



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



ARAZİ TİPİ GÜNEŞ ENERJİ
SANTRALLERİNİN VERİMLİLİK ANALİZİ:
KONYA ÖRNEĞİ

Bahadır ASMA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİK- ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI

TEMMUZ-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Bahadır ASMA tarafından hazırlanan “Arazi Tipi Güneş Enerji Santrallerinin Verimlilik Analizi: Konya Örneği” 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

Dr.Öğr.Üyesi Mümtaz MUTLUER

.....

Danışman

Doç.Dr. Levent SEYFİ

.....

Üye

Dr.Öğr.Üyesi Emre Hasan DURSUN

.....

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

Bahadır ASMA

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ARAZİ TİPİ GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNİN VERİMLİLİK ANALİZİ: KONYA ÖRNEĞİ

Bahadır ASMA

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

Danışman: Doç.Dr. Levent SEYFİ

2022, 53 Sayfa

Jüri

**Doç.Dr. Levent SEYFİ
Dr.Öğr.Üyesi. Mümtaz MUTLUER
Dr.Öğr.Üyesi. Emre Hasan DURSUN**

Günümüz dünyasında enerji ihtiyacı hızla arttığı gibi fosil yakıtların ömrü de gün geçtikçe kısalmaktadır. Hatta enerji kaynakları yüzünden ülkelerin siyasi gerilimleri bile söz konusu olabilmektedir. Fosil yakıtların tükenme eğiliminde olması ve çevreyi kirletiyor olmasından dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırımlar son yıllarda hızla artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş önemli bir yer tutmaktadır. Güneş enerji santralleri hem arazi üzerine hem de binaların çatıları üzerine kurularak kullanıcılara temiz enerji sunmaktadır. Güneş enerji santralleri kurulmadan önce simülasyon programları ile projeyi pc ortamında gerçekleştirerek tasarımda oluşabilecek hataları ve üretim miktarının tahminini yapmak mümkündür. Böylece gerçekleştirilecek santralin verimini en yüksek seviyeye çıkarmak söz konusu olabilmektedir.

Bu tez çalışmasında Konya bölgesinde kurulumu yapılmış olan arazi tipi güneş enerji santralinde kullanılan mevcut donanımlar seçilerek PV*SOL ve PVsyst simülasyon programlarından elde edilen verilerle geçmiş dönemlerin gerçek üretim verisi kıyaslaması yapılarak verim analizi yapılacaktır. Ayrıca, simülasyon programlarında farklı versiyon seçimi ile elde edilecek üretim verileri kıyaslanacaktır. Böylece kurulumu yapılacak güneş enerji santrallerinde maksimum verimin ve dolayısıyla minimum amortisman süresinin elde edilmesi hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerji Santrali, İnvertör, Performans Analizi, PV*SOL, PVsyst, Simülasyon

ABSTRACT

MS THESIS

EFFICIENCY ANALYSIS OF LAND TYPE SOLAR POWER PLANTS: THE CASE OF KONYA

Bahadır ASMA

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

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Levent SEYFİ

2022, 53 Pages

**Jury
Assoc. Prof. Dr. Levent SEYFİ
Assist.Prof.Dr. Mümtaz MUTLUER
Assist.Prof.Dr. Emre Hasan DURSUN**

In today's world, energy needs are increasing rapidly, and the lifespan of fossil fuels is getting shorter day by day. There may even be political tensions of countries due to energy resources. Investments in renewable energy sources have increased rapidly in recent years due to the tendency of fossil fuels to run out and pollute the environment. The sun has an important place among renewable energy sources. Solar power plants are installed both on the land and on the roofs of the buildings and offer clean energy to the users. Before solar power plants are installed, it is possible to estimate the errors that may occur in the design and the production amount by performing the project in a PC environment with simulation programs. Thus, it is possible to maximize the efficiency of the power plant to be built.

In this thesis, the current equipment used in the land type solar power plant installed in the Konya region will be selected and the efficiency analysis will be made by comparing the data obtained from the PV*SOL and PVsyst simulation programs with the actual production data of the past periods. In addition, the production data to be obtained by choosing different versions in simulation programs will be compared. Thus, it is aimed to achieve the maximum efficiency and thus the minimum amortization period in the solar power plants to be installed.

Keywords: Inverter, Performance Analysis, PV*SOL, PVsyst, Simulation, Solar Energy Plant

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.

