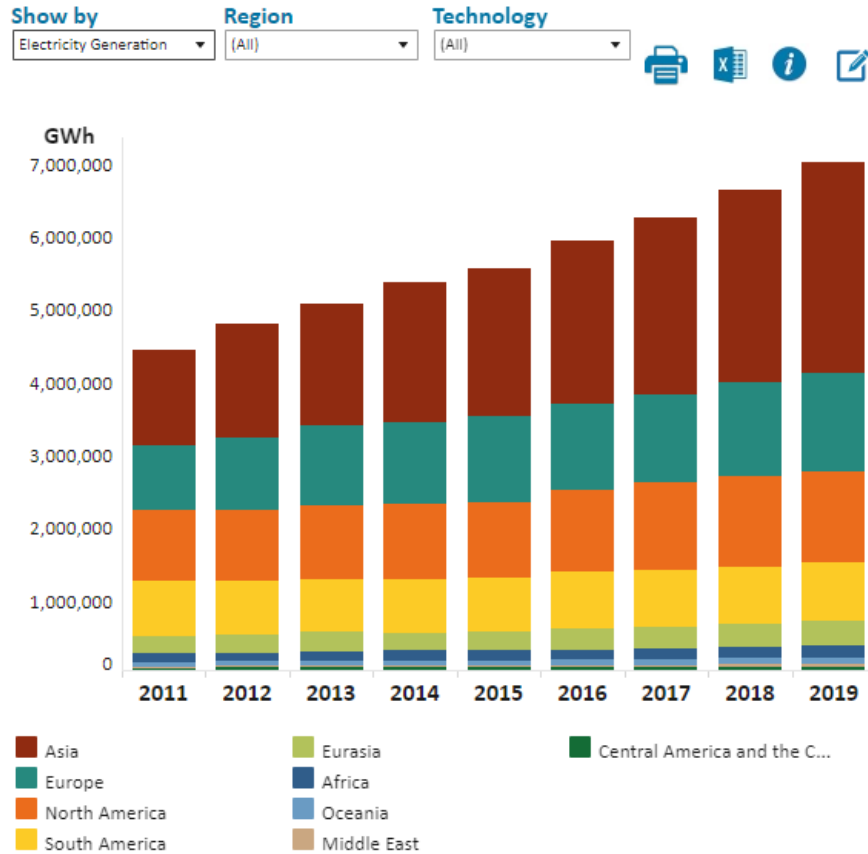
Enerji, hayatımızın idamesi için en gerekli ihtiyaçtır. Teknolojik gelişmeler ve sanayileşmenin artması dolayısı ile enerji gereksinimi fazlasıyla artmıştır. Günümüzde enerji ihtiyacının büyük bir bölümü kömür, doğalgaz, petrol gibi malzemelerden giderilmektedir. Bu yakıtların dünyada bulunan rezervleri azalmaya başlamıştır. Bu yakıtlar tükenbilir enerji kaynakları olmasının yanı sıra çevreye verdiği zararlar da ciddi oranlarda ozon tabakasına, iklim düzenine zarar vermeye başlamıştır. Bu durum yenilenebilir enerjinin önemini artırmıştır.

Dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarının kıtalara göre toplam kurulu gücü 2020 yılında 2870 TW, 2021 yılında ise 3063 TW güce sahiptir. En çok yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip kıta Asya kıtası iken en düşük güce sahip olan bölge ise Orta Amerika ve Karayip bölgesidir. Asya kıtasında yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam gücü 2020 yılında 1301 TW iken 2021 yılında 1455 TW olarak yükselmiştir. Avrupa ise 2020 yılında 608 TW kurulu güce sahipken 2021 yılında 647 TW' a yükselmiştir. Merkez Amerika ve Karayip bölgesinde 2020 yılında 16795 MW iken 2021 yılında 17352 MW kurulu güce sahiptir. Şekil 4.1'de 2011 ile 2021 arasında yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam kurulu güç grafiği verilmiştir (IRENA, 2022).



Şekil 4.1 Yenilenebilir enerji kaynakları kurulu güç grafiği (IRENA, 2022)

Dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerji bakımından kurulu güçte başı çeken Asya bölgesi en çok üretim yapan bölgedir. Asya bölgesinde 2019 yılında 2895 TWh üretim yapılmıştır. 2018 yılında ise 2650 TWh üretim yapılmıştır. Bu iki yıl içerisinde kurulu güç 99 TW artış göstermiştir. En az üreten bölge ise yine kurulu güç sıralamasında en alt sırada olan Merkez Amerika ve Karayip bölgesidir. Bu bölge 2019 yılında 45 TWh, 2018 yılında ise 48 TWh üretim yapmıştır. Bu bölge diğer bölgelerde yıllara göre üretim artarken bu bölgede üretim düşmüştür. Bu bölge 2018 ile 2019 yılı arasında 1162 MW yeni kurulum yapılmasına rağmen üretim 3 TWh daha düşük üretim yapılmıştır. Avrupa da ise 2018 yılında 1300 TWh üretim yapılırken 2019 yılında 1334 TWh üretim yapılmıştır. Avrupada 2018 ile 2019 yılı arasında artan kurulu güç ise 37 TW artış göstermiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının dünyada üretimini Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



© IRENA

Şekil 4.2 Dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerji (IRENA 2022)

Yenilenebilir enerji kaynakları dünyada uzun yıllar boyunca varlığı sürdürülebilir ve enerjisi devamlı olarak tekrar ve tekrar kullanılabilen kaynaklardır. Bu enerji kaynakları zamanla tükenmezler ve doğada kendiliğinden var olurlar. Bu kaynaklar şunlardır;

- Hidroelektrik enerjisi
- Jeotermal enerjisi
- Biyogaz enerjisi
- Dalga enerjisi
- Hidrojen enerjisi
- Rüzgar enerjisi
- Güneş enerjisi

4.1. Hidroelektrik Enerjisi

Hidroelektrik enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde teknolojik düzeyi en yüksek olan enerji kaynağıdır. Kullanılan en eski enerji kaynaklarından biri olan hidroelektrik enerjisinin kaynağı sudur. Bu nedenle hidroelektrik santrallerin, bir su kaynağı üzerinde kurulması gereklidir. Hidroelektrik santrallerin vazifesi akan suyun gücünü elektriğe dönüştürmektir. Suyun akış hızı veya düşüşü üretilen enerji miktarını belirler (Elektriğin Temel Esasları, 2012).

4.2. Jeotermal Enerjisi

Jeotermal enerji, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, yüksek sıcaklıklarda olan su, buhar ve gazlardan oluşan akışkandan elden edilen enerji olarak tanımlanabilir. Jeotermal enerji, çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla erimiş mineral, tuz ve gazlar içerebilir. Bununla beraber herhangi bir akışkan içermeden de bazı özel tekniklerle yeraltındaki ısıdan yararlanılması da jeotermal enerji kaynağı olarak görülmektedir (Çirkin, 2022).

4.3. Biyogaz Enerjisi

Mikroorganizmaların yani bitki ve hayvanların organik atık potansiyeline biyogaz denir. Yaşam döngüsü sürdüğü müddetçe organik atıklar ortaya çıkmaktadır. Organik

atıkları hayvansal atıklar, zirai atıklar, Deri ve tekstil endüstrisinden elde edilen atıklar, evsel katı atıklar, sebze, meyve ve tahıl endüstrisinden elde edilen atıklar, gıda atıkları, tarımsal atıklar, atık sular olarak sıralayabiliriz. Organik kökenli olan bu atık ve artıkların anaerobik fermantasyon denilen oksijensiz ortamda bozunması sonucunda biyogaz ortaya çıkar. Biyogaz doğalgaza benzer özelliklere sahip bir gazdır. Bu gazın ana ürünü metan gazıdır. Temizlenen bu gaz içten yanmalı gaz motorlarında kullanılarak jeneratörler vasıtası ile elektrik enerjisi elde edilir. Ayrıca bu fermantasyon işlemi sonucunda elektrik enerjisi elde etmenin yanı sıra katı ve sıvı ürünler de ortaya çıkar. Sıvı olanlar gübre olarak, katı olanlar ise toprağın verimini artırmak için kullanılırlar. Böylece atıklar da değerlendirilmiş olur. Biyogaz ile doğaya dost ve ucuz elektrik enerjisi elde edilir. (Öztürk, 2012)

4.4. Dalga Enerjisi

Dalga enerjisi dünya yüzeyinin ısınması sonucu oluşan rüzgarların okyanus veya deniz yüzeyinde esmesi ile denizde oluşan dalgaların hareketlerinden elde edilir. Dalga enerjisinden elektrik üretimi için kullanılan makineler dalgaların hareketlerinden veya basınçlarından doğrudan enerji üretir. Dalga enerjisini kullanabilmek için çeşitli teknolojiler ortaya çıkarılmıştır. Dalga enerjisinde kullanılabilirlik üzere geliştirilen teknolojiler kıyıda, kıyıdan biraz uzakta veya açık denizlerde kurulmak için tasarlanmıştır. Açık denizde kurulacak sistemler suyun 40 metreden derine yerleştirilir. Bütün dalga enerji teknolojileri su yüzeyinde veya su yüzeyinin yakınında kurulmak için tasarlanmış olsa da uyum sağladıkları dalgaya ve dalga enerjisini çevirdikleri enerjiye göre farklılık gösterirler (URL: 1).

4.5. Hidrojen Enerjisi

Hidrojen Dünyada en basit ve yaygın biçimde bulunan elementtir. Hidrojen kokusuz ve renksiz olup havadan kat ve kat hafif ve zararsız bir gazdır. Hidrojen doğal yakıt değildir. Hidrojen birincil enerji kaynaklarından (kömür, petrol, doğalgaz vb.) yararlanılarak su, fosil yakıtlar ve biyokütle gibi değişik hammaddeler sayesinde üretilen sentetik bir yakıttır. Üretilme aşamasında buhar iyileştirme, atık gazların saflaştırılması, elektroliz, foto süreçler, termokimyasal işlemler, radyoliz gibi alternatif birçok hidrojen üretim teknolojileri mevcuttur. Buharla reaksiyon yöntemi hidrojen

üretiminde en çok tercih edilen yöntemlerden biridir. Üretilen hidrojen, boru hatları veya tankerler ile büyük mesafelere taşınabilir (Gökrem, 2022).

4.6. Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr, yer kürenin her tarafının aynı anda ve aynı miktarda ısınmamasından dolayı meydana gelir. Yüksek basınçtan alçak basınca doğru havanın hareket etmesi rüzgâr olarak bilinmektedir. Yeryüzünde farklı sıcaklıkların oluşması, havadaki nemin ve basıncın farklı olması havanın sürekli hareket halinde olmasını sağlar. Rüzgârın hızı genellikle kış aylarında diğer aylara nazaran daha yüksek olur. Bu durum coğrafi konumlara göre de değişiklik gösterebilir. Rüzgâr enerjisinden mekanik veya elektrik enerjisi üretmek amacıyla yararlanır. Mekanik enerji olarak genelde çiftliklerde sulama ve öğütme amacıyla kullanılır. Elektrik enerjisinin üretimi için ise rüzgâr enerjisi santrallerinden yararlanır. Bu santrallerde rüzgâr yardımı ile devasa büyüklükte olan rüzgar türbinlerinde bulunan kanatlar döndürülerek mekanik enerji elde edilip daha sonra türbin içerisinde bulunan jeneratörler ve çeşitli ekipman sayesinde mekanik enerji elektrik enerjisine çevrilir. Bu tür santraller kurulurken kurulum yapılacak yerin seçimi büyük önem arz etmektedir. Kurulum yapılacak yerler belirlenirken bu yerlerin çeşitli parametrelere göre 1 yıl boyunca ölçüm yapılması önerilmektedir (Taşgetiren, 1998).

4.7. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi dünyada bulunan canlıların yaşamının temelini oluşturur. Güneşten açığa çıkan enerjinin küçük bir miktarı dünyamıza ulaşmaktadır. Bunun en büyük sebebi ise atmosferde bulunan su buharı, ozon ve karbondioksit gibi gazların güneşten gelmekte olan ışınımaları absorbe etmesi ve ışınımın çok büyük bir mesafe kat etmesinden kaynaklıdır. Atmosfer dışında bulunan ışınım miktarı 1367 W/m^2 dir bu değer güneş sabiti olarak alınır. Yeryüzüne ulaşan ışınım değeri ise 1000 W/m^2 olarak kabul edilir.

Güneş enerjisinden elektrik üretiminde günümüzde kullanılan en yaygın yöntem Fotovoltaik enerji teknolojisidir. Fotovoltaik teknolojisi temelinde güneşten gelen ışınım güneş pilleri yardımıyla doğru akım üretir. Bu piller seri veya paralel bağlanarak sistem oluşturulmaya başlanır. Seri veya paralel bağlanması kullanılan pile veya istenen sisteme göre değişmektedir. Seri bağlayarak gerilim yükseltip akım sabit tutulurken paralel bağlanarak akım sabit tutulup gerilim yükseltir. Üretilen akım DC-AC çeviriciler

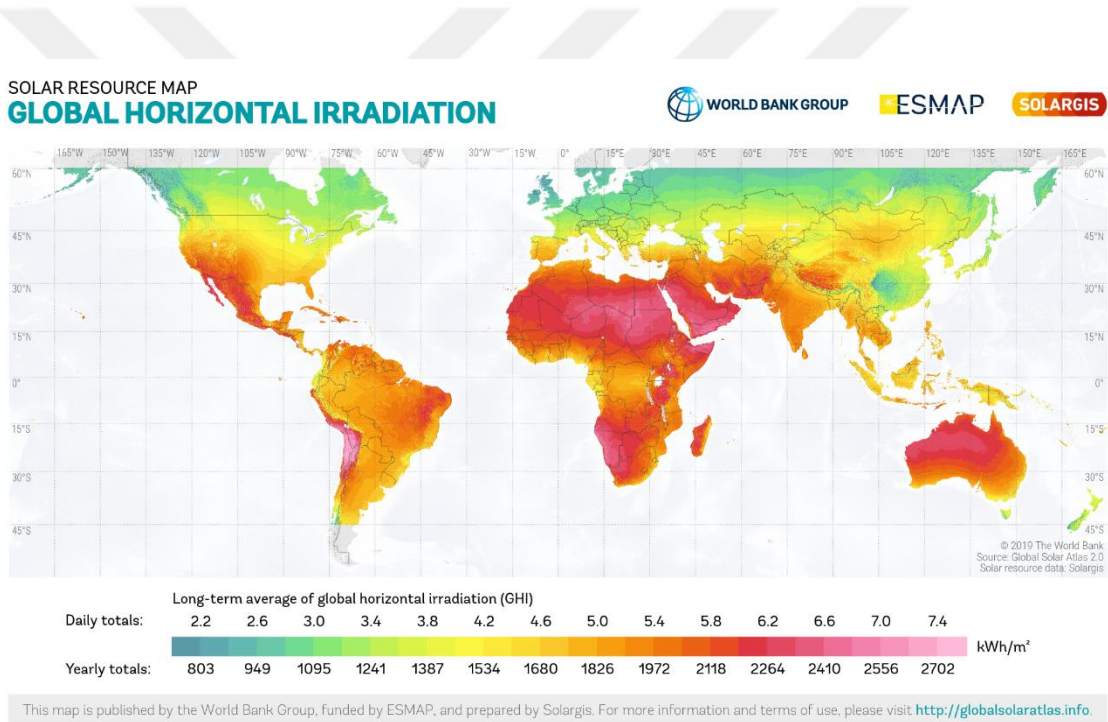
kullanılarak şebekede kullanılabilir hale getirilerek enerji üretimi tamamlanır (Karamanav, 2007).



5. DÜNYADA VE TÜRKİYEDE GÜNEŞ ENERJİSİ

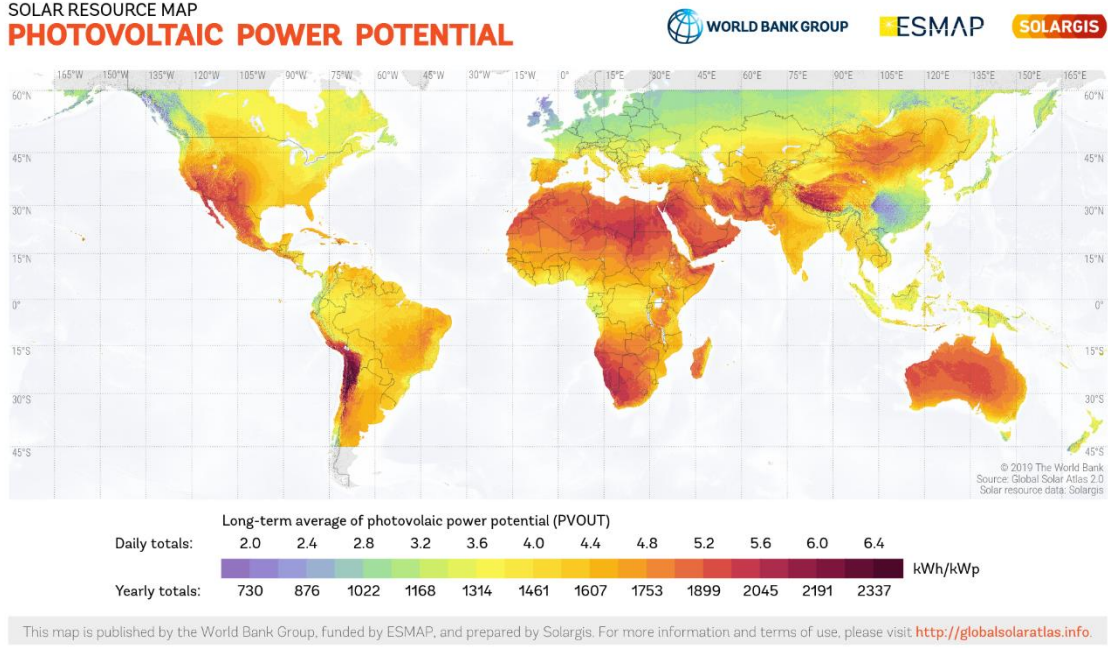
5.1 Dünyada Güneş Enerjisi

Dünyada bulunan güneş enerji santrallerinin büyük bir çoğunluğu Avrupa, Amerika ve Çin’de bulunmasına rağmen en büyük güneş enerjisi potansiyeli Afrika, Avustralya ve Güney Amerika’da bulunmaktadır. Bu bölgelerde bulunan ülkelerin diğer ülkelere kıyasla daha fazla güneşlenme süresi ve radyasyonu bulunmaktadır. Şekil 5.1’de dünya ışınım haritası yer almaktadır. Dünyada güneş açısından en elverişli bölge ekvatorun 35 derece kuzey ve 35 derece güney enlemleri arasında kalan bölgedir. Bu bölge dünya güneş kuşağı olarak adlandırılır.



Şekil 5.1. Dünya güneş atlası (SOLARGIS, 2022)

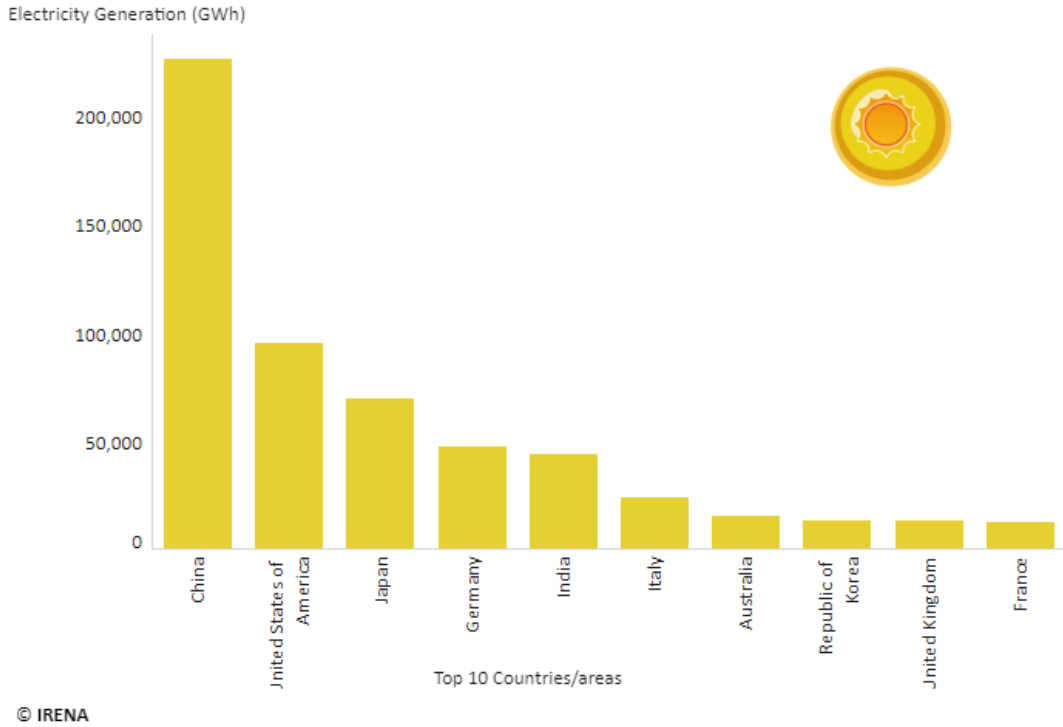
Fotovoltaik güç söz konusu olduğunda ışınım dışında başka etkenler de devreye girmektedir. Fotovoltaik güç olarak daha fazla üretim için hava koşullarının da uygun olması gerekmektedir. Bu koşullar ise havanın serin ve bulutsuz olmasını gerektirmektedir. Dünyanın fotovoltaik güç bakımından güneş haritası Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2 Fotovoltaik sistemlere göre dünya güneş enerji haritası (SOLARGIS, 2022)

Güneş enerjisi kurulu güç bakımından ülkeler incelendiğinde 2021 yılı verilerine göre önde gelen ülkeler şunlardır; Çin 306 TW, Amerika Birleşik Devletleri 93 TW, Japonya 74 TW, Almanya 58 TW, Hindistan 49 TW, İtalya 22 TW, Avustralya 19 TW, Kore Cumhuriyeti 18 TW, Vietnam 16 TW, Fransa 14 TW (IRENA, 2021).

Dünyada güneş enerji santrallerinden 2019 yılında üretilen elektrik enerjisi miktarı Şekil 5.3'te verilmiştir. Bu veriler incelendiğinde kurulu güç olarak dünyada 9. sırada bulunan Vietnam üretimde bu listeye girememiştir. Kurulu güç bakımından ilk 10 ülke içerisinde olmayan Birleşik Krallık ise güneş enerji santrallerinden elektrik enerjisi üretiminde dünyada 9. sırada yer almıştır. Böylece kurulan güneş enerji santrallerinin verimli bir şekilde çalışmasının ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5.3. Dünya güneş enerji santrallerinden elektrik enerjisi üretimi (IRENA)

5.2. Türkiye’de Güneş Enerjisi

Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve üretilmesi ile ilgili süreçler gün geçtikçe hız kazanmaktadır. Bunun sebebi olarak artan enerji maliyetleri gösterilebilir. Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş ve rüzgâr Enerjisinden diğerlerine göre oldukça fazla faydalanılmaktadır. Ülkemizde ilk defa 1990’lı yıllarda güneş enerjisinden yararlanılmaya güneş kolektörleri kullanılarak sıcak su elde edilmesi ile başlanmıştır. 1978 yılında kurulan Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü güneş enerjisi ile ilgili kurulan ilk kurumdur. Türkiye de kurulan ilk Güneş enerji santrali ise 4.8 kWp gücünde Didim’de kurulmuştur. Bu santral laboratuvar ölçekli bir güç santralidir. Ülkemiz dünyanın birçok ülkesine göre güneş enerjisinde oldukça fazla potansiyele sahiptir. Ülkemizin yıllık güneşlenme süresi diğer ülkelere göre oldukça fazladır. Ülkemizin 1991-2020 yılları arasında yıllık ortalama güneşlenme süresine göre şehir bazında harita Şekil 5.4’te verilmiştir. 1991-2020 yılları arasında yıllık ortalama güneşlenme süresi ise Şekil 5.5’te verilmiştir. 1991-2020 yılları arasında aylık ortalama güneşlenme süresi Şekil 5.6’da verilmiştir. Ülkemizin yıllık radyasyon haritası Şekil 5.7’de verilmiştir (Oral, 2017).



Şekil 5.4. Yıllık ortalama güneşlenme süresi şehir bazında (MGM, 2022)

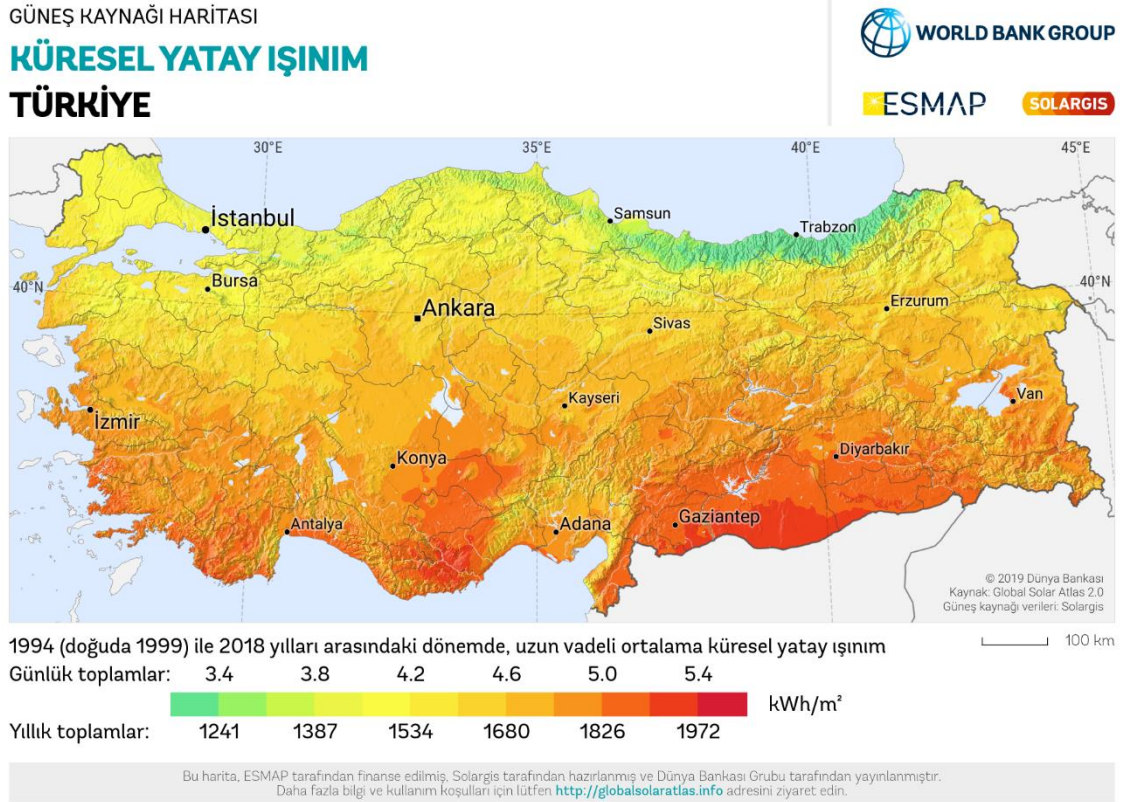


Şekil 5.5. Yıllık ortalama güneşlenme süresi (MGM, 2022)



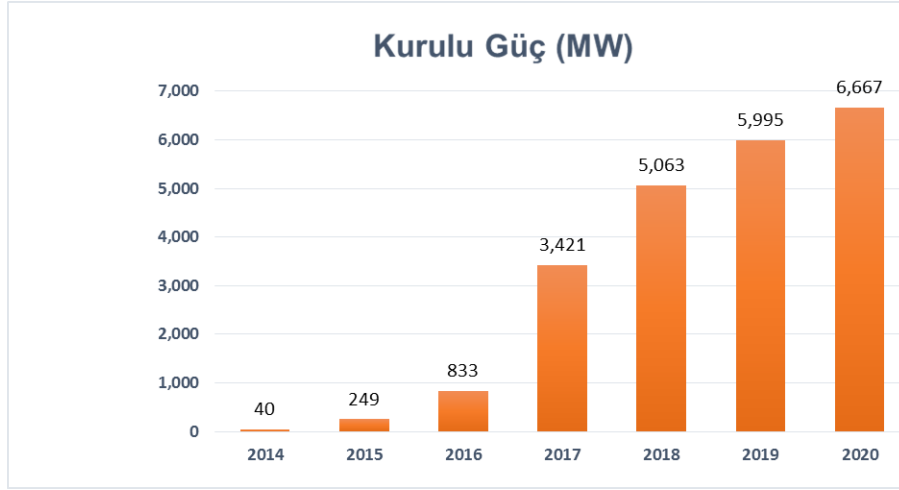
Şekil 5.6. Aylık ortalama güneşlenme süresi (MGM, 2022)

Şekiller incelendiğinde ülkemizde yıl içerisinde güneşlenme süresi en çok haziran, temmuz ve ağustos ayında gözükmetedir. Güneşlenme süresinin fazla olmasından dolayı bu aylarda güneş enerji santrallerinin üretimleri diğer aylara göre kat ve kat fazladır. Yıllık ortalama güneşlenme süresi ise 1991 ile 2020 yılları arasında bakıldığında en çok güneşlenme süresi 7,19 saat ile 2000 yılına aittir.



Şekil 5.7. Türkiye yıllık radyasyon haritası (IRENA, 2022)

Ülkemizin yıllık radyasyon verileri incelendiğinde m² başına en çok radyasyon güney Doğu Anadolu Bölgesine gelmektedir. En az radyasyon miktarı ise Doğu Karadeniz bölgesinde bulunmaktadır. Ülkemizin yıllık radyasyon atlası Şekil 5.7'de verilmiştir. Ülkemizde m² başına gelen en yüksek radyasyon miktarı yıllık ortalama olarak 1900-2000 kWh/m² en düşük radyasyon miktarı ise m² başına 1100-1300 kWh olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.8. Türkiye’de güneş enerji santralleri kurulu gücünün yıllara göre değişimi (URL:2)

Şekil 5.8 incelendiğinde Türkiye’de güneş enerji santrallerinin kurulumlarının 2016 ile 2017 arasında hız kazandığı görülmektedir. Kurulumların başlangıcı ise 2013-2014 arasında gözükmemektedir.

6. GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNDE KULLANILAN EKİPMANLAR

Güneş enerji santrallerinde birden fazla ekipman kullanılır. Santralin amacına göre ekipmanlar değişiklik gösterebilir. Örneğin şebeke bağlantısız bir sistem kurulmak istenirse şebeke bağlantılı sisteme göre ek olarak depolama için akü grubu gerekmektedir. Bu santrallerin ortak bileşenleri ise fotovoltaik panel, invertör, üretilen DC akımı taşıyan DC kablolar, pano, sigorta, panellerin çatıya veya araziye montajının yapılabilmesi için kullanılan konstrüksiyonlar olarak sıralanabilir. Santralin uzaktan takibinin yapılabilmesi istenirse santrale entegre olarak SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) sistemi eklenebilir.

6.1. Fotovoltaik Panel

Güneş enerjisinden doğrudan enerji elde edebilmek için kullanılan güneş enerji santrallerinin en temel elemanı paneldir. Şekil 6.1'de görülen fotovoltaik panel, yüzeylerine düşen güneş ışınını doğrudan elektrik enerjisine çeviren yarı iletken teknolojiye sahip cihazdır. Fotovoltaik paneller fotovoltaik hücrelerin seri veya paralel şekilde kombine edilmesi sonucunda oluşur. Bu hücrelerin çıkışı ortalama olarak 0.5 V dur. Güneş panellerinin yapımında hücreler istenilen güç ve sayıda lehimle birbirlerine bağlandıktan sonra montaj yapılacak cama yerleşimi yapılır. Hücre yerleşimi tamamlandıktan sonra laminasyon işlemi gerçekleştirilir. Laminasyon işlemi gerçekleştirildikten sonra hazır olan panelde herhangi bir hasar veya deformasyon ihtimaline karşı kontrol edilir. Kontrol edilen panellere çerçeve montajı yapılır. Çerçeve montajı da tamamlandıktan sonra standart test koşullarında paneller test edilir. Bu testte topraklama, maksimum panel gücü, panelin akım- gerilim değerleri, yüksek gerilim izolasyonları gibi parametreler test edilir. Panellerde kullanılan hücrelerin yapılarına göre verimlilikleri değişir. Bu verimlilikler %5 ile %25 arasında değişmektedir. Bu paneller santrallerde istenilen güç, akım veya gerilime göre seri veya paralel bağlanarak diziler oluşturulur (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2021).



Şekil 6.1. Fotovoltaik Panel

6.2. İnvörtör (Evirici)

Fotovoltaik paneller DC gerilim üretirler. Bu üretilen DC gerilim şebekede kullanılamaz. Şebekede kullanım için DC gerilimin AC gerilime çevrilmesi gerekmektedir. Bu işlem invörtör aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. İnvörtörler sistemin ana kontrol cihazı olarak kabul edilebilir. İnvörtörler panel tarafında DC akım ve gerilimi şebeke tarafında ise AC akım, gerilim ve frekansı kontrol edip düzenlenmesini sağlar. Şebeke bağlantılı invörtörler kullanımına göre 3'e ayrılır. Bunlar; mikro invörtör, string (dizi) invörtör, merkezi invörtördür. Bu tez çalışmasında incelenecek projede Şekil 6.2'de görülen dizi invörtör kullanılacaktır. Bunun sebebi ise çatı üstü güneş enerji santrallerinde genellikle iki farklı cephe olmasıdır. Dizi invörtörlerde genellikle birden fazla MPPT girişi bulunur. Aynı cephelerde konumlandırılmış olan paneller dizi şeklinde invörtörde bulunan bir MPPT grubuna bağlantısı yapılır. Bu sayede dizi invörtör kullanılarak cepheler arasındaki ışınım farkından dolayı MPPT'lerde oluşabilecek potansiyel farkların oluşmasının önüne geçilir.



Şekil 6.2. Dizi invertör

6.3. DC Kablolar

Güneş enerji santrallerinde panellerde üretilen elektriğin taşınması için kablolarla ihtiyaç vardır. Bu kablolar DC akımı taşıyacağı için birtakım özelliklere sahip olması gerekmektedir. DC kablolar UV ışınlarına, yüksek sıcaklıklara, sürekli değişen hava koşullarına, mekanik olarak zorlanmalara, yağmur, kar gibi durumlara dayanabilecek özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu kablolar 5 ayrı kategoride onlarca farklı testten geçmektedir. Bu kategoriler; Geometrik testler, elektriksel testler, mekanik testler, performans testleri ve işlevsellik testleridir. Bir örneği Şekil 6.3'te görülen DC kabloların işletme gerilimleri 1-1.5kVDC arasında değişebilir. Belirli standartlara uyan DC kablolar H1Z2Z2-K olarak adlandırılır.



Şekil 6.3. DC Kablo (URL 3)

6.4. AC Kablolar

Panellerin invertör ile bağlantısı tamamlandıktan sonra invertörlerde DC akım AC akıma çevrilmiş olup artık şebeke tarafına iletme hazır bir şekildedir. Üretilen elektrik enerjisi invertör çıkışından AC kablolar yardımı ile güneş enerji santralinin ana panosuna taşınır. AC kablolar ikiye ayrılmaktadır. Bunlar alçak gerilim (AG) ve yüksek gerilimdir (YG).

Alçak Gerilim Kablo: Alçak gerilim kablolar gerilim seviyesi 1000 V'dan daha az olan sistemlerde kullanılır. Güneş enerji santrallerinde invertör çıkışları ülkemizde genellikle 400 V seviyesindedir. Bu gerilim seviyesinin elektrik dağıtım hattına taşınabilmesi için dağıtım şirketlerinin işletme gerilim seviyesine göre (31.5 kV, 34.5kV) yükseltilir. Bu gerilim yükseltme kısmına kadar AG kablolar kullanılmaktadır. Şekil 6.4'te AG kablo örneği gösterilmiştir.



Şekil 6.4. AG kablo

Yüksek Gerilim Kablo: Yüksek gerilim seviyesinden sisteme bağlanacak olan güneş enerji sistemlerinde invertör çıkışlarından sonra gerilim, transformatör yardımı ile YG seviyesine yükseltildikten sonra transformatörün YG çıkışlarından itibaren YG kablolar kullanılır. Şekil 6.5'te YG kablo örneği gösterilmiştir.



Şekil 6.5. YG kablolar

6.5. Güneş Enerji Santrali Ana Dağıtım Panosu

Güneş enerji sistemlerinde sistemin ana kontrol noktası olarak ana dağıtım panosu gösterilebilir. Bu panolarda sistemde kullanılan invertörlerin şalterleri, şebeke izleme (loss of main) rölesi, kaçak akım rölesi, ana şalter gibi ekipmanlar bulunur. Bu ekipmanlardan ise aşağıda açıklanmıştır.

Ana Şalter: Sistemin şebeke ile bağlantısını sağlayan koruma ekipmanıdır. Bu şalterin termik ve manyetik koruma yapması istenir. Sistemde oluşan bir sorunda bu şalter sistemin şebeke ile bağlantısını koparır.