Bahadır ASMA
KONYA-2022



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	1
1.1.1. Rüzgar enerjisi	1
1.1.2. Hidrolik enerji	2
1.1.3. Jeotermal enerji	2
1.1.4. Biyokütle enerjisi	2
1.1.5. Dalga enerjisi	3
1.1.6. Hidrojen enerjisi	3
1.2. Dünyada Güneş Enerji Sistemleri	4
1.3. Türkiye’de Güneş Enerjisi Sistemleri	5
1.4. Konya’da Güneş Enerji Sistemleri	9
1.5. Güneş Enerji Santrali Sistem Ekipmanları	11
1.5.1. İnvertör	11
1.5.2. Fotovoltaik modül	12
1.5.3. Transformator	14
1.5.4. AC kablo	14
1.5.5. DC kablo	14
1.5.6. Konstrüksiyon	14
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	15
3. MATERYAL VE YÖNTEM	18
3.1. Konya İlindeki Arazi Tipi Güneş Enerji Santrali	18
3.2. Simülasyon Programları	20
3.2.1. PV*SOL	21
3.2.2. PVSyst	22
3.3. Meteorolojik Veriler	23
3.4. Sistem Performans Parametreleri	25
3.4.1. Fotovoltaik dizi verimi(Y_A)	25
3.4.2. Referans kazancı (Y_R)	25
3.4.3. Final kazancı (Y_F)	25
3.4.4. Performans oranı (PR)	25
3.4.5. Kapasite faktörü (CF)	26
3.4.6. İnvertör verimi (η_{INV})	26
3.4.7. Sistem verimi	26

4.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	27
4.1. Konya İlindeki Güneş Enerji Santralının PV*SOL ile Tasarımı	27
4.2. Konya İlindeki Güneş Enerji Santralının PVsyst ile Simülasyonu.....	33
4.2.1. Gölgelemeli PVsyst tasarımı	33
4.2.2. Gölgelemesiz PVsyst tasarımı	36
4.3. Konya İlindeki Güneş Enerji Santraline Ait Meteorolojik Verilerin Alınması ...	38
4.4. Santralin Gerçek Enerji Üretimi ile Simülasyon Verilerinin Karşılaştırılması ...	43
4.5. Santralin Performans Parametrelerinin Hesaplanması	46
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	47
5.1 Sonuçlar	47
5.2 Öneriler	50
KAYNAKLAR	51