Invertör Şalterleri: Bu şalterler invertörlerin ayrı ayrı şebeke ile bağlantısının kesilmesini sağlar. Sistemde birden fazla invertör bulunduğu bir adet invertörde çalışma yapılacağı zaman tüm santralin enerjisinin kesilmesi yerine sadece çalışma yapılacak invertörün şalteri kapatılarak üretim kaybı engellenir.

Şebeke İzleme Rölesi: Bu röle adalanma rölesi olarak da geçer. Röle, şebeke bağlantılı sistemlerde kullanılır. Şebekede enerji kesildiğinde, frekans değişimi olduğunda veya şebeke geriliminde dalgalanma olduğunda oluşabilecek olumsuz etkileri engellemek adına sistem ile şebekenin bağlantısını şalter yardımı ile keser.

Kaçak Akım Rölesi: Kaçak akım rölesi sürekli olarak faz ve nötr den geçen akımın kontrolünü sağlar. Akımın faz ve nötr arasında belirlenen değerden daha yüksek bir seviyeye ulaşması durumunda sistemi şebeke bağlantısından koparır. Şekil 6.6'da GES panosu gösterilmiştir.



Şekil 6.6. GES panosu ve koruma ekipmanları

6.6. Transformator

Güneş enerji sistemlerinde genellikle hermetik tip transformator kullanılır. Hermetik tip transformatorler hava almayan vakumlu bir şekilde kazanın içerisinde bulunur. Kazanın içerisinde hava almadığı için yağ, nemden etkilenmediği gibi oksitlenme gibi durumlar da yaşanmaz. Bu transformatorler diğer transformatorlere kıyasla daha küçük boyutta olması sebebi ile kullanım alanı daha küçüktür. Güneş enerji sistemlerinde transformator, invertörlerden gelen 400 V AC enerjiyi dağıtım şirketinin kullandığı işletme gerilimine (15.8 kV, 31.5 kV, 34.5 kV) göre yükselterek şebekeye bağlamayı sağlar. Şekil 6.7’de bir transformator örneği gösterilmiştir.



Şekil 6.7. Transformatör

6.7. SCADA Panosu

SCADA panosunda bulunan RTU (Remote Terminal Unit) cihazı güneş enerji sistemlerinde bulunan verileri toplayıp bu verilerin modem aracılığıyla SCADA sistemlerine aktarılmasını sağlar. SCADA sisteminde bulunan temel ekipmanlar RTU ve modemdir. Şekil 6.8’de SCADA panosu gösterilmiştir.



Şekil 6.8. SCADA panosu

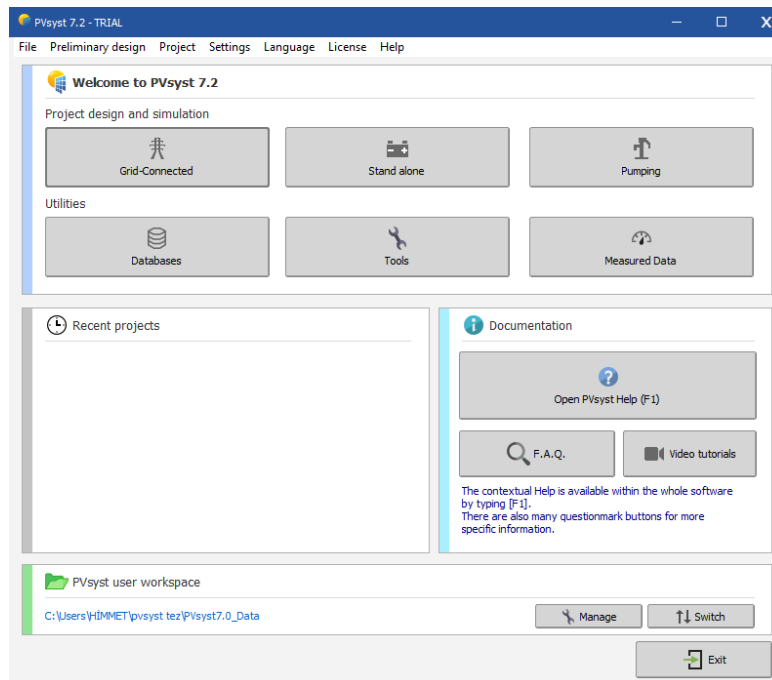
7. MATERYAL ve YÖNTEM

7.1. Santral Tasarımında Kullanılan Simülasyon Programları

Güneş enerji santrallerinin kurulumu öncesinde ne kadar üretim yapacağını ve ne kadar ışınım alacağını önceden tahmin edebilmek için geliştirilmiş çeşitli simülasyon programları mevcuttur. Bu tez çalışmasında PVsyst ve PV*SOL simülasyon programları kullanılmıştır. Bu programlar piyasada çeşitli firmaların kullandığı en popüler yazılımlardır.

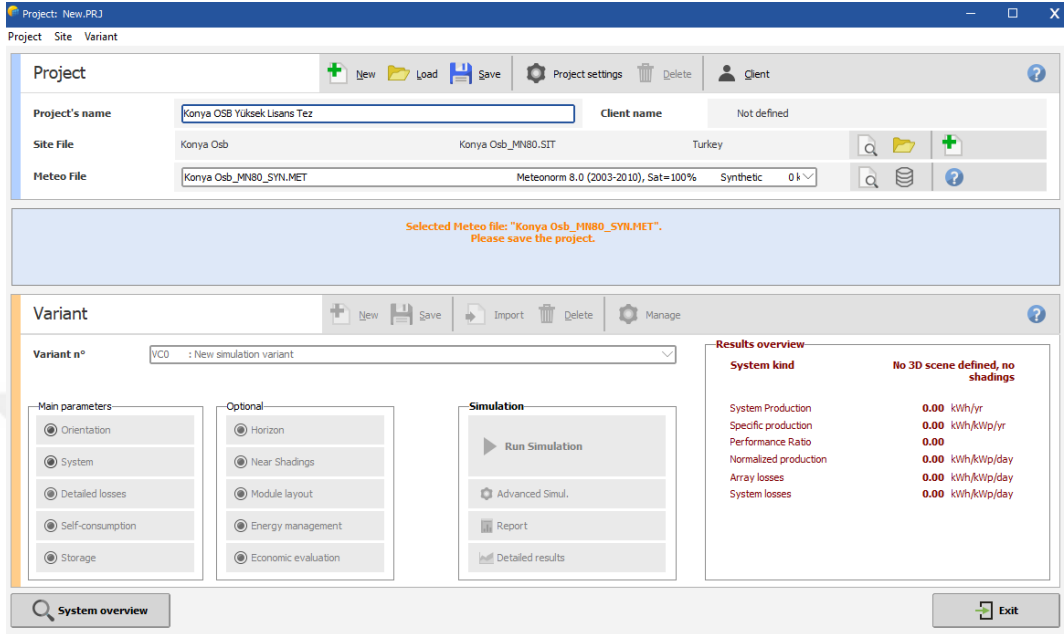
7.1.1. PVsyst simülasyon programı

PVsyst programı, İsviçre Cenevre Üniversitesi tarafından geliştirilmiş olan şebeke bağlantılı veya şebeke bağlantısız güneş enerji sistemlerinin tasarımında kullanılabilen simülasyon programıdır. Bu yazılım sayesinde kurulacak olan santralin kurulmadan önce kurulum yapılacak yerin aylık güneşlenme süreleri, saatlik ışınım verileri kullanılarak santralin performans tahminlerini gerçekleştirir. PVsyst programının açılış ekranı Şekil 7.1'de gösterilmiştir. Bu ekranda şebeke bağlantılı, şebeke bağlantısız, pompa sistemlerinin tasarımının seçimleri bulunmaktadır.



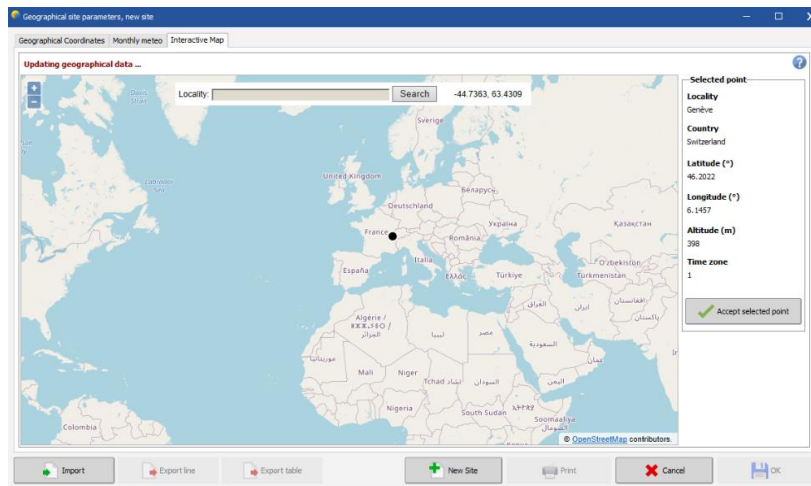
Şekil 7.1. PVsyst açılış ekranı

Bu ekranda seçimler gerçekleştirilip Şekil 7.2’de proje bilgileri ekranına geçilir. Bu sayfada proje bilgileri girildikten sonra meteorolojik bilgilerin seçileceği meteo files seçeneğinden santralin kurulacağı yerin konum bilgileri seçilir.



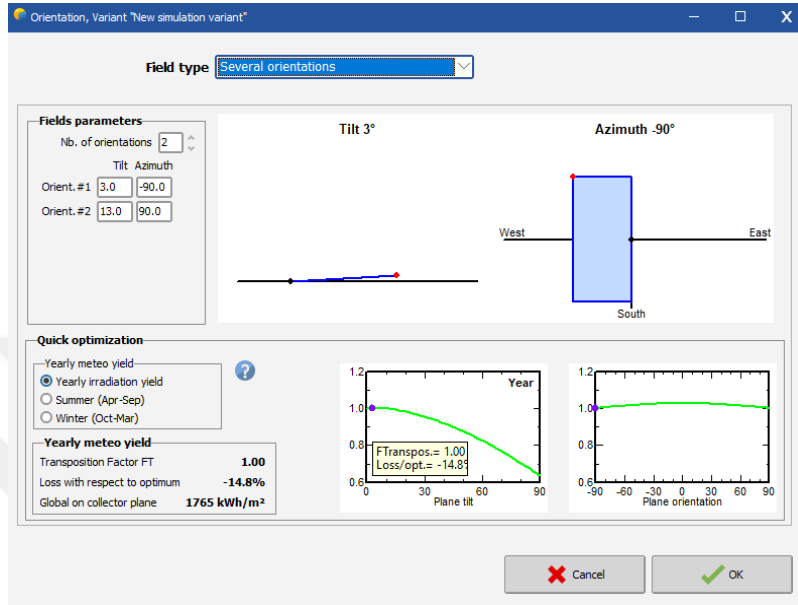
Şekil 7.2. Proje bilgileri ekranı

Bu ekranda kurulum yapılacak yerin kayıtlı bir meteorolojik verisi bulunmuyor ise meteo database kısmına girilerek açılan ekranda geographical sites kısmından yeni veri ekleme kısmına girilir. Bu kısımda açılan ekran Şekil 7.3’te gösterilmiştir. Bu ekranda Interactive map kısmından kurulum yapılacak nokta seçilerek simülasyon için gereken meteorolojik verinin belirlenmesi tamamlanır.



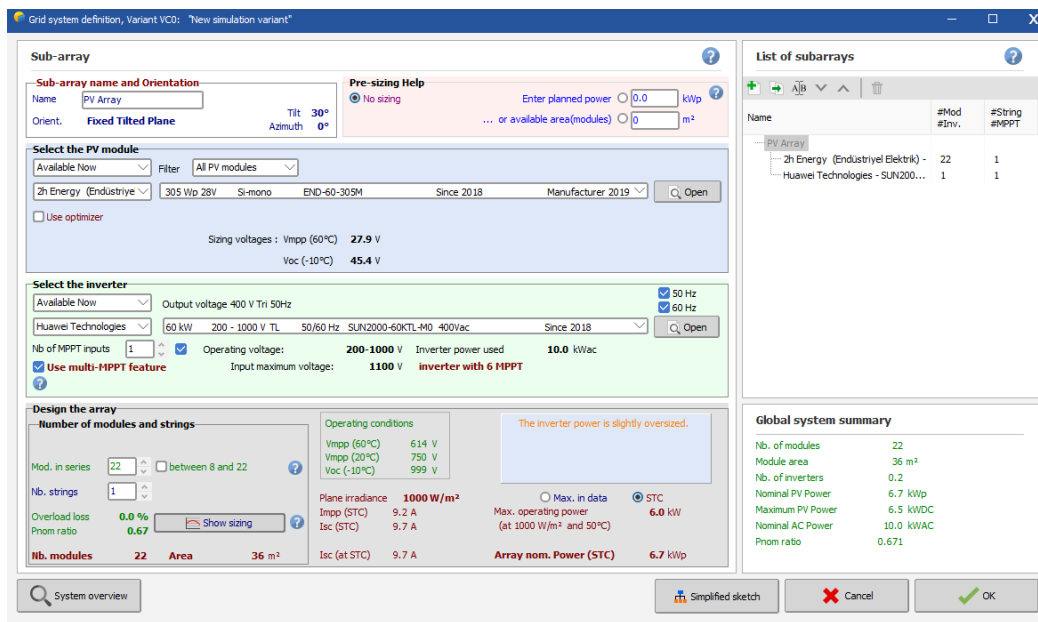
Şekil 7.3. Meteorolojik veri sayfası

Meteorolojik verinin belirlenmesi tamamlandıktan sonra variant kısmından orientation seçilerek paneller açılı yerleştirilecek ise bu veriler açılan ekranda belirlenmiş yerlere girilir. Bu ekran Şekil 7.4'te gösterilmiştir.



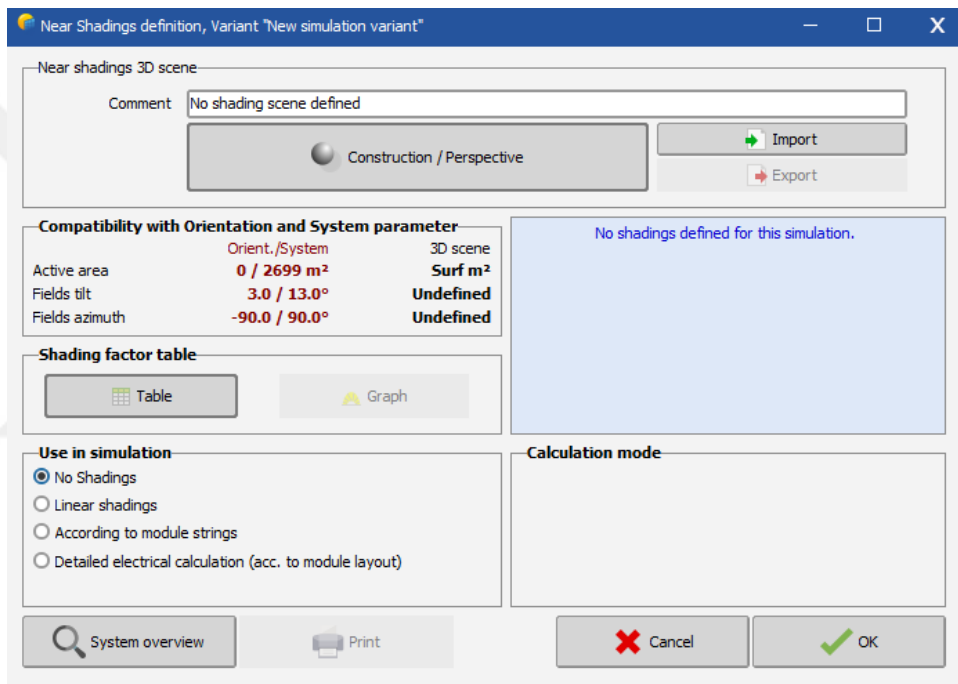
Şekil 7.4. Panel açısı belirleme ekranı

Veriler girildikten sonra system kısmına girilerek Şekil 7.5'te görüldüğü gibi kullanılacak olan panel ve invertörler seçilir.

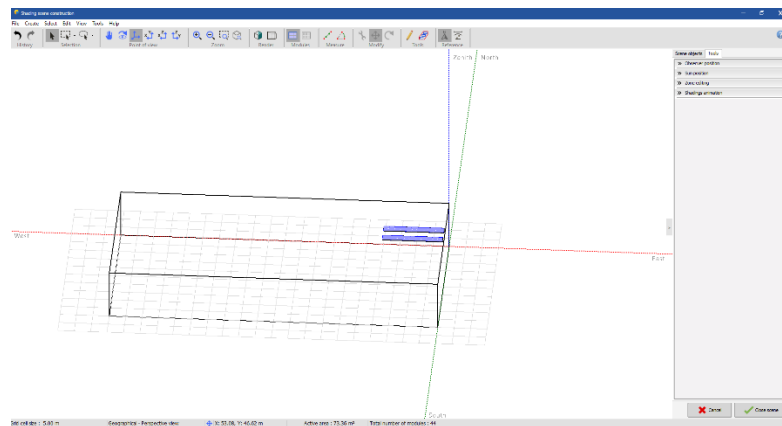


Şekil 7.5. Panel ve invertör seçim ekranı

Gerekli ekipmanlar seçildikten sonra Design Array kısmında bir dizi'de kaç panel bulunması gerektiği belirtilmelidir. Bu bilgileri yazdıktan sonra Pre-sizing Help kısmından panel sayısı veya toplam gücü belli ise toplam DC gücü yazarak santralde toplam kaç dizi olduğu ve ne kadar alan kaplayacağı hesaplatılabilir. Bu işlemler tamamlandıktan sonra Şekil 7.6'da görüldüğü gibi near shading kısmında bulunan construction kısmından kurulacak bina çatısı, arazi gibi yerlerin modellenmesi yapılabilir. Construction kısmında çatı üstü sistem için uygun ölçülere göre bina çizimi tamamlandıktan sonra çatı üstüne paneller eklenerek kurulacak sistemin 3 boyutlu tasarımı tamamlanır. 3 boyutlu olarak tasarlanmış görüntü Şekil 7.7'de gösterilmiştir.



Şekil 7.6. Gölgeleme ve bina çizim sayfası

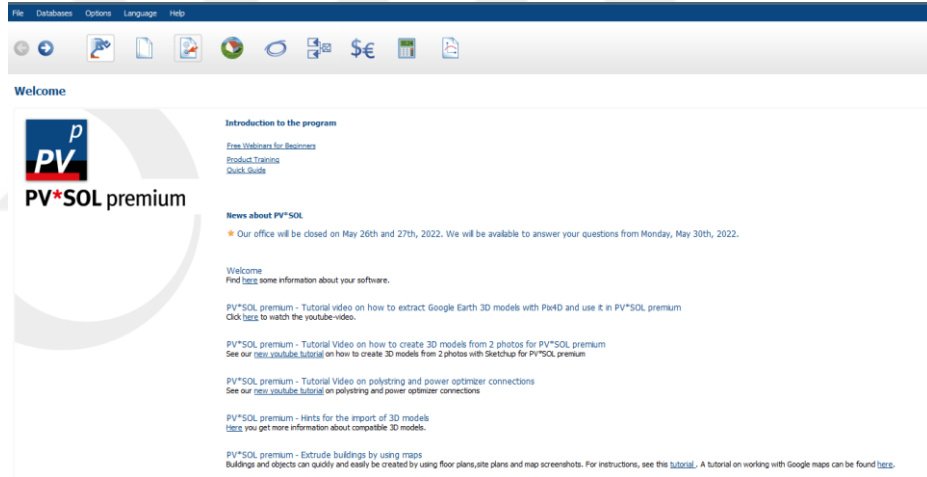


Şekil 7.7. 3 Boyutlu modelleme

7.1.2. PV*SOL simülasyon yazılımı

PV*SOL yazılımı, Alman firması olan Valentin Software tarafından üretilmiştir. PV*SOL, şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemler için kullanılabilen bir yazılımdır. Bu yazılımda MeteoSyn adı verilen iklim veri tabanı kullanılmaktadır. Bu veri tabanında haritadan santralin kurulacağı nokta seçilerek iklim verileri eklenebiliyor. Piyasada bulunan çoğu fotovoltaik modül ve invertörlerin teknik bilgilerini içeren geniş bir veri tabanı yazılım içerisinde bulunmaktadır. Bu veri tabanında bulunmayan modül ve invertör manuel olarak eklenebilir. Tasarlanmak istenen santrallerin 3 boyutlu tasarımı da yapılabilmektedir. Bu durum da görsel olarak projeyi zenginleştirmektedir.

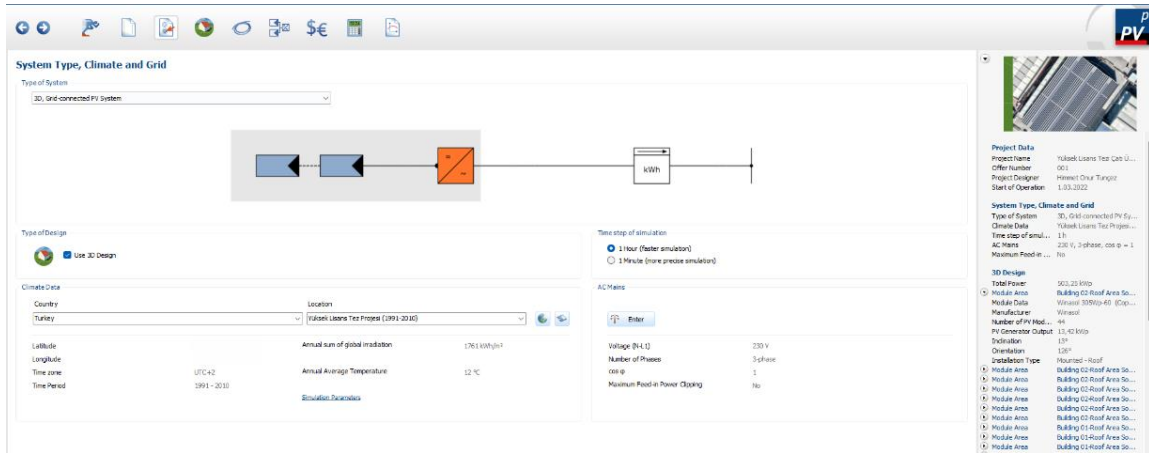
PV*SOL yazılımı diğer yazılımlara göre daha sade bir tasarıma sahiptir (Shagea, 2021). Yazılımın açılış arayüzünde toplam 9 adet sekme bulunmaktadır. Giriş sayfası Şekil 7.8’de gösterilmiştir.



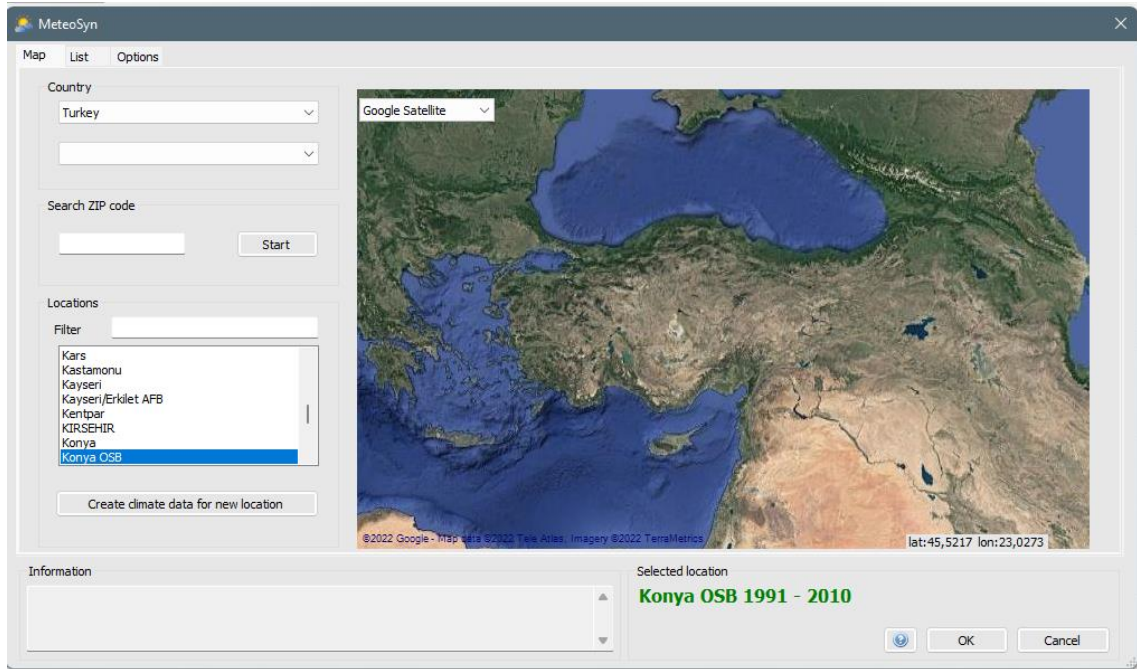
Şekil 7.8. Açılış ekranı

Projeye başlangıç kısmında ikinci sekmede proje bilgileri bulunmaktadır. Bu ekranda müşteri bilgileri ve proje bilgileri girilir.

Giriş sayfasında bulunan üçüncü sekmede sistem tipleri, iklimlendirme ve şebeke bilgileri bulunmaktadır. Sistem tiplerinde şebeke bağlantılı ve şebeke bağlantısız hazır seçenekler bulunmaktadır. Burada istenilen santral tipi seçeneği seçimi yapılır. Aynı sayfada meteorolojik bilgi seçimi yapılır. Bu ekran Şekil 7.9’da gösterilmiştir. Burada hazır seçenekler mevcuttur. Eğer mevcut seçeneklerde istenilen konum yok ise yeni bir konum eklenerek meteorolojik veri seçilir. Bu ekran Şekil 7.10’da verilmiştir. Aynı sayfada AC gerilim seviyesi seçimi de yapılabilir.

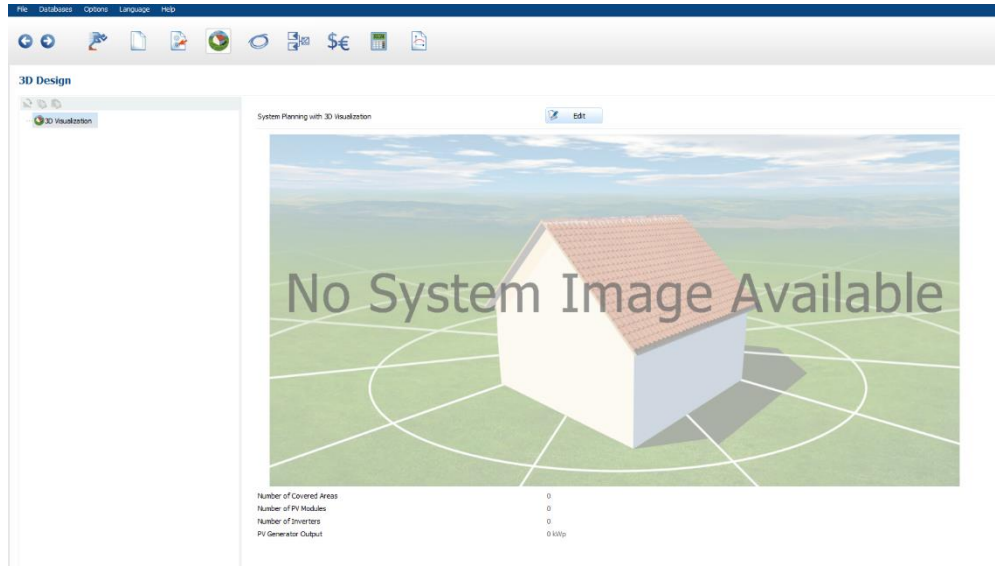


Şekil 7.9. Santral konum sayfası

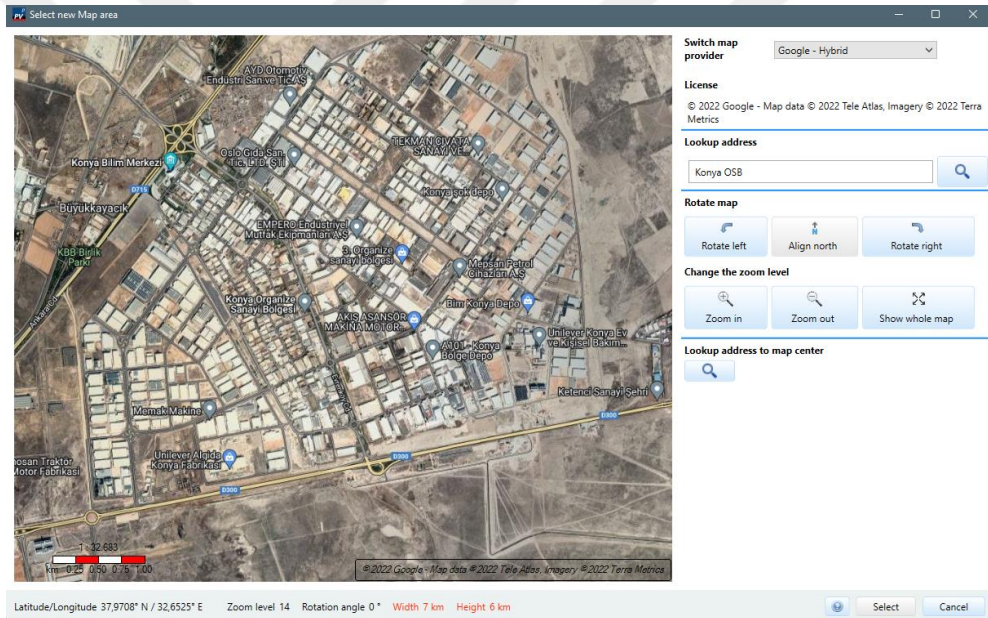


Şekil 7.10. Meteorolojik veri için konum seçimi

Meteorolojik veri, santral tipi ve AC şebeke gerilimi seçildikten sonra dördüncü sekmede santralin modellenme kısmına geçilir. Bu ekran Şekil 7.11’de gösterilmiştir. Sayfada bulunan edit’e girilerek santralde arazi tipi, çatı üstü, hazır modeller ve uydu görüntüsünden konum seçme gibi seçenekler seçilerek modelleme kısmına geçilir. Bu ekran Şekil 7.12’de verilmiştir. 3 boyutlu görüntüleme yapılırken kurulacak olan santralin gerçekte nasıl gözükeceğini gözlemleyebilmek için map section seçeneği seçilmelidir. Bu ekranda konum seçilerek proje altlığı seçilir.

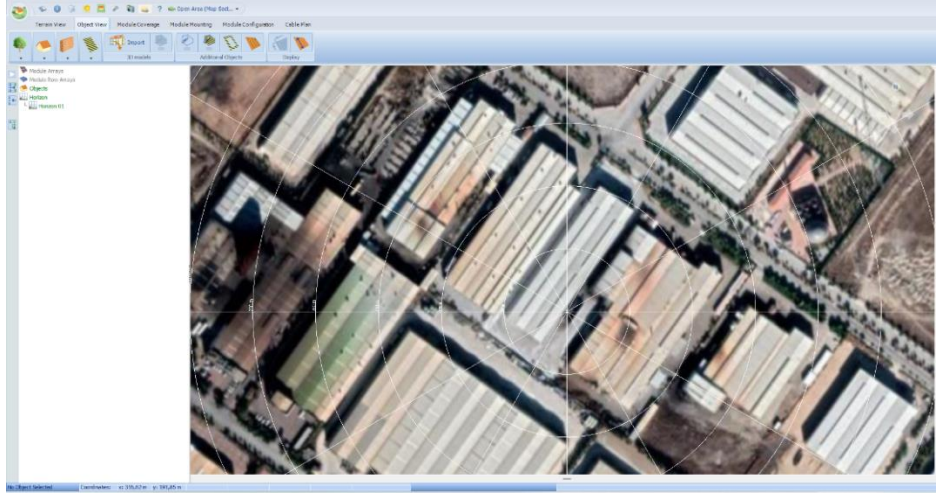


Şekil 7.11. 3 boyutlu modelleme sayfası



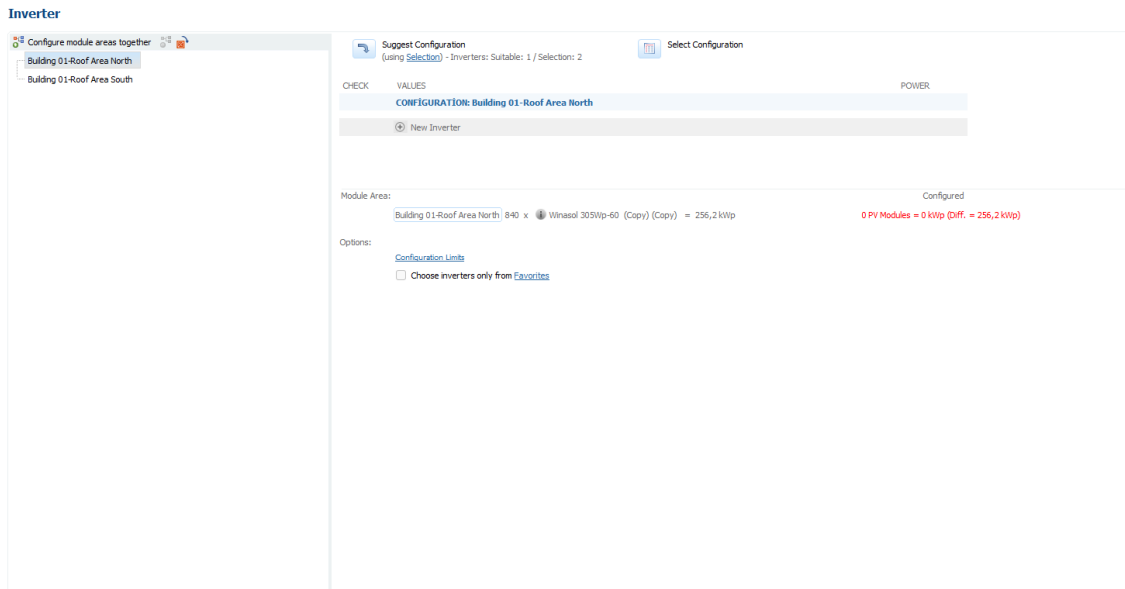
Şekil 7.12. Proje altlığı seçim ekranı

Proje altlığı seçimi yapıldıktan sonra çatı üstü güneş enerji sistemleri için bina çizimi yapılır. Şekil 7.13’de görülen bu ekranda 6 adet sekme bulunmaktadır.



Şekil 7.13. Modelleme ekranı

Bu sekmelerde bulunan object view kısmında hazır olarak bina yapıları bulunmaktadır. Buradan en uygun yapı seçilerek istenilen biçimde düzenlenir. Bina düzenlemesi tamamlandıktan sonra çatı üstü panel yerleşimi adımında açılı yerleşim için modul mouting açısız yerleşim için module coverage sekmelerinde panel seçimi yapılır. Panel yerleşimi uygun olarak tamamlandıktan sonra module configuration kısmına geçilir. Bu ekran Şekil 7.14’de gösterilmiştir.



Şekil 7.14. Konfigürasyon ekranı

Bu ekranda invertör seçimi yapılması gerekmektedir. Yazılımın veri tabanında bulunan invertörlerden istenilen invertör seçimi yapılır. Bu ekran Şekil 7.15’de gösterilmiştir.

Selection	Suitable	Favorite	Company	Name	Version	User ID	Nom. DC Voltage in V	AC Power Rating in kW	Count of MPPT Trackers Type 1	Min. Input Voltage MPPT tracker type 1 in V	Max. Input Voltage MPPT tracker type 1 in V
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ACE Ingen	ACE 1001	2		400	12	1	300	420
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ACE Ingen	ACE 2001	2		400	20	1	300	420
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ACE Ingen	ACE 2501	2		400	25	1	300	420
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ACE Ingen	ACE 3001	2		400	30	1	300	420
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ACE Ingen	ACE 4001	2		400	40	1	300	420
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ACE Ingen	ACE 4501	2		400	45	1	300	420
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ACE Ingen	ACE 5001	2		400	50	1	300	420
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ACE Ingen	ACE 8001	2		400	80	1	300	420
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Active En	Z1105-Energy-Box	1		600	4	2	190	680
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Active En	Z1105-Energy-Box	1		600	6	2	280	680
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Active En	Z1105-Energy-Box	1		600	8	1	290	680
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Active En	Z1105-Energy-Box	1		600	5	2	240	680
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Active En	Z1105-Energy-Box	1		600	7	1	280	680
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Active En	Z1105-Energy-Box	1		600	12	4	280	680
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Active En	Z1105-Energy-Box	1		600	14	2	280	680
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Active En	Z1105-Energy-Box	1		600	16	2	290	680
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Active En	Z1105-Energy-Box	1		600	9	4	190	680
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Active En	Z1105-Energy-Box	1		600	10	4	240	680
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Active En	Z1105-Energy-Box	1		600	18	8	280	680
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Active En	Z1105-Energy-Solu	1		600	28	4	280	680
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Active En	Z1105-Energy-Solu	1		600	21	3	280	680
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Active En	Z1105-Energy-Solu	1		600	32	4	280	680
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Active En	Z1105-Energy-Solu	1		600	40	5	290	680

Şekil 7.15. İnvörtör seçim ekranı

Uygun invertör seçildikten sonra dizi dağılımları yapılır. Bu işlem tamamlandıktan sonra proje tamamlanmış olup raporlama kısmına geçilir. Yazılım sayesinde üretim, enerji, bilanço tabloları ve kayıpları rapor haline dökülebilmektedir (Ceylan, 2018).