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Dünyada güneş enerji santrali kurulu gücü (IRENA 2022)	4
Şekil 1.2. Türkiye güneş enerjisi üretim verisi (IRENA, 2022)	6
Şekil 1.3. Türkiye güneş enerji santrali kurulu gücü (IRENA, 2022)	6
Şekil 1.4. Türkiye güneş radyasyon haritası (GEPA 2022).....	7
Şekil 1.5. Türkiye global radyasyon değerleri (GEPA, 2022).....	8
Şekil 1.6. Türkiye güneşlenme süreleri (GEPA, 2022)	8
Şekil 1.7. Konya ili güneş radyasyon haritası (GEPA, 2022).....	9
Şekil 1.8. Konya ili global radyasyon değerleri (GEPA, 2022)	10
Şekil 1.9. Konya ili güneşlenme süreleri (GEPA, 2022).....	10
Şekil 1.10. İnvertör	12
Şekil 1.11. Fotovoltaik modül etiketi.....	13
Şekil 1.12. Fotovoltaik modüller	13
Şekil 1.13. Transformatör	14
Şekil 3.1. Çalışma yapılan güneş enerji santralinin drone görüntüsü	18
Şekil 3.2 PV*SOL programı proje giriş ekranı.....	22
Şekil 3.3. PVsyst programı proje giriş ekranı	23
Şekil 3.4. Yıllık ortalama ortam sıcaklığının aylık değişimi	24
Şekil 3.5. Ortalama rüzgâr hızının aylık değişimi	24
Şekil 4.1. PV*SOL proje giriş bilgi ekranı	27
Şekil 4.2. PV*SOL’ de fotovoltaik modül seçim ekranı	27
Şekil 4.3. Fotovoltaik modül yerleşim parametrelerinin tanımlandığı ekran	28
Şekil 4.4. Fotovoltaik modül genel yerleşim görüntüsü	28
Şekil 4.5. PV*SOL invertör modeli seçim ekranı	29
Şekil 4.6. PV*SOL’de stringlerin invertör ile eşleştirilmesi	29
Şekil 4.7. PV*SOL’de dizilerin oluşturulması	30
Şekil 4.8. Sistemin ufuk çizgisi	30
Şekil 4.9. PV*SOL 2016 sistemi enerji bilançosu.....	31
Şekil 4.10. PV*SOL 2021 sistemi enerji bilançosu.....	32
Şekil 4.11. PV*SOL 2021 aylık performans oranı	32
Şekil 4.12. PV*SOL 2021 simülasyon sonuçları.....	33
Şekil 4.13. PVsyst ile sistemin gölgelendirmesi.....	33
Şekil 4.14. Gölgelemeli sistem üretimi ve kayıpları.....	34
Şekil 4.15. Gölgelemeli sistem performans oranının aylara göre değişimi	35
Şekil 4.16. Gölgelemeli sistemde gerçekleşen kayıplar	36
Şekil 4.17. Gölgelemesiz sistem üretimi ve kayıpları	36
Şekil 4.18. Gölgelemesiz sistem performans oranı.....	37
Şekil 4.19. Gölgelemesiz sistemde kayıplar	38
Şekil 4.20. Konya’daki güneş enerji santralinde 2021 yılında ölçülen aylık radyasyon değerleri (kwh/m ²)	39
Şekil 4.21. Konya ilindeki güneş enerji santralinde radyasyona bağlı aktif güç değişimi	39
Şekil 4.22. Konya ilindeki güneş enerjisi santralinde ölçülen saatlik radyasyon (kWh/m ²)	40
Şekil 4.23. Konya ilindeki güneş enerjisi santralinde ölçülen rüzgâr hızı (m/s)	40
Şekil 4.24. Konya ilindeki güneş enerjisi santralinde ölçülen panel sıcaklığı (°C).....	41
Şekil 4.25. Konya ilindeki güneş enerjisi santralinde ölçülen ortam sıcaklığı	41
Şekil 4.26. Konya ilindeki güneş enerjisi santrali üretim demand-ısıtım değeri	42
Şekil 4.27. Beklenen ve gerçekleşen enerji üretimi (kWh)	42

Şekil 4.28. İncelemesi yapılan GES’de yıl bazında meydana gelen enerji kesinti süreleri	43
Şekil 5.1. Aylık PV*SOL 2021, PVsyst 6.47 ve gerçek üretim değerleri	49
Şekil 5.2. Yıllık olarak PV*SOL 2021, PVsyst 6.47 ve gerçekleşen üretim verileri	49



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1. Sistemde kullanılan PV modül teknik özellikleri	19
Çizelge 3.2. Sistemde kullanılan merkezi invertör teknik özellikleri	20
Çizelge 4.1. Gölgelemeli sistem tasarımı sonuçları	35
Çizelge 4.2. Gölgelemesiz sistem tasarımı sonuçları	37
Çizelge 4.3. Konya Apa 999 kW GES'ine ait 2018-2022 yılları enerji üretim değerleri (kWh)	44
Çizelge 4.4. Konya Apa 999 kW GES'e ait üretim değerlerinin PV*SOL 2021 ile karşılaştırılması (kWh)	44
Çizelge 4.5. Konya Apa 999 kW GES'e ait 2018-2022 yılları PR değerleri (%)	45
Çizelge 4.6. Konya Apa 999 kW GES ile PV*SOL'a ait PR değerleri (%)	45



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

GW : Gigawatt
MW : Megawatt
kW : Kilowatt
GWh : Gigawatt saat
MWh : Megawatt saat
kWh : Kilowatt saat
 E_A : Belirli Bir Periyotta Üretilen Enerji
 Y_A : Fotovoltaik Dizi Kazancı
 Y_R : Referans Kazancı
 Y_F : Final Kazancı
 G_0 : Referans Işınım
PR : Performans Oranı
CF : Kapasite Faktörü
 η_{INV} : Evirici Verimi
 η_{SYS} : Sistem Verimi
 η_{pv} : Fotovoltaik Modül Verimi
 P_{AC} : AC Güç
 P_{DC} : DC Güç