8. MEVCUT GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI VE ANALİZİ

Bu tezde örnek olarak ele alınacak santral Konya Organize Sanayi Bölgesinde (OSB) bulunan bir fabrikanın çatısına kurulan güneş enerji santralidir. Santralin teknik ve konum bilgileri Çizelge 8.1 ve Çizelge 8.2’de görüldüğü gibidir.

Çizelge 8.1. Santral bilgileri

Santral İl/İlçe	Konya / Selçuklu
Santral Kurulu Güç	503 kWp / 540 kWe
Santral Tipi	Çatı Tipi

Çizelge 8.2. Santral teknik bilgileri

Modül	Winasol 305 Wp
Invertör	Huawei 60 KTL-M0
Açı	Çift Yüzey / Kuzey 3° Güney 13°

Santral, AC gücü 540 kWe, DC gücü ise 503 kWp olan bir çatı üstü güneş enerji santralidir. Bu santralde maksimum aktif gücü 305 W olan paneller kullanılmıştır. Kullanılan panel sayısı 1650 adettir. Çatı üstünde paneller iki farklı açı ile kullanılmıştır. Bu açılar kuzey yönüne doğru 3 derece, güney yönüne doğru 13 derece olarak montaj edilmiştir. Bu uygulama ile yıl içerisinde daha fazla güneş ışınını elektrığe çevirmesi ön görülmüştür.

Santralde fotovoltaik panellerden gelen doğru akımın (DC) şebekede kullanılabilir hale getirebilmek için ilk olarak alternatif akıma (AC) çevrilmesi gerekmektedir. Bunun için çıkış gücü 60 kW olan string (dizi) invertörlerden toplam 9 adet kullanılmıştır. Bu invertörlerin çıkış gerilimi 400 V’dur (AC). Bu invertörlerde üretilen enerjiyi şebekeye iletebilmek adına uygun şebeke gerilimine ayarlamak için fabrikanın transformatör binasında bulunan transformatör yardımı ile şebeke gerilimi olan 31.5 kV’a yükseltilerek şebeke bağlantısı gerçekleştirilir. Fotovoltaik modül maksimum çalışma gerilimi 1000 V (DC) olarak belirlenmiştir. Kullanılan invertörler maksimum gücünde ise 66 kW’a kadar çıkış verebilmektedir. Aşağıda bulunan Çizelge 8.3 ve Çizelge 8.4’te santralde kullanılan fotovoltaik modül ve invertörlerin teknik bilgileri verilmiştir.

Çizelge 8.3. Modül teknik bilgileri

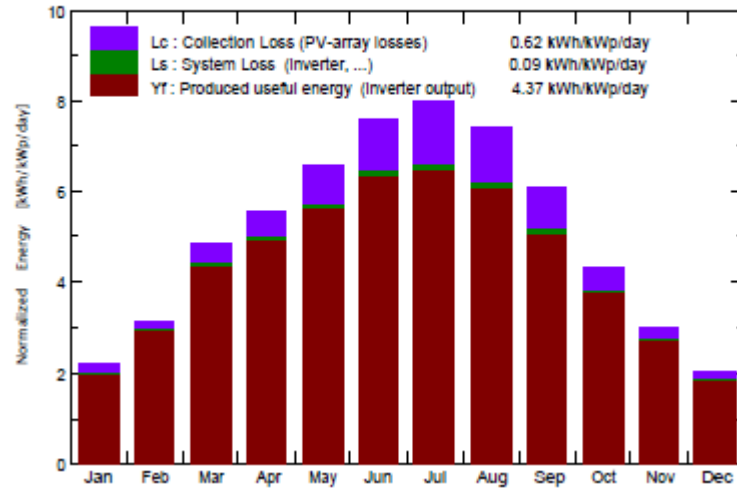
Maksimum Güç	Pmax [W]	305
Modül Verimi	%	18.63
Maksimum Güç Noktası Akımı	Imp [A]	9.30
Kısa Devre Akımı	Isc [A]	9.83
Maksimum Güç Noktası Gerilimi	Vmp [V]	32.8
Açık Devre Voltajı	Voc [V]	40.3
Ölçü	mm	1649*902*35
Ağırlık	Kg	18
Maksimum Sistem Voltajı	[V]	DC 1000/1500 V
Çalışma Sıcaklığı	°C	-40 / +85
Sıcaklık Katsayısı (Akım,Isc)	[%/K]	0.07
Sıcaklık Katsayısı (Gerilim,Uoc)	[%/K]	-0.36
Sıcaklık Katsayısı (Güç,Pmpp)	[%/K]	-0.38

Çizelge 8.4. İntvertör Teknik Bilgileri

Maks. Verimlilik	%	98.6
Maks. DC Güç	[W]	67400
Maks. Giriş Voltajı	[V]	1100
MPPT Başına Maks. Akım	[A]	22
MPPT Başına Maks. Kısa Devre Akımı	[A]	30
Başlangıç Voltajı	[V]	200
MPPT Çalışma Gerilimi Aralığı	[V]	200 ~ 1000
Nominal Giriş Gerilimi	[V]	720
Giriş Sayısı		12
MPPT Sayısı		6
AC Anma Aktif Güç	[W]	60000
Maks. AC Görünür Güç	[VA]	66000
Maks. AC Aktif Güç (cosφ=1)	[W]	66000
Nominal Çıkış Gerilimi	[V]	220 / 380, 230 / 400
Nominal Çıkış Akımı	[A]	86.7 A @400 V
Maks. Çıkış Akımı	[A]	95.3 A @400 V
Boyutlar	mm	1075 x 555 x 300
Ağırlık	kg	74
Çalışma Sıcaklığı Aralığı	°C	-25/+ 60
MPPT Min. Giriş Voltajı	[V]	200
MPPT Maks. Giriş Voltajı	[V]	1000

Santralin kurulumu öncesi PVsyst yazılımında yapılmış olan yıllık üretim tahmini 802.2 MWh/yıl olarak belirtilmiştir. Şekil 8.1’de aylara göre üretim ve kayıplarına ilişkin bilgiler görülmektedir.

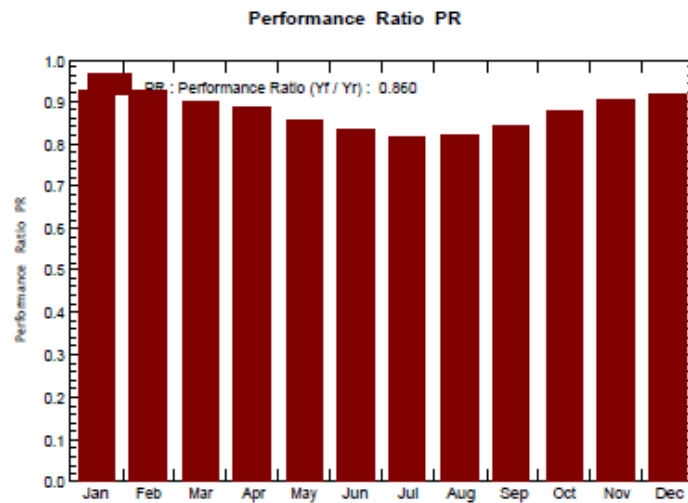
Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 503 kWp



Şekil 8.1. Aylık kayıplar ve üretim değerleri (kWp başı)

Santralin kurulumudan önce PVsyst yazılımında yapılan simülasyonda yaz aylarında en fazla üretimin olduğu görülmüştür. En fazla kaybın da aynı zamanda yaz aylarında olduğu görülmüştür.

Şekil 8.2’de santralin performans oranı (PR) verilmiştir. PR değeri incelendiğinde yaz aylarının PR değerinin kış ve sonbahardakine göre daha düşük olduğu görülmüştür. Santralde kullanılan modül ve invertörlerin sıcaklığa bağlı olarak verimliliklerinin düşmesinin buna sebep olduğu düşünülmektedir. Güneş enerji santrallerinde gökyüzünde bulutun olmadığı, güneşin tepede ve havanın serin olduğu durumlarda üretimin maksimum seviyede olduğu görülmüştür.



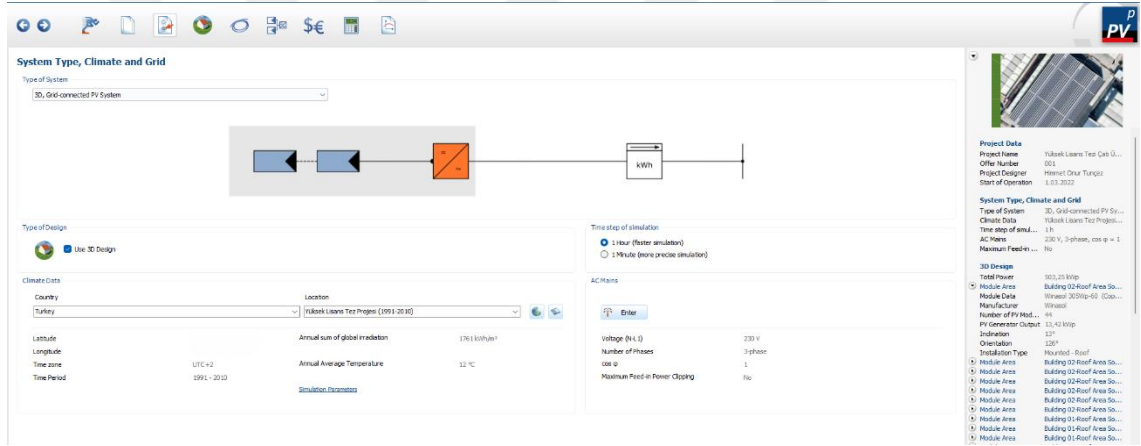
Şekil 8.2. Santral performans oranı

Santralin özgül kazancı ise simülasyon sonucunda 1594 kWh/kWp/yıl çıkmıştır. Yıllık radyasyon miktarı ise 1794.5 kWh/m², yıllık performans oranı ise %86.0 olarak çıkmıştır.

8.1. Mevcut Santralin PV*SOL Yazılımında Tasarım Aşamaları

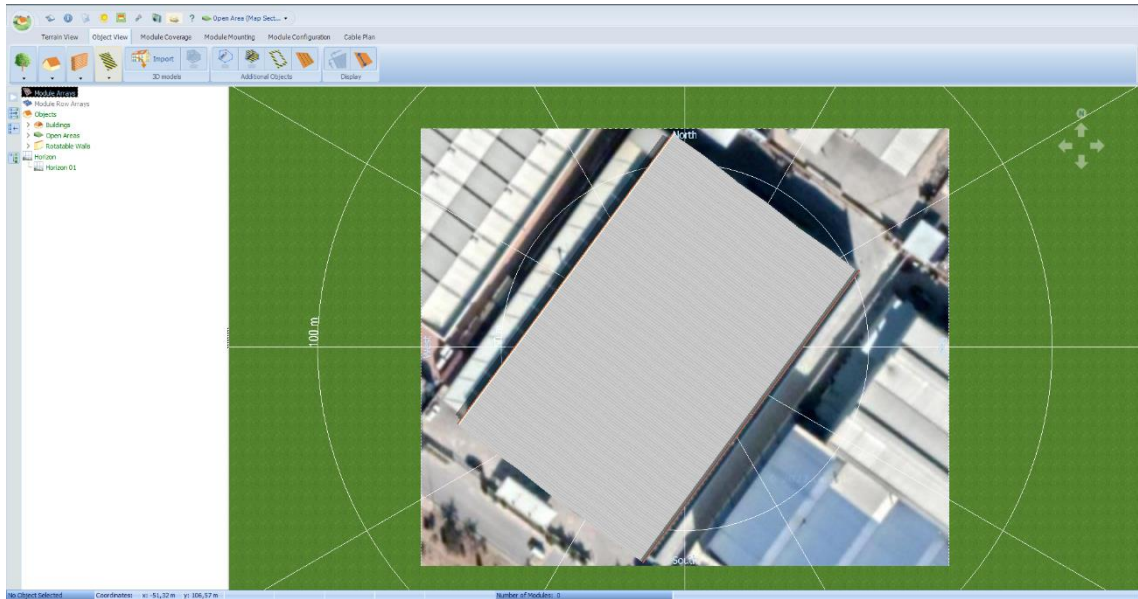
Santralin tasarımı kurulumdan önce PVsyst yazılımında yapılmış olup başka bir simülasyon programı olan PV*SOL yazılımında tekrar yapılmıştır.

Santral ve müşteri bilgileri girildikten sonra kurulacak sistemin tipi yani şebeke bağlantılı sistem seçilir. Bu sayfada santralin konum bilgileri seçilerek ilgili konum iklim verileri belirlenir. Sistemin şebeke gerilimi üç faz olarak seçilir. İlgili yazılımda seçimlerin yapıldığı ekran Şekil 8.3’de gösterilmiştir.



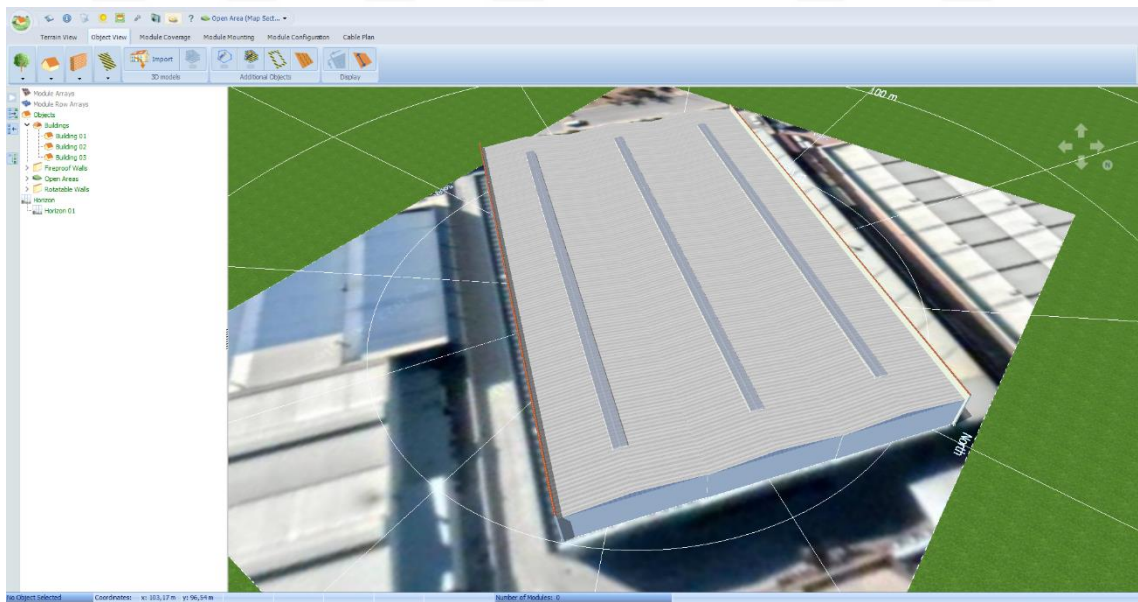
Şekil 8.3. Santral iklim bilgileri ve şebeke bilgileri sayfası

3 boyutlu olarak santralin kurulumunun yapılacağı yer seçilmiş olup kurulum yapılacak yer seçilmiştir. Kurulum yapılacak yerin mimari projesinden bina ölçüleri alınarak uygun ölçülerde fabrika binası çizilir. Bina çizimi yapılırken mimari projede bina çatı eğimi 6° olarak gösterilmiş olup modelleme yapılırken de bu değer göz önüne alınır. Yapılan çizim Şekil 8.4’de gösterilmiştir.



Şekil 8.4. Fabrika binasının üç boyutlu tasarımı

Bina çizimi yapıldıktan sonra mimari projeye göre çatı üstünde bulunan gölge unsurları (Parapet, baca, havalandırma sistemi, aydınlatma) projeye göre aynı yerlere yerleşimleri yapılır. Bu santralin mimari projesinde bulunan gölgelendirme unsurlarının yerleştirilmiş halinin görüntüsü Şekil 8.5’de gösterilmiştir.



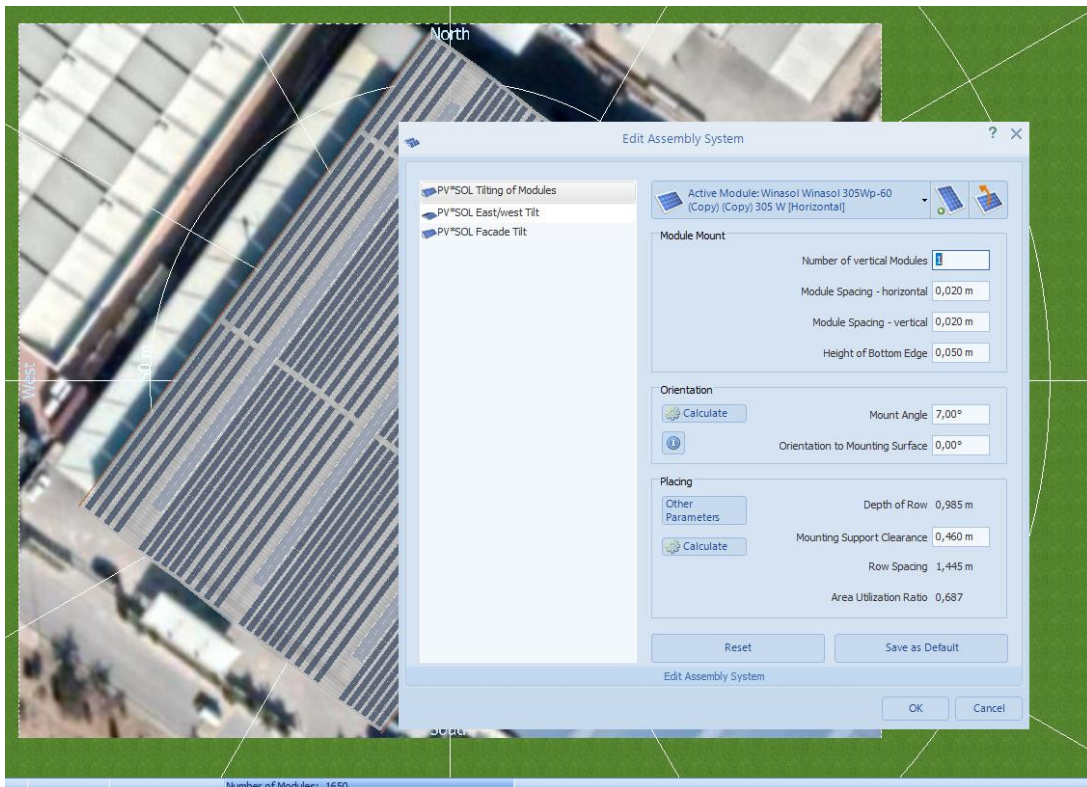
Şekil 8.5. Gölge unsurlu üç boyutlu bina görüntüsü

Santralin üç boyutlu bina çizimi tamamlandıktan sonra mevcutta bulunan santral genel yerleşim projesine göre uygun bir şekilde panel yerleşimi yapılır. Tasarlanan bu santralde toplam 1650 adet 305 watt monokristal Winasol marka panelin yerleşimi

yapılmıştır. Panel yerleşimi yapılırken mevcut yerleşim projesinde bulunan çatıya üzerinde açı verilmiş olan paneller aynı şekilde yerleştirilir. Panellerden güney cephede bulunanlar 13° eğim ile yerleştirilmiş olup kuzey cephede bulunan paneller ise 3° açı yapacak şekilde yerleşimi yapılmıştır. Panel yerleşiminin yapılmış hali Şekil 8.6'da gösterilmiştir. Panellerin açılı yerleştirildiğinin görüntüsü Şekil 8.7'de gösterilmiştir.