Kısaltmalar

PV : Fotovoltaik
EPDK : Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
GEPA : Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
ETKB : Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
GES : Güneş Enerjisi Santrali
MPP : Maksimum Güç Noktası
MPPT: Maksimum Güç Noktası Takipçisi
SCADA: Merkezi Denetim ve Veri Toplama
MPPT: Maksimum Güç Noktası Takibi
POAI: Fotovoltaik Modül Yüzeyine Gelen Işınım
YEGM : Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
IRENA : Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı
AC: Alternatif Akım
DC: Doğru Akım
IAM: Yansıma kaybı
3D: Üç boyutlu

1. GİRİŞ

Günümüzde artan dünya nüfusu ile birlikte enerji ihtiyacı da hızla artmaktadır. Enerji üretiminde fosil kaynaklarının belirli bir miktarda olduğu ve enerji üretiminde çevreye vermiş olduğu CO₂ gazı atmosfere oldukça büyük zarar vermektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile hem ekonomik hem de çevreye zarar vermeden enerji üretimi yapılmaktadır; ancak bu sistemin de en verimli şekilde kullanılması gerekmektedir. Hem dünyada hem de ülkemizde güneş enerjisi kullanarak elektrik üretimi miktarı giderek artmaktadır. Ülkemiz bu hususta coğrafi koşullarının elverişli olması nedeniyle avantajlı bir konumdadır.

Günümüzde güneş enerji santrallerinde kullanılan ürün çeşitliliğinin artmasıyla kurulum öncesi fizibilite çalışmalarını doğru bir şekilde yapmak önemli hale gelmiştir. Simülasyon programları vasıtasıyla kullanılacak olan panel ve invertörlerin birbirleriyle uyumlu çalışabilmesi ve maksimum performans minimum maliyet ile en kısa amortisman süresi olan ürün seçimini gerçekleştirmek gerekmektedir. Simülasyon programlarından alınan teknik ve ekonomik rapor ile yatırımcıların daha doğru değerlendirme yapmasına olanak sağlanmaktadır. Bu çalışmada kurulumu gerçekleştirilmiş olan arazi tipi bir güneş enerji santralinin simülasyon programı ve SCADA sisteminden alınan üretim verilerin kıyaslaması yapılması hedeflenmektedir.

1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji, sürdürülebilirliği olan ve çevre dostu bir enerjidir. Teknolojinin gelişimi ve insan nüfusunun artmasıyla yenilenemez enerji kaynakları (fosil yakıtlar) yetersiz kalmaktadır. Ayrıca, fosil yakıtların çevreyi kirletmesinden dolayı yenilenebilir enerjilerin daha çok rağbet görmesi beklenmektedir. Birçok ülke, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi artırmak için birçok destek vermektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları; rüzgar, hidrolik, jeotermal, biyokütle, dalga, hidrojen ve güneş enerjisi şeklinde sıralanabilir.

1.1.1. Rüzgar enerjisi

Sıcaklık ve basınç farkıyla meydana gelen hava tabakalarının hareketi sonucu rüzgar meydana gelir. Rüzgar santrallerinde türbinin kanatları ortamdaki rüzgar ile

harekete geçmesiyle oluşan mekanik enerji elektrik enerjisine dönüştürülerek elektrik enerji üretimi yapılmaktadır.

Tüm enerji kaynaklarının oluşmasında güneşin etkisi bulunmaktadır. Rüzgar enerjisi de güneşin etkisine bağlı olarak oluşmaktadır. Güneşin batmasıyla birlikte soğuk hava tabakası yere doğru hareket eder. Güneşin doğmasıyla birlikte ısınan hava tabakası gökyüzüne doğru hareket eder. Atmosferde bulunan soğuk hava tabakasıysa alt katmanlara geçer. Meydana gelen sıcak ve soğuk hava tabakalarının yer değiştirmesi sonucu rüzgar meydana gelir (Özçelik, 2018).

1.1.2. Hidrolik enerji

Hidrolik enerji santrallerinin çalışma prensibi rüzgar türbinlerinin çalışma prensibine benzemektedir. Rüzgar türbinlerinin hareketi hava ile sağlanırken hidrolik enerji santrallerinde suyun akışı baraj kapakları aracılığıyla durdurularak potansiyel enerji ortaya çıkması sağlanır. Belirli potansiyel enerjiye ulaştıktan sonra kapaklar açılarak borularla basınçlı bir şekilde türbinlere ulaştırılır. Türbinlerin döndürülmesiyle enerji üretimi sağlanır.

1.1.3. Jeotermal enerji

Jeotermal enerji; Yer kabuğunun magmaya yakın bölgelerinde oluşan çatlaklarda sıcak su, buhar ve gazın birikmesiyle elde edilen enerjidir. Suyun sıcaklığı arttıkça buhar oluşur. Oluşan buharın basıncı ile jeneratörlerde bulunan türbinler harekete geçerek elektrik üretimi yapılır (Öztürk 2020).

1.1.4. Biyokütle enerjisi

Biyokütleden elde edilen enerjiye biyokütle enerjisi denilmektedir. Biyokütle enerjisi iki farklı şekilde elde edilebilir bunlardan ilki ormanlardan elde edilen odun, bitki, hayvan atıkları ve ölü hayvan kalıntılarından oluşur. İkincisi ise modern biyokütle enerjisidir. Orman endüstrisinden çıkan atıklar tarım alanında bulunan endüstriyel atıklar, kentsel atıklar, hayvansal atıklar modern biyokütle enerjisini oluşturur. Enerji oluşturabilmek için biyokütle belirli süreçlerden geçer. Bu süreçler; Biyokimyasal süreçler, biyometanlaştırma süreçleri, mikrobiyolojik süreçler, biyofotoliz ve

fermantasyon süreçleridir. Biyogazdan enerji üretimi tamamlandıktan sonra arta kalan sıvı-katı atıklar gübre olarak değerlendirilebilmektedir. Organik madde içeren atıkların mikrobiyolojik yönden değerlendirilmesi ile birlikte hem çevre kirliliğinin önüne geçilmekte hem de temiz enerji üretimine katkı sağlanmaktadır (Anonim, 2022).

1.1.5. Dalga enerjisi

Dalga enerjisi, rüzgarın etkisiyle deniz ve okyanusların yüzey ya da derinliklerinde oluşan basınçla elde edilen enerjidir. Deniz ve okyanuslarda rüzgarın etkisiyle sürekli dalga oluşur ve böylelikle düşük maliyetli yenilenebilir enerji kaynağı oluşur. Dalga makineleri kullanılarak, dalgalar basınçlı bir şekilde türbinlere aktarılır ve enerji üretimi gerçekleştirilir.

1.1.6. Hidrojen enerjisi

Hidrojen Dünya da en basit ve en çok bulunan element olma özelliğini taşımaktadır. Kokusuz, tatsız, renksiz ve havadan 14.4 defa daha hafif bir yapıya sahip olan hidrojen zehirsiz bir gazdır. Hidrojen yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde birim kütle başına en yüksek enerjiye sahip yenilenebilir enerji kaynağıdır.

Hidrojen enerjisi, hidrojen elementinin saf bir halde ayrıştırılmasından sonra oluşan moleküllerden ortaya çıkan bir enerjidir. Hidrojen enerjisi taşımacılık sektörü, uzay roketleri, petrol türevlerinin üretiminde de dahil birçok yerde kullanılmaktadır (TSKB, 2022).