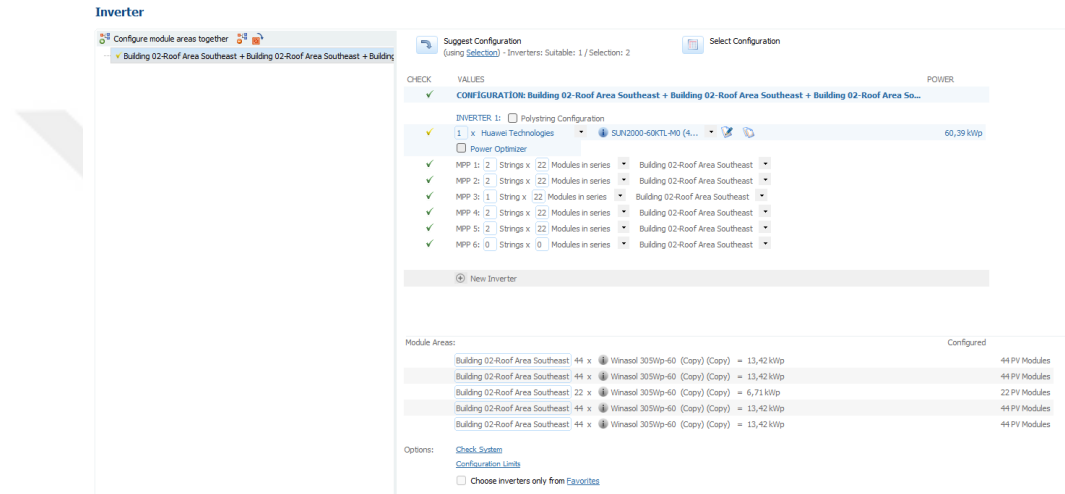


Şekil 8.6. Panel yerleşimi



Şekil 8.7. Panel açıları

Panel yerleşimi mevcutta bulunan projeye göre uygun açı ve sayılarda yerleşimi yapıldıktan sonra projeye göre dizi yerleşimleri yapılır. String (dizi) dizilimleri yapılmadan santralde kullanılan Huawei Sun2000 60 KTL-M0 invertör seçilmiş olup 9 adet invertör kullanılmıştır. Mevcut projeye göre her bir invertörün dizi yerleşimleri yapılır. Dizi yerleşimlerinin invertörlere mevcutta bulunan yapılarına göre seçimler yapılmış olup bu işlemin yapıldığı ekran Şekil 8.8’de gösterilmiştir. Yapılan string (dizi) dizilimleri Şekil 8.9’da gösterilmiştir.



Şekil 8.8. Santral invertör dizileme işlemi



Şekil 8.9. Santral dizi konfigürasyonu

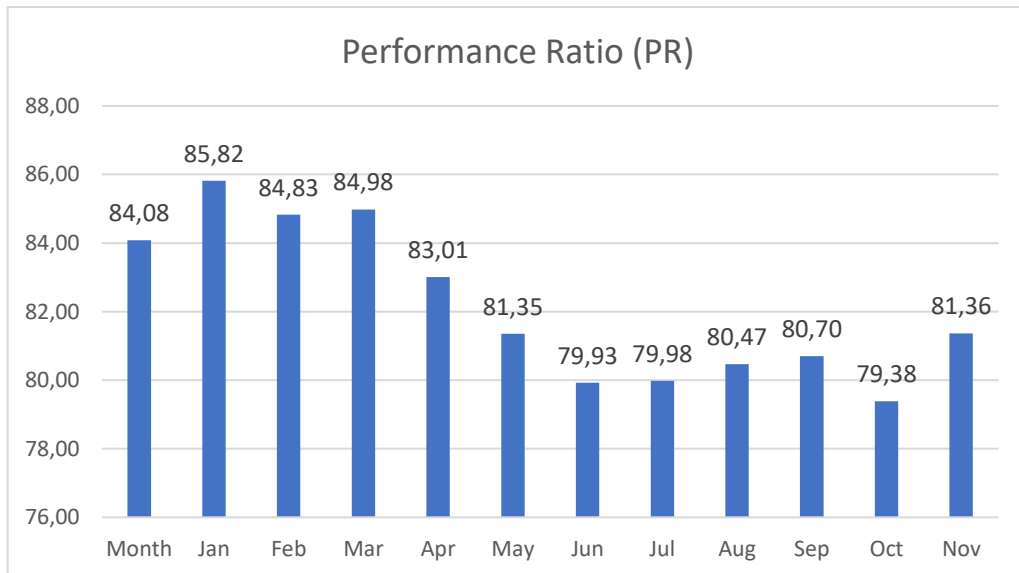
Santral dizi konfigürasyonu tamamlandıktan sonra simülasyon yazılımı üzerinden gölgelendirme analizi yapılır. Analiz tamamlandıktan sonra santralin simülasyon raporu hazır hale getirilir. Ortaya çıkan simülasyon sonucunda oluşması beklenen yıllık üretim değeri 736.668 kWh şeklindedir. Simülasyon raporunda gölgelenmeden kaynaklı olarak yılda %3.5 olarak kayıp olacağı öngörülmüştür. Özgül kazanç ise 1463.62 kWh/kWp/yıl olarak hesaplanmıştır. Şekil 8.10'da rapor sonucunda ortaya çıkan üretim sonuçları gösterilmiştir. Çizelge 8.5'de ise Aylık olarak tahmin edilen radyasyon ve üretim değerleri gösterilmiştir.

Santralin aylık performans oranı Şekil 8.11'de gösterilmiştir. PR değeri yıllık %81.9 çıkmaktadır.

Kazanç

Kazanç	
PV jeneratör enerjisi (AC şebekesi)	736.668 kWh
Şebeke beslemesi	736.668 kWh
Besleme noktasındaki düzenleme	0 kWh
Kişisel Güç Tüketimi	0,0 %
Güneş Enerjisi Oranı	0,0 %
Yıllık Özgül Kazanç	1.463,62 kWh/kWp
Sistem kullanım oranı (PR)	81,9 %
Gölgelemeden dolayı oluşan kazanç kaybı	3,5 %/Yıl
Önlenen CO ₂ emisyonu	346.187 kg/yıl

Şekil 8.10. Simülasyon sonucu yıllık üretim değerleri



Şekil 8.11. PR değeri

Çizelge 8.5. Aylık simülasyon radyasyon ve üretim değerleri

Aylar	Üretilen Enerji [kWh]	Radyasyon Miktarı [kWh/m²]
Jan	31195	67.8
Feb	39928	88.0
Mar	58807	134.7
Apr	67667	158.4
May	84234	203.6
Jun	89371	223.1
Jul	93794	236.6
Aug	87110	216.0
Sep	69588	168.4
Oct	51320	119.6
Nov	35792	82.8
Dec	27860	62.3
Total	736668	1761.2

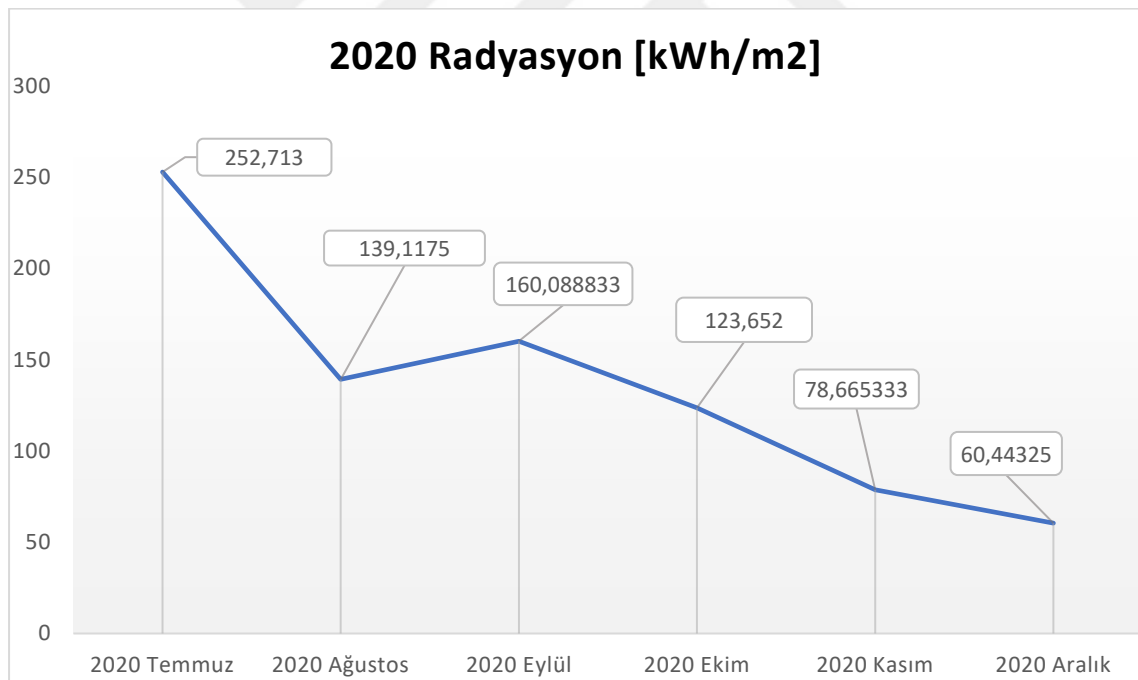
9. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

9.1 Çatı Üstü Güneş Enerji Sistemlerinde Verimliliği Etkileyen Faktörler

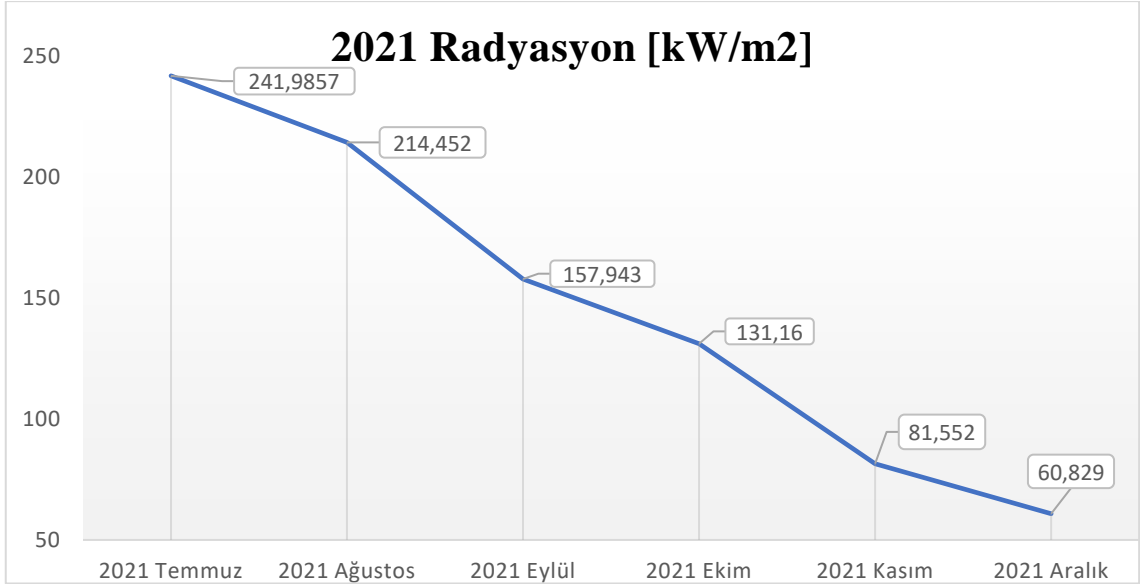
Bir önceki bölümde bahsedilen santralin kurulum işlemi 2019 yılının Ekim ayında tamamlanmıştır. Bu tez çalışmasının amacı doğrultusunda çatı üstü güneş enerji santrallerinde verimliliği etkileyen faktörleri sıralamak gerekirse bunlar;

- Toz, kirlilik
- Gölge unsurları
- Sıcaklık
- Projelendirme hataları

İlgili santralde bulunan piranometre cihazından elde edilmiş 2020 yılı son 6 aya ait radyasyon verisi Şekil 9.1’de görülmektedir. 2021 yılı son 6 aya ait radyasyon verisi de Şekil 9.2’de verilmiştir.

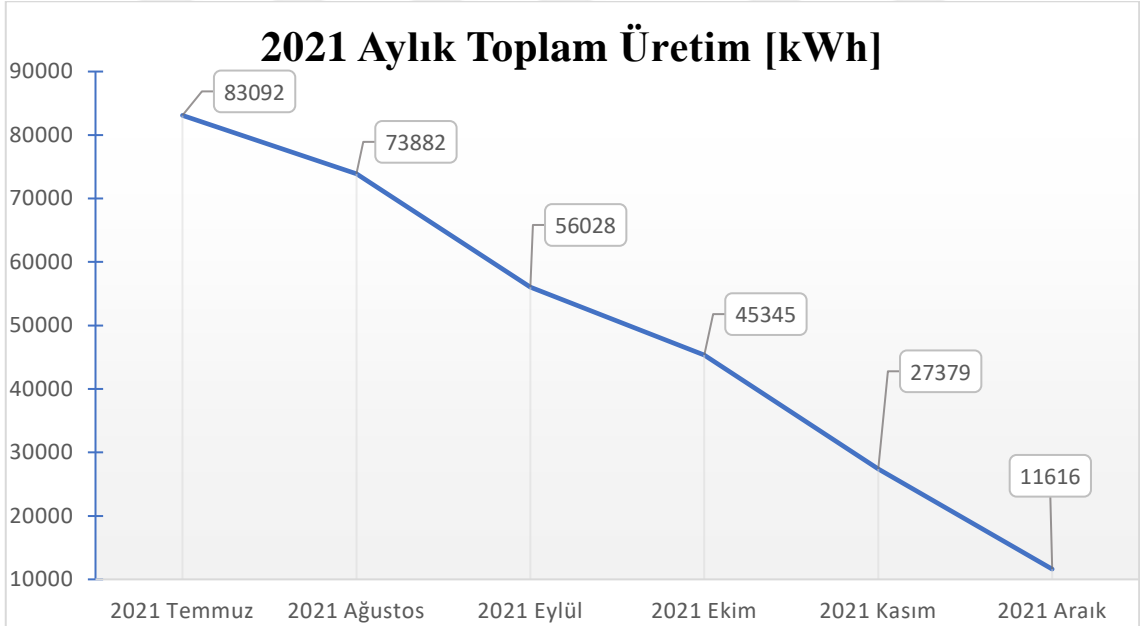


Şekil 9.1. 2020 yılı son 6 ay radyasyon verisi

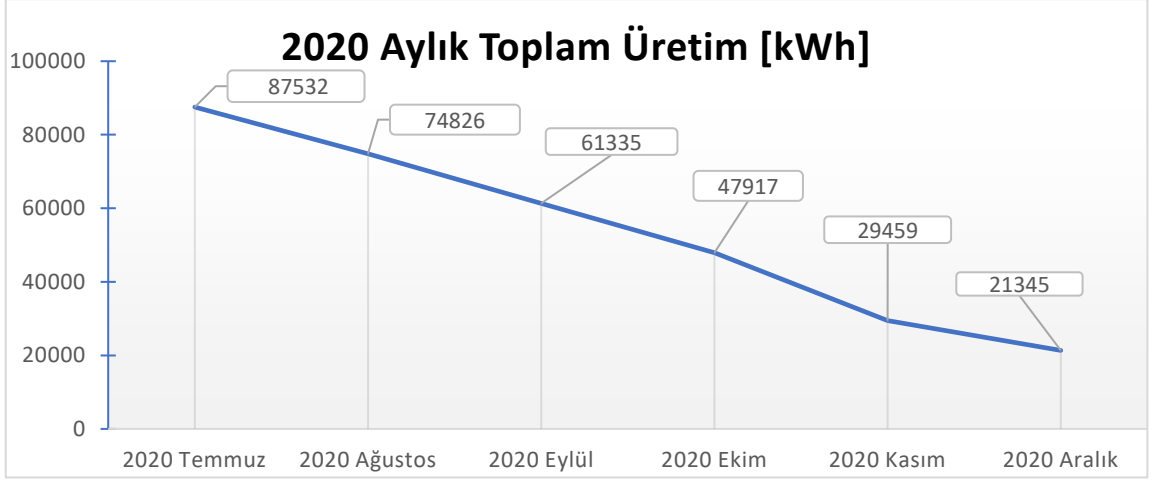


Şekil 9.2. 2021 yılı son 6 ay radyasyon verisi

İki grafik karşılaştırıldığında 2021 yılında 2020 yılından 73.24 kWh/m² daha fazla toplam radyasyon çıkmaktadır. Şekil 9.3'te ve Şekil 9.4'te 2020 ve 2021 yılının son 6 ayında üretilen enerji grafikleri verilmiştir.