1.1.7. Güneş enerjisi

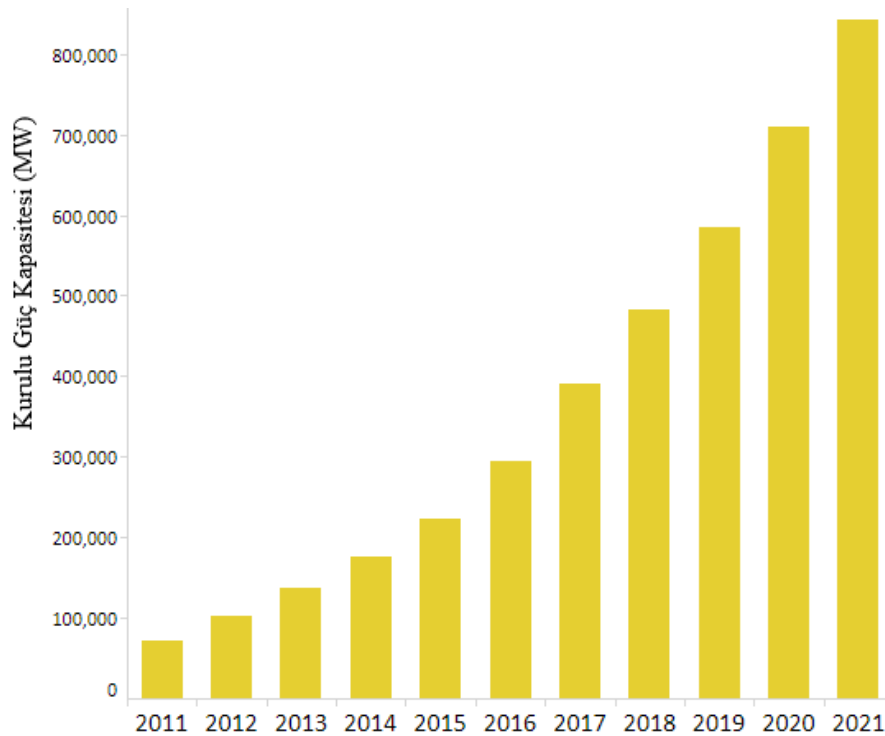
Güneş, yaşamsal temel ihtiyaçların karşılanabildiği yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Hidroelektrik ve fosil enerji sistemlerinin temelini oluşturan güneş, sahip olduğu çok yüksek ısı ve ışık enerjisiyle yeryüzünün aydınlanmasına ve ısınmasına da öncülük eder. Güneş, enerji kaynağı olarak dünyadaki en önemli ve kesintisiz yenilenebilir enerji kaynağıdır. Güneşten çıkan enerji miktarının tamamı yeryüzüne ulaşamamaktadır. Atmosferin dış yüzeyine ulaşan enerji 173104 kW değerindeyken, yeryüzüne ulaşan değer 1395 kW'a düşmektedir. Bunun sebepleri

arasında ozon tabakası ve Dünya ile güneş arasındaki uzaklığı sayabiliriz (Karamanav, 2017).

Teknolojinin gelişimiyle birlikte güneşten enerji üretimi kolaylaşmaya ve pratik bir şekilde kullanılabilmesi sayesinde herkes tarafından fazlasıyla önemsenmeye başlamıştır. Güneş enerjisi elektrik dönüşümünü hayatımızın her yerinde hızlı ve etkili bir biçimde kullanılabilmektedir. Örnek olarak güneş enerjisi ile şarj olan fener, hesap makineleri, kol saatleri gibi küçük ama etkili olan teknolojiler hayatımızda yer edinmiştir (Akar, 2016).

1.2. Dünyada Güneş Enerji Sistemleri

Dünyada enerji kaynakları sınırlı olduğundan ve her yıl artan enerji ihtiyacından yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı artmaktadır. Bunların içerisinde en başta gelen kaynaklardan biri güneş enerjisidir. Güneş enerji santrallerinin kurulumları 2006-2010 yılları arasında başlamıştır. 2011 yılında Dünya da bulunan güneş enerji santrallerinin toplam kurulu gücü Şekil 1.1’de de gösterildiği gibi 72216 MW olduğu görülmektedir. Bu santrallerin kurulumları 2016 yılına kadar sabit bir yükselişte iken 2016 yılından sonra santrallerin kurulumları daha hızlı bir şekilde artmaya başlamıştır.



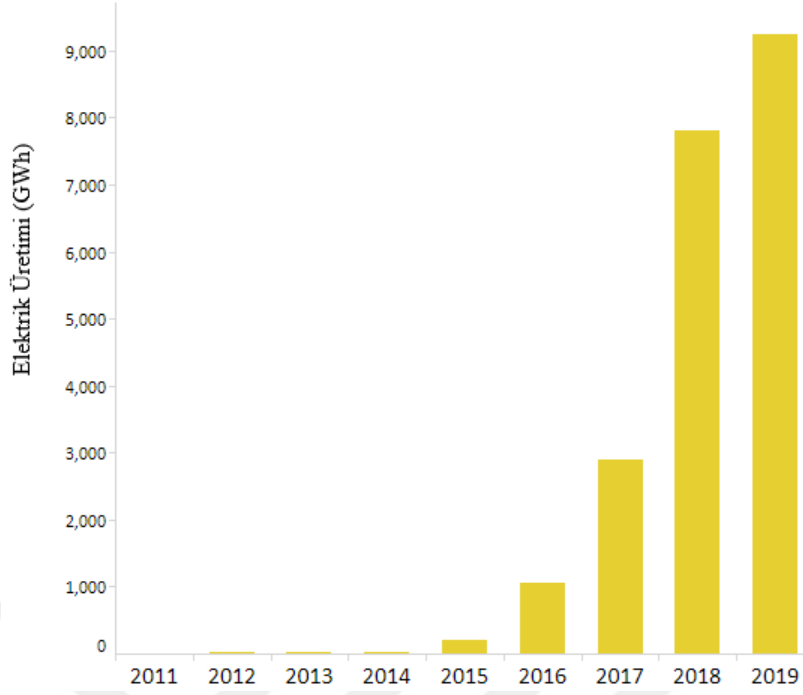
Şekil 1.1. Dünyada güneş enerji santrali kurulu gücü (IRENA 2022)

Güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde son yıllarda en çok rağbet gören enerji kaynaklarında ilk sıralarda gelmektedir. Güneş enerjisi 2000-2003 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynakları içerisindeki oranı %0.16 gibi küçük bir değerde iken 2010-2011 yıllarında hızla bir artışın içerisine girerek 2019 yılında yaklaşık %24 seviyesine ulaşmıştır. Bu şekilde bir yükseliş göstermesinin en büyük sebeplerinden birisi dünyada azalan enerji kaynaklarıdır.

1.3. Türkiye’de Güneş Enerjisi Sistemleri

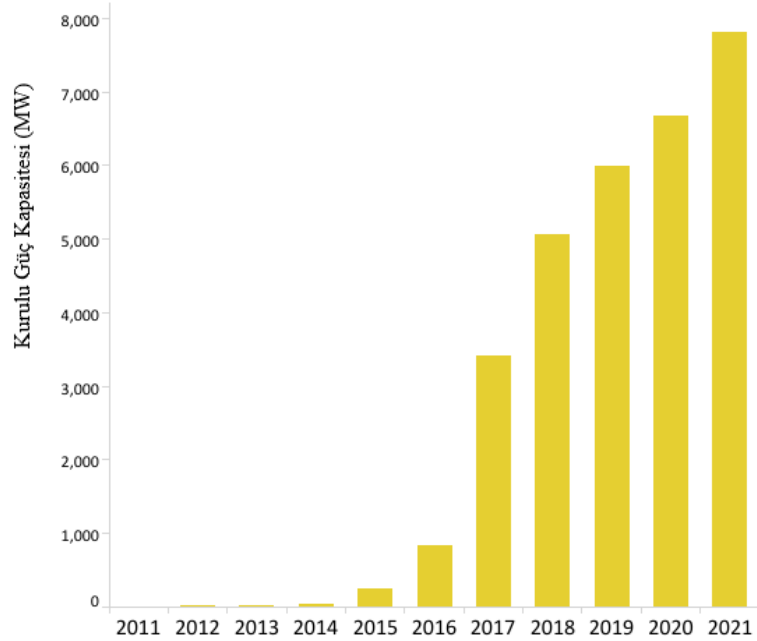
Ülkemiz coğrafi konumundan dolayı güneş enerjisinden elektrik üretimi yapılmasında elverişli bir yapıya sahiptir. Ülkemizin 2021 yılı sonunda elektrik üretiminin %32.7’si doğalgazdan, %31.4’ü kömürden, %16.8’i hidrolik enerjiden, %9.4’ü rüzgar enerjisinden, %4’ü güneş enerjisinden, %3.2’si jeotermal enerjiden ve %2.5’i diğer enerji kaynaklarından gerçekleştirilmiştir. 2022 yılının Mart ayı bitiminde açıklanmış olan verilere göre Türkiye’de 8566 adet güneş, 747 adet hidroelektrik, 355 adet rüzgar, 348 adet doğalgaz, 67 adet kömür, 63 adet kömür, 485 adeti diğer kaynaklardan olmak üzere toplam 10631 elektrik enerji üretim santrali vardır ve 100334 MW kurulu güce sahiptir. Bu kurulu gücü oluşturan enerji kaynaklarından %31.4’ü hidrolik enerji, %25.4’ü doğal gaz, %20.4’ü kömür, %10.8’i rüzgar enerjisi, %8’i güneş enerjisi, %1.7’si jeotermal ve %2.4’ü ise diğer kaynaklardan oluşmaktadır (ETKB, 2022).

Ülkemizde güneş enerjisi üretim miktarının yıllara göre değişimi Şekil 1.2’de görülmektedir. 2011 yılı ile 2019 yılları arasında üretilen güneş enerjisi değerlerinin görüldüğü bu grafikte güneş enerjisi üretim değerleri özellikle 2017’den sonra büyük bir artış sergilemiştir.