Şekil 9.3. 2021 yılı son 6 ay üretim verisi

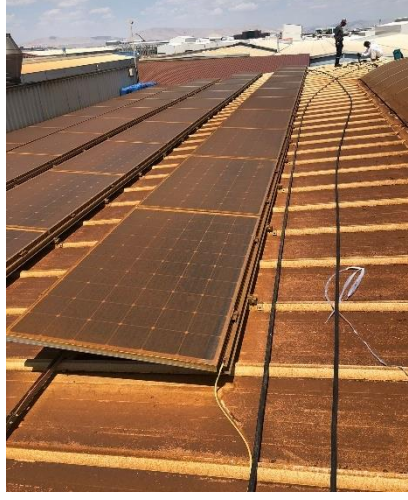


Şekil 9.4. 2020 yılı son 6 ay üretim verisi

İki grafik karşılaştırıldığında 2020 yılında 2021 yılından 25072 kWh kadar daha fazla üretim yapılmıştır. Radyasyon oranının 2021 yılının 2020 yılına göre daha fazla olmasına rağmen 2021 yılında daha az üretim olmuştur. Santralde 2020 ile 2021 arasında kurulu güçte veya üretimi etkileyecek herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Şekil 9.5, Şekil 9.6, Şekil 9.7 ve Şekil 9.8’de santralde bulunan panellerin kirlilik düzeyi gösterilmiştir.



Şekil 9.5. 2020 kasım ayı panel kirlilik düzeyi



Şekil 9.6. 2021 kasım ayı panel kirlilik düzeyi



Şekil 9.7. 2020 kasım ayı panel kirlilik düzeyi



Şekil 9.8. 2021 kasım ayı panel kirlilik düzeyi

Santrale 2020 yılında daha az ışınım gelmesine rağmen 2021 yılına göre daha fazla üretim olmasının en büyük sebebi olarak panel yüzeyinde oluşan kirlilik miktarının artışı söylenebilir.

9.1.1. Panel temizliğinin etkisi

Panellerin kirli olması durumunda güneş enerji santrallerinin veriminin düşeceği bilinmektedir. Bundan dolayı panellerde kirlenmenin yoğunlaştığı gözlemlendiğinde panellerin temizlenmesi gerekliliği ortaya çıkabilmektedir. Analizi yapılan çatı üstü güneş enerji santralının panelleri kirlendiği için yıkama işlemi yapılmıştır. Panel temizliğinin enerji üretimine etkilerini görebilmek adına yıkamadan önceki 15 günlük (1-15 Mayıs 2022) ölçümler ve yıkama tamamlandıktan sonraki 15 günlük (1-15 Haziran 2022) ölçümler kaydedilmiş ve Çizelge 9.1’de verilmiştir.

Yıkamadan önceki dönem dikkate alındığında PR değeri %65 iken yıkamadan sonraki bu değer %79’a çıkmıştır. İki dönemin PR değerleri arasında %14’lük bir artış gözlemlenmiştir. Bu artış, panellerin yıkanmasının ve mayıs-haziran radyasyon artışının (%13) katkısıyla mayıs-haziran ayının sıcaklık artışına (%58) rağmen gözlemlenmiştir. Sıcaklık artışının panellerin verimini düşüreceği burada göz önünde bulundurulmalıdır.

Çizelge 9.1 Yıkama öncesi ve sonrası santral gerçek ölçüm değerleri

YIKAMA ÖNCESİ					YIKAMA SONRASI				
Tarih (2022)	Radyasyon [kWh/m ²]	Üretim [kWh]	PR	Ortalama Sıcaklık (°)	Tarih (2022)	Radyasyon [kWh/m ²]	Üretim [kWh]	PR	Ortalama Sıcaklık (°)
1 Mayıs	4436.5	1323	59%	13.5	1 Haziran	7794.75	3147	80%	25.6
2 Mayıs	3936.75	1248	63%	13.8	2 Haziran	7940	3157	79%	25.9
3 Mayıs	6426.75	1961	61%	17.4	3 Haziran	7682	3030	78%	27.5
4 Mayıs	4004	1409	70%	12.7	4 Haziran	6855	2812	82%	25.6
5 Mayıs	4608.75	1540	66%	9.8	5 Haziran	7784.75	3085	79%	24.0
6 Mayıs	3331.25	1239	74%	9.3	6 Haziran	6031.5	2449	81%	23.0
7 Mayıs	3525.75	1201	68%	10.2	7 Haziran	5009.75	2131	85%	20.7
8 Mayıs	7967.25	2669	67%	12.8	8 Haziran	5411	2269	83%	21.1
9 Mayıs	7883.5	2612	66%	15.5	9 Haziran	7479.25	2953	78%	22.7
10 Mayıs	7940	2583	65%	16.2	10 Haziran	7691.5	2891	75%	24.7
11 Mayıs	5923	1981	66%	16.0	11 Haziran	7010.5	2747	78%	25.0
12 Mayıs	7827.75	2561	65%	17.0	12 Haziran	4392.5	1750	79%	19.8
13 Mayıs	8163.5	2572	63%	19.1	13 Haziran	5932.5	2342	78%	19.9
14 Mayıs	7138	2348	65%	20.0	14 Haziran	5450.75	2207	80%	19.2
15 Mayıs	6022.5	2034	67%	15.5	15 Haziran	8308.25	3119	75%	22.3
Gün.Ort.	5942.35	1952	65%	14.6	Gün.Ort.	6718.3	2673	79%	23.1

9.1.2. Farklı senaryolarla santral verimliliğinin analizi

Güneş enerji santrallerinde verimliliği etkileyen bir diğer unsur ise projelendirme kısmıdır. Bu tez çalışmasında konu olan çatı üstü güneş enerji santrali 503.25 kWp

gücündedir. Bu santralin panel yerleşimleri mevcut sistemde kuzey cephede bulunan paneller 3° , güney cephede bulunan paneller ise 13° açılı şekildedir. Bu santralin (mevcut santraldeki ile aynı model panel ve invertör kullanılarak) olası 6 farklı kurulum senaryosu analiz edilecektir.

Tasarım Planı 1: Santralin toplam DC kurulu gücü 564 kWp, toplam 1848 adet panel ve toplam 10 adet 60 kW gücünde invertör kullanılmıştır. Paneller kuzey cephede 1° , güney cephede 11° açı ile yerleştirilmiştir. Bu versiyonun PVSyst programında simülasyonu yapıldığında yıllık toplam üretim 893,6 MWh/yıl olduğu görülmüştür. Simülasyon sonucunda özgül kazanç değerinin 1585 kWh/kWp/yıl olduğu görülmüştür. Performans oranı ise %86.01 olmuştur.

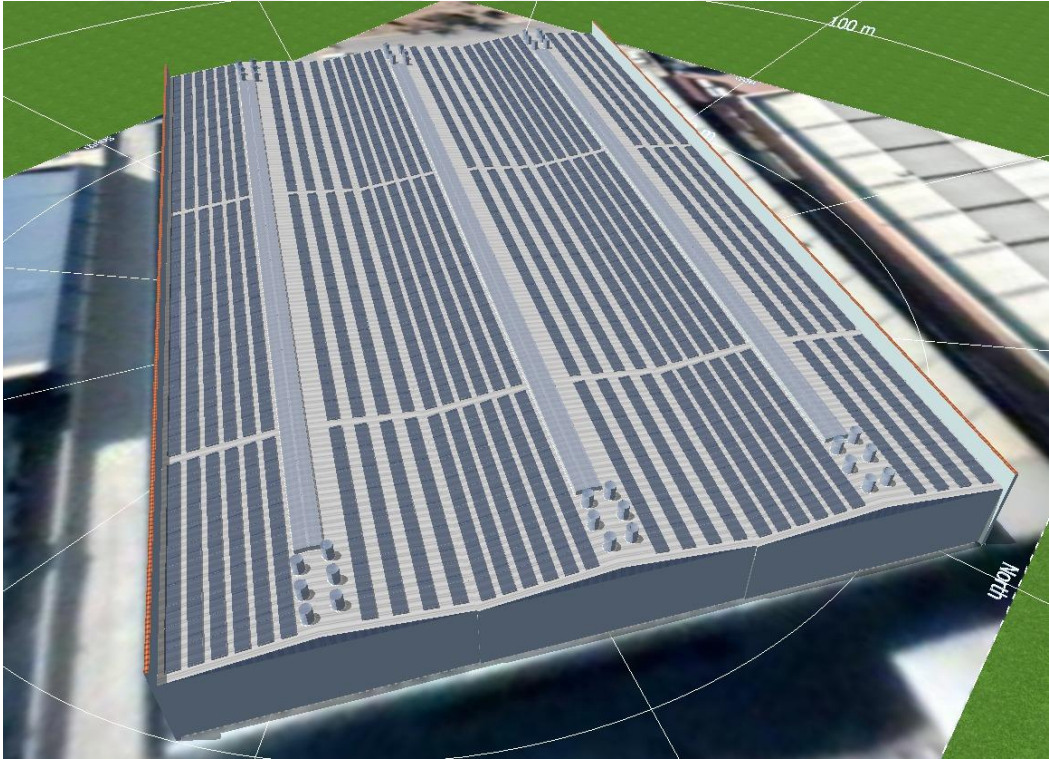
Tasarım Planı 2: Bu senaryoda santralin kurulu gücü 503.25 kWp'dir. Toplam 1650 adet 305 W Monokristal panel ve toplam 9 adet 60 kW gücünde invertör kullanılmıştır. Paneller çatı üzerine her iki cephede de (kuzey-güney) 13° açılı bir şekilde yerleştirilmiştir. PVSyst yazılımında yapılan simülasyonda yıllık toplam üretimin 802,5 MWh/yıl olduğu görülmüştür. Özgül kazanç değerinin 1595 kWh/kWp/yıl olduğu görülmüştür. Performans oranı ise %84.99 değerinde gözlenmiştir (var olan sisteme göre konstrüksiyon maliyeti daha fazla olacak).

Tasarım Planı 3: Bu senaryoda santralin kurulu gücü 503.25 kWp'dir. Toplam 1650 adet panel ve 9 adet 60 kW gücünde invertör kullanılmıştır. Paneller çatı üzerine her iki cephede de (kuzey-güney) 10° açılı bir şekilde yerleştirilmiştir. PVSyst yazılımında yapılan simülasyonda yıllık toplam üretim 799,9 MWh/yıl olduğu görülmüştür. Özgül kazanç değerinin 1590 kWh/kWp/yıl olduğu görülmüştür. Performans oranı ise %85.32 olarak hesaplanmıştır.

Tasarım Planı 4: Bu senaryoda santralin kurulu gücü 503.25 kWp'dir. Toplam 1650 adet panel ve 9 adet 60 kW gücünde invertör kullanılmıştır. Paneller çatı üzerine her iki cephede de (kuzey 3° /güney 13°) açılı bir şekilde yerleştirilmiştir. PVSyst yazılımında yapılan simülasyonda yıllık toplam üretim 802,2 MWh/yıl olduğu görülmüştür. Santralin özgül kazancı ise simülasyon sonucunda 1594 kWh/kWp/yıl çıkmıştır. Yıllık radyasyon miktarı 1794.5 kWh/m², yıllık performans oranı ise %86.0 olarak hesaplanmıştır.

Tasarım Planı 5: Bu senaryoda PV*SOL yazılımında simülasyon gerçekleştirilmiştir. Kurulu güç (503.25 kWp), panel sayısı (1650), invertör sayısı (9) ve panel yerleşim açıları (kuzey 3°/güney 13°) mevcut sistem ile aynı olacak şekilde seçilmiştir. Simülasyon sonucunda yıllık üretim değeri 736.668 kWh/yıl çıkmıştır. Performans oranı da % 81.9 çıkmıştır. Özgül kazanç değerinin 1463.62 kWh/kWp/yıl olduğu görülmüştür.

Tasarım Planı 6: Bu senaryoda tasarım planı 4'ten farklı olarak santralin kurulu olduğu çatıda gölge unsuru olduğu varsayılmıştır. Her çatıya 0.85 m çapında 1.20m uzunluğunda 6 adet baca konulmuş olup PV*SOL yazılımında simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Kullanılan toplam baca sayısı 36 adettir. Bacalı tasarımın görseli Şekil 9.9'da görülebilir. Kurulu güç (503.25 kWp), panel sayısı (1650), invertör sayısı (9) ve panel yerleşim açıları (kuzey 3°/güney 13°) mevcut sistem ile aynı olacak şekilde seçilmiştir. Simülasyon sonucunda yıllık üretim değeri 719.871 kWh/yıl çıkmıştır. Gölgeden dolayı oluşan kazanç kaybı ise %5.7 olarak hesaplanmıştır. Performans oranı da % 80.32 çıkmıştır. Özgül kazanç değerinin 1430.25 kWh/kWp/yıl olduğu görülmüştür.



Şekil 9.9 Tasarım planı 6'nın bacalı tasarım görüntüsü

Hesabı yapılan farklı senaryoların giriş parametreleri ve sonuçları toplu olarak Çizelge 9.2’de görülmektedir.

Çizelge 9.2. Mevcut santralin ve oluşturulan farklı senaryoların verileri

Yazılım	Senaryo No	Kurulu Güç (kWp)	Panel Sayısı	İnvertör Sayısı	Kuzey/Güney Açısı	Baca sayısı	Özgül Kazanç (kWh/kWp/yıl)	PR (%)
PVsyst	1	564	1848	10	1°/11°	yok	1585	86.01
	2	503.25	1650	9	13°/13°	yok	1595	84.99
	3	503.25	1650	9	10°/10°	yok	1590	85.32
	4	503.25	1650	9	3°/13°	yok	1594	86.0
PV*SOL	5	503.25	1650	9	3°/13°	yok	1463.62	81.9
	6	503.25	1650	9	3°/13°	36	1430.25	80.32

9.1.3. Panel-invertör uyumluluk hesabı

Santral kurulumu yapılmadan önce verimliliğin yüksek olması ve sistemin daha kararlı çalışabilmesi için mutlaka panel-invertör uyumluluk hesaplarının yapılması önemlidir. Bu hesaplamalar yapılmaz ise invertör ve panel beraber çalışırken maksimum verimlilikte çalışması beklenemez. Uygunluk kontrolü için yapılması gereken hesaplar aşağıda verilmiştir.

Panel ve invertör arasındaki uyumluluk hesapları yapılırken hem panelin hem de invertörün en verimli şekilde çalışacağı koşullar ve bu koşullara göre oluşan teknik veriler kullanılmalıdır. Bu teknik veriler tasarımı yapılan santralde kullanılan invertör ve panelin teknik veri sayfalarından alınmıştır. Panel ve invertör arasındaki uyumluluk hesapları yapılırken ilk olarak dizilerde kullanılmak üzere panel sayısı belirlenmelidir. Yapılan hesaplarda panelin akım, gerilim ve sıcaklık katsayıları göz önüne alınmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda dizide olması gereken panel sayısı mevcutta bulunan panel sayısı ile aynı çıkmıştır.

Dizide bulunması gereken minimum, maksimum ve nominal panel sayısı hesaplanırken ilk olarak sıcaklık düzeltme katsayıları (k_1 , k_2) bulunur. Konya için iklim özelliklerine bakıldığında kış aylarında düşük sıcaklığın $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu görülmüştür. Panellerin düşük sıcaklıkta gerilimi arttığı gibi verimliliği de artmaktadır. Dizideki nominal panel sayısı hesaplanırken dizide bulunan panellerin gerilim seviyesi invertörün DC çalışma gerilim aralığına uyması ve invertörün en verimli olduğu giriş gerilimi değerine mümkün olduğu kadar yakın tutulmalıdır. Hazırlanan Excel dosyasında panel

ve invertör teknik bilgileri Şekil 9.10’da gösterilmiştir. Sıcaklık düzeltme katsayıları k_1 , k_2 değerleri bulunurken Eşitlik 9.1 kullanılmıştır.

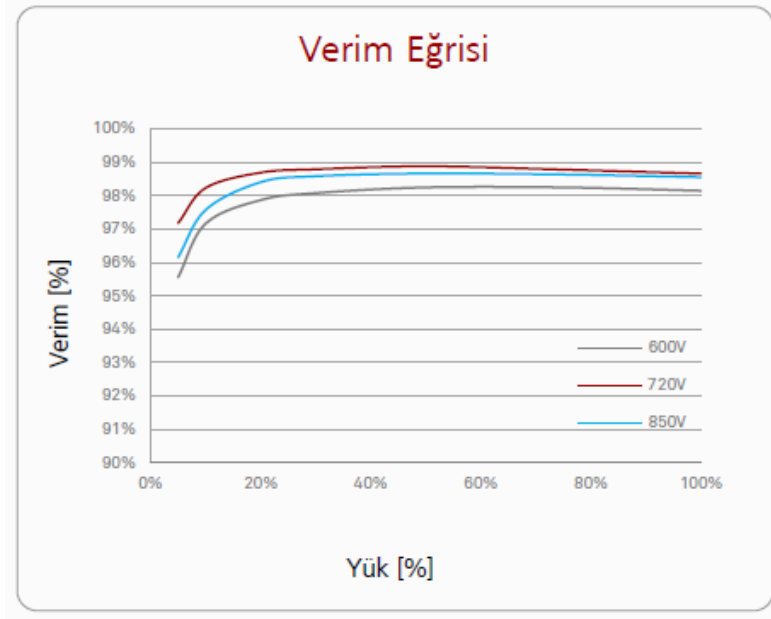
PANEL TİPİ	Winasol 305 W/60S	İNVERTÖR TİPİ	HUAWEI SUN2000-60KTL-M0
MARKA	Winasol (Monocrystalline)	MARKA	HUAWEI
	DS(Düzeltilme Sıcaklığı)Min.		
	DS(Düzeltilme Sıcaklığı)Maks.		
	DS(Düzeltilme Sıcaklığı)NOC.		
	İnvertör de Kullanılan Giriş Sayısı		
	Toplam İstenilen AC Kurulu Sistem Gücü (kw)		
	Toplam İstenilen DC Kurulu Sistem Gücü (kwp)		
Nominal Çıkış Gücü(Pmpp)[Wp]	305	Maks. Verimlilik	98.6% @380 V / 400 V
Nominal Voltaj Değeri(Umpp)[V]	32,8	Maks.DC Güç [W]	67400
Nominal Akım Değeri(Impp)[A]	9,3	Maks.Giriş Voltajı [V]	1100
Kısa Devre Akımı(Isc)[A]	9,83	MPPT Başına Maks. Akım [A]	22
Açık Devre Voltajı(Uoc)[V]	40,3	MPPT Başına Maks. Kısa Devre Akımı [A]	30
Panel Dönüştürme Verimi[%]	18,94	Başlangıç Voltajı [V]	200
Sıcaklık Katsayıları (Gerilim,Uoc)[%/T]	-0,36	MPPT Çalışma Gerilimi Aralığı [V]	200 ~ 1000
Sıcaklık Katsayıları (Akım,Isc)[%/T]	0,07	Nominal Giriş Gerilimi [V]	600
Sıcaklık Katsayıları (Çıkış,Pmpp)[%/T]	-0,38	MPPT Min. Giriş Voltajı [V]	200
Boyutlar (L x W x H)[mm]	1649x902x35	MPPT Maks.Giriş Voltajı [V]	1000
Ağırlık[kg]	18 kg	Giriş Sayısı	12
İzin Verilen Çalışma Sıcaklığı[°C]	- 40 °C - +85 °C	MPPT Sayısı	6
STS[Standart Test Sıcaklığı][°C]	25	AC Anma Aktif Güç [W]	66
		Maks. AC Aktif Güç(cosφ=1)	66 kW
		Nominal Çıkış Akımı [A]	86.7 A @400 V
		Maks. Çıkış Akımı [A]	95.3 A @400 V
		Boyutlar (W x H x D)	1075mm x 555mm x 300 mm
		Ağırlık	74 kg
		Çalışma Sıcaklığı Aralığı	-25°C ~ 60°C
		p(MPPT'ye Bağılı Dizi Sayısı)	2

Şekil 9.10 Panel ve invertör teknik verilerini içeren Excel dosyası

$$k_{1,2} = 1 + \frac{(DS - STS \times PSK)}{100} \quad (9.1)$$

k_1 ve k_2 değerleri bulunurken maksimum ve minimum sıcaklık değerleri göz önüne alınır. Bu sıcaklık değerleri maksimum 70 °C ve minimum -10 °C, standart test koşulları sıcaklığı ise 25 °C olarak alınmıştır. Düzeltme sıcaklığından standart test sıcaklığı çıkarılıp panel sıcaklık katsayısı (PSK) ile çarpıldıktan sonra k_1 değeri 1.126; k_2 değeri 0.838 çıkmıştır.

k_1 ve k_2 değerleri bulunduktan sonra maksimum, minimum ve nominal panel sayısını bulmak için Eşitlik 9.2, 9.3 ve 9.4 kullanılmıştır. Bu formüllerde kullanılacak invertör gerilim değerini belirlemek için Şekil 9.11’de verilen invertör verim grafiği incelenmiş olup en verimli çalışma gerilim değerinin 720 V olduğu belirlenmiştir.



Şekil 9.11. İnvörtör verim eğrisi

$$\text{Max. Panel Sayısı} = \frac{V_{dc \max}}{V_{poc} \times k_1} \quad (9.2)$$

$$\text{Min. Panel Sayısı} = \frac{V_{dc \min}}{V_{pn} \times k_2} \quad (9.3)$$

$$\text{Nominal Panel Sayısı} = \frac{V_{dc \text{nom}}}{V_{pn}} \quad (9.4)$$

Yapılan hesaplamalar sonucunda dizi oluşumunda kullanılacak olan minimum panel sayısı 8 iken maksimum kullanılacak panel sayısı 25 çıkmıştır. Sistemin en yüksek verimde çalışabilmesi için ise kullanılacak panel sayısı 19 çıkmıştır. Dizinin gerilim bakımından invertör tarafında uyumluluğunu görmek için Eşitlik 9.5-9.10 ile verilen hesaplamalar yapılmalıdır.

$$V_{dizi} = V_{pn} \times N_{panel} \quad (9.5)$$

$$V_{dizioc} = V_{poc} \times N_{panel} \quad (9.6)$$

$$V_{dizi \min} = k_2 \times V_{dizi} \quad (9.7)$$

$$V_{dizi \max} = k_1 \times V_{dizi} \quad (9.8)$$

$$V_{dizioc \min} = k_2 \times V_{dizi} \quad (9.9)$$

$$V_{dizioc \max} = k_1 \times V_{dizi} \quad (9.10)$$

Yapılan hesaplamalarda dizi gerilimi 623.2 V, dizi açık devre gerilimi 765.7 V, dizi minimum gerilimi 522.24 V, dizi maksimum gerilimi 701.73 V, dizi açık devre minimum gerilimi 641.65 V, dizi açık devre maksimum gerilimi 862.17 V çıkmıştır. Elde edilen bu değerler ve panel teknik verileri karşılaştırıldığında, değerlerin uygun aralıklarda olduğu görülmüştür. Panel uyumluluğunun sorgulandığı hesaplamaları içeren Excel dosyasının görüntüsü Şekil 9.12’de verilmiştir.

PANEL SAYISI HESAPLARI		AKIM HESABI		GERİLİM HESABI	
Min. Panel Sayısı	8	Imppt	[A] 18,60	Valzi	[V] 721,60
Maks. Panel Sayısı	25	Isc-mptt	[A] 19,66	Valzi-oc	[V] 886,60
String deki Panel Sayısı (Nominal Değer)	22	MPPT Maks.Giriş Akımı Uygunluğu	DOĞRU	K1(-27°C de düzeltme katsayısı)	1,13
Bir MPPT deki Panel Sayısı	44	MPPT Başına Maks. Kısa Devre Akımı Uygunluğu [A]	DOĞRU	K2(85°C de düzeltme katsayısı)	0,84
Bir İnvörtördeki Panel Sayısı	528			K3(NOC de düzeltme katsayısı)	1
Toplam İnvörtör Sayısı	9			Valzi-min	[V] 604,70
Toplam Panel Sayısı	1650			Valzi-noc	[V] 721,60
				Valzi-max	[V] 812,52
				Valzi-oc-min	[V] 742,97
				Valzi -noc	[V] 886,60
				Valzi-oc-max	[V] 998,31
				İnvörtör Uygunluk(İnvörtör MPPT Maks. Giriş Voltajı) [V]	DOĞRU
				İnvörtör Uygunluk(İnvörtör Maks. Giriş Voltajı) [V]	DOĞRU
				İnvörtör Uygunluk(İnvörtör MPPT Min Giriş Voltajı) [V]	DOĞRU
				İnvörtör Uygunluk(İnvörtör Min. Giriş Voltajı) [V]	DOĞRU

Şekil 9.12 Panel uyumluluk Excel görüntüsü

Şekilde verilen değerlere bakıldığında mevcut sistemde olduğu gibi bir dizi özelinde toplam 22 panel kullanıldığında invertör ve panel arası uyumluluk hesaplarında herhangi bir olumsuz durumun ortaya çıkmadığı görülmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta invertörün en verimli çalıştığı aralıkta sistemi kurmaktır.

10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

10.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında Konya OSB’de kurulan çatı üstü güneş enerji santrali baz alınarak güneş enerjisinden elektrik üretiminin verimliliğini etkileyen faktörler belirlenmiş ve santral kurulumunda dikkat edilmesi gereken hususlar ifade edilmiştir.

Sistemin verimliliğini etkileyen faktörlerin başında panellerin yüzeylerinde oluşan kirlenme gelmektedir. Özellikle sanayi bölgelerinde kurulan santraller için baca atıkları, döküm tozu, demir tozu, yağ gibi panellerin kirlenmesini hızlandıran ve daha kötü hale getiren etkenler panel üzerine düşen ışınımı azalttığı için sistemin verimini belirgin bir şekilde düşürmektedir. 2020 yılına kıyasla 2021 yılında %8,99 daha fazla radyasyon olmasına rağmen 2021 yılına kıyasla 2020 yılında %8.43 daha fazla üretim olmuştur. Bu durumun böyle olmasının en büyük sebebi panel yüzeyinde oluşan aşırı kirliliktir. Santralde 2022 yılında gerçekleştirilen panel temizliğinin önceki ve sonraki aylarda yapılan 15 günlük ölçümler ile paneldeki temizliğin üretime katkısı gözlenmiştir. Yıkama öncesi ve sonrası günlük PR değerleri arasında %14’lük bir artış gözlenmiştir. Bu artış, panellerin yıkanmasının ve mayıs-haziran radyasyon artışının (%13) katkısıyla mayıs-haziran ayının sıcaklık artışına (%58) rağmen gözlenmiştir.

Çatı üstü güneş enerji santrallerinde kurulum yapılan çatılar genelde sandviç panel üzerinde olur. Bu sandviç paneller genelde beyaz renkte olmaktadır. Beyaz renk güneşten gelen bütün ışığı yansıttığı için çatılar yer seviyesine göre daha sıcak olmaktadır. Çatılarda sıcaklığın daha fazla olması panellerin yüzey sıcaklığını da artırmaktadır. Panel sıcaklığı arttıkça (sıcaklık katsayıları hesaplamalarında görüldüğü üzere) panellerin üretim performansı etkilenmektedir. Bu etki panelin teknik verisinde bulunan sıcaklık katsayılarına göre değişmekte olup ortalama olarak %0.35/K ile %0.45/K olarak alınırsa 20 °C’lik sıcaklık farkı %7 ile %9 arasında bir güç dengesizliği meydana getirerek santralde verimi azaltmaktadır.

Çatı tipi güneş enerji santrallerinin kurulumu bina çatısının yapısına göre değişiklik gösteriyor olsa da genelde 2 farklı cephe şeklinde olur. Analizi yapılan çatı üstü güneş enerji santrali için hesaplanan farklı senaryoların PVsyst yazılımında yapılan simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında bunlar arasında özgül kazanç oranında tasarım planı 2’nin ve tasarım planı 4’ün diğer tasarımlara göre daha yüksek çıktığı görülmektedir. Tasarım planı 2’nin santral kurulumunda tercih edilmemiş olmasının

sebebi ise bu tasarımda panellere açı vermek için daha fazla konstrüksiyon kullanılacak olması ve dolayısı ile kurulum maliyetinin artacak olmasıdır.

Yapılan yatırımın minimum sürede geri kazanımı için takılan her bir panelden en yüksek seviyede üretim yapılması önem arz etmektedir. Tasarım planı 1’de diğer planlara göre bu oran düşüktür (kurulu güç diğer planlara göre daha yüksek olmasına rağmen). Bu oranın düşük olmasının sebebi ise fazla panel yerleştirilmesi için panel açılarının düşük tutulmuş olması ve dolayısıyla gölgelenmenin artmış olmasıdır.

PV*SOL yazılımında yapılan 2 farklı simülasyonun birincisinde (tasarım planı 5) mevcut santralin birebir aynısı tasarlanıp ikincisinde (tasarım planı 6) ise mevcut çatıya baca ilave edilmiştir. Bacanın eklenmesinden dolayı yıllık üretim değeri 735.628 kWh/yıl’dan 719.871 kWh/yıl’a düşmüş olup %2.20 azalmıştır. Özgül kazanç ise 1461.56 kWh/kWp/yıl’dan 1430.25 kWh/kWp/yıl’a düşerek %2.1 azalmıştır. Böylece gölgelenmenin etkisi ortaya koyulmuştur.

10.2. Öneriler

Çatı tipi güneş enerji santrallerinde kurulum yapılırken santral yakınlarında panellerin kirlenmesini etkileyecek herhangi bir unsur var olup olmadığına dikkat edilmelidir. Panelleri kirletecek unsurlara endüstriyel atık püskürten bacalar ve hafriyat alanı gibi yerler örnek olarak verilebilir. Eğer panel kurulumu yapılan binada baca söz konusu ise bacanın filtre sistemlerinin kontrol edilmesi önem arz etmektedir. Ayrıca, kirletici unsurların bulunduğu ortamlarda panellerin temiz tutulması amacıyla yılda en az 2 kere yıkanması tavsiye edilir.

Kurulumu yapılmış olan güneş enerji santralinin bakımları düzenli olarak yapılarak yıl içerisinde arıza kaynaklı üretim kaybı engellenmelidir. Güneş enerji santralinin bir izleme sistemine entegrasyonu yapılarak oluşacak arıza, enerji kesintisi gibi durumlarda çabuk tedbir alınması sağlanabilir. Santral kurulumu yapılmadan önce farklı simülasyon programlarında birkaç farklı yerleşim planı oluşturularak aralarından en uygun olanının seçilmesi santral kurulum maliyetinin geri kazanım süresini minimum seviyelere indirmek için katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Akbulut A. (2018). Güneş Enerjisi Sistemlerinde Kullanılan Fotovoltaik Panelin Modellenmesi ve Performans Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Akcan E. & Kuncan M. & Minaz M., (2020). PVsyst Yazılımı ile 30 kW Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemin Modellenmesi ve Simülasyonu, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi , (18) , 248-261.
- Aksangör, N.N., Martin, K., Boran, K., 2019, PVsyst Simülasyon Aracı Kullanarak Ankara’da Fotovoltaik Güneş Sistemlerin Performans Analizi, 3rd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies, Ankara, Türkiye. 4 (1): 217-220.
- Ankara Üniversitesi Gama Meslek Yüksekokulu Elektrik Ve Enerji Bölümü Alternatif Enerji Kaynakları Teknolojisi Elektrik Enerji santralleri 11. Hafta
- Atalay, Ö., 2019, Fotovoltaik (Pv) Güneş Enerjisi Sistemleri ve Çatı Uygulamaları, TMMOB Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi.
- Boztepe, M., 2017, Fotovoltaik Güç Sistemlerinde Verimliliği Etkileyen Parametreler, EMO İzmir Şubesi aylık bülteni.
- Ceylan M. (2018). Kampüs Binalarında Şebekeden Bağımsız Bir Çatı Üstü Fotovoltaik Sistem Tasarımı ve Benzetimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı.
- Çıngı, A. (2019) Güneş Enerjisi Elektrik Santrallerinde Kullanılan Fotovoltaik Panellerin Enerji Verimliliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Çıtanak N. (2014). Güneş Enerji Kaynağından Elektrik Enerjisi Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Elektrik Eğitimi Ana Bilim Dalı.
- Çirkin, T. & Kaymakçioğlu, F., Jeotermal Enerjinin Değerlendirilmesi Ve Elektrik Üretimi https://www.emo.org.tr/ekler/2b127307a606eff_ek.pdf Erişim Tarihi :30.05.2022
- Dondariya, C., Porwal, D., Awasthi, A., Shukla A. K., Sudhakar, K., Manohar M., Bhimte, A., (2018). Performance simulation of grid-connected rooftop solar PV system for small households: A case study of Ujjain, India, Energy Reports, Vol. 4, 546-553.
- Erkoç, R., (2019), Güneş Enerji Santrallerinin Modellenmesi, Ekonomik Analizi Ve Değerlendirme: Almanya Ve Türkiye Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Gökrem L. Hidrojen Enerjisi ve Geleceği, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat https://www.emo.org.tr/ekler/3f010d6bc392b90_ek.pdf Erişim Tarihi :22.05.2022
- Güner R. (2013). Elektrikte İşçi Sağlığı ve Güvenliğinin Temel Unsuru: Kaçak Akım Röleleri, Elektrik Mühendisliği, 447, 20-23.
<https://mgm.gov.tr/kurumici/turkiye-guneslenme-suresi.aspx> Erişim Tarihi: 18.05.2022
<https://unika.com.tr/gunes-enerjisi-kablolari/?lang=tr> Erişim Tarihi: 28.04.2022
<https://www.irena.org/solar> Erişim Tarihi: 12.04.2022
- İlker, İ., Akbulut İ., ve Aslan E., (2018). Enerji Sorununun Çözümünde Yenilenemez ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Yeri ve Önemi, Türk Dünyası Araştırmaları, 120(237), 11-40.

- İsler, Y. S. ve Salihmuhsin, M. (2019). Güneş Enerjisi Santrallerinde Sehpa Seçiminin Performansa Etkisinin Analiz Edilmesi ve Sıcaklık Etkisi . El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi, 6 (1), 97-107.
- İzgi, E. ve Özcan, Ö., 2020, Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Çatı Sisteminin Karşılaştırmalı Performans Analizi, KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(3), 127-140.
- Karamanav, M. (2007). Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Ana Bilim Dalı.
- Kaya, K., ve Koç, E. (2015). Enerji Üretim Santralleri Maliyet Analizi. Engineer & the Machinery Magazine, (660).
- 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, Mekatronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Kınalı, M.Y., 2019, Güneş Enerjisi Simülasyon Programlarının Gerçek Verilerle Doğruluk Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Programı.
- Kurt, S. (2006). Türkiye'nin Enerji Tedarik Politikalarının Avrasya Enerji Boru Hattı Projeleri Çerçevesinde Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Uluslararası İlişkiler Anabilim Dalı.
- Maltaş, M. (2017). Manisa ili için 1 mw Güneş Enerjisi Santrali Fizibilitesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Oral, M. (2017). Enerji coğrafyası perspektifinde Türkiye'nin enerji politikaları, Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Oral, M. (2020). Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli ve PV2 Uygulamalarının Yerel Ölçekte Değerlendirilmesi: Karabük İli Örneği, International Journal of Geography and Geography Education, (42), 482-503.
- Öncin, F. (2018). Çatı Tipi Güneş Enerji Santralleri ve Dağıtım Tesislerine Bağlantı Kriterleri, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İleri Teknolojiler Anabilim Dalı.
- Özök, A., 2015, Türkiye'nin Yedi Coğrafi Bölgesinde Eysel Elektrik İhtiyacının Çatı Üstü Fotovoltaik Sistemler ile Karşılanmasının Ekonomik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı.
- Öztürk, H., 2021, Bir güneş enerji santralinin üretim ile simülasyon değerlerinin karşılaştırılması ve kayıp analizi: Beştepe enerji örneği, Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri ve Enerji Yönetimi Ana Bilim Dalı.
- Öztürk H., Kaya D., (2012). Biyogaz Teknolojisi: Üretim-Kullanım-Projeleme, 1. baskı Umuttepe Yayınları, Kocaeli.
- Ramanan, P., Kalidasa Murugavel, K. , Karthick, A., (2019). Performance Analysis and Energy Metrics of Grid-Connected Photovoltaic Systems, Energy for Sustainable Development, Vol. 52, 104-115.
- Sadıkoglu F. (2018). 1 MWp Şebekeye Bağlı Güneş Enerjisi Santrali Performans Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Shagea E. (2021). Lisanssız Elektrik Üretiminde Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Sistemlerin Performans Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı.

- T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Teknolojileri, Elektriğin Temel Esasları (2012). Ankara.
- T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2021). Ankara İli Fotovoltaik Panel Üretim Tesisi Ön Fizibilite Raporu.
- Taşgetiren, S. (1998). Rüzgâr Enerjisi, Çev-Kor Dergisi, 8(29), 25-30.
- Tozkoparan, C., 2021, Çatı Tipi Güneş Enerjisi Santrallerinde Optimizer Kullanımının Üretim Verimliliği, Güvenlik ve Maliyet Bakımından Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı.
- URL1:https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/63671/mod_resource/content/0/11.%20HAFTA.pdf, Erişim Tarihi:30.05.2022
- URL 2: <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes> Erişim Tarihi: 10.05.2022
- URL 3: <https://www.elettrobrescia.it/en/cable/552/h1z2z2k.html> Erişim Tarihi: 05.05.2022