Şekil 1.2. Türkiye güneş enerjisi üretim verisi (IRENA, 2022)

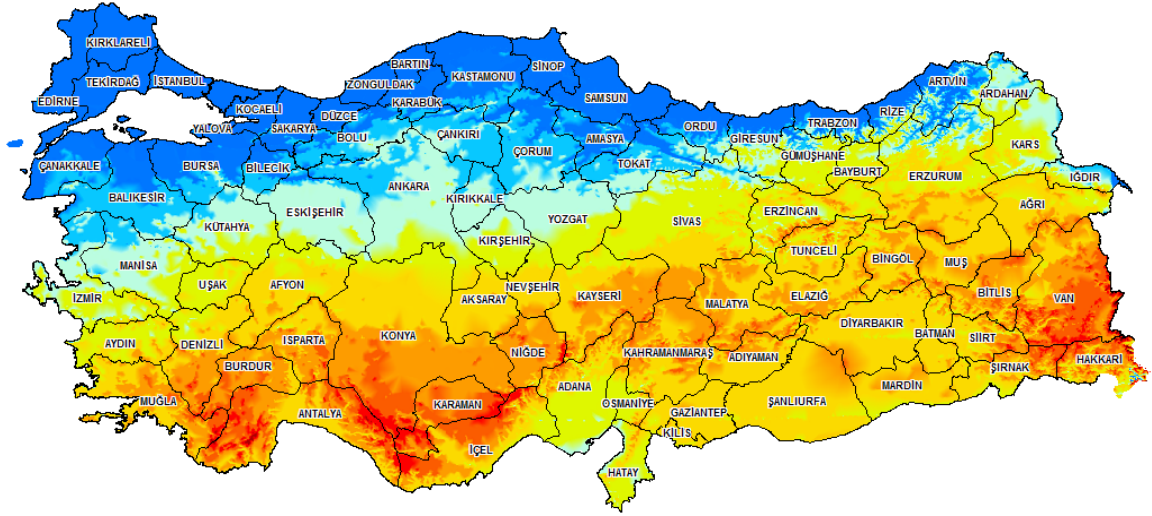
Türkiye’de 2011 yılında güneş enerjisinden 10 GWh enerji üretimi yapılırken bu değer 2019 yılında 9250 GWh’a ulaşmıştır. Ülkemizde güneş enerjisinden enerji üretimini artırmak için teşvikler ve alım garantilerin verilmesi ile enerji üretiminin 925 kat artışı görülmüştür. Şekil 1.3’de ülkemizde kurulu olan güneş enerji santrallerinin topla kapasitesinin yıllara göre değişimi görülmektedir.



Şekil 1.3. Türkiye güneş enerji santrali kurulu gücü (IRENA, 2022)

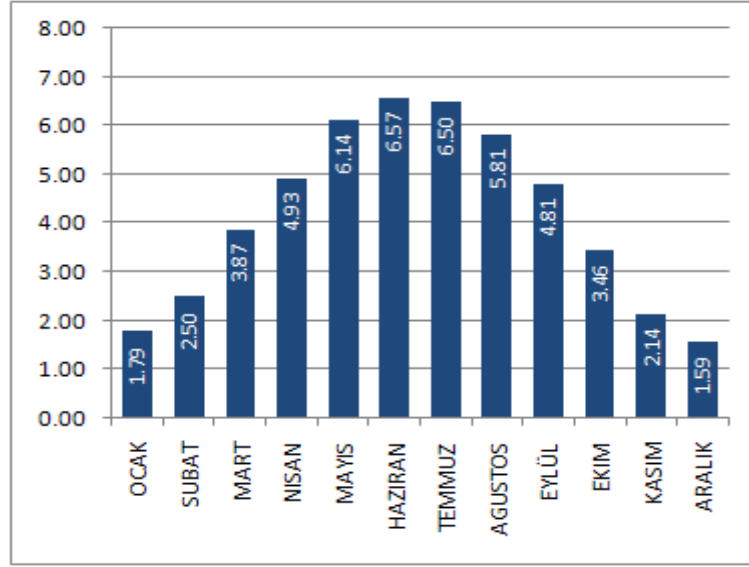
Türkiye, 2011 yılında 7 MW güneş enerji santralleri kurulu gücüne sahipken, 2021 yılına gelindiğinde bu değer büyük bir artış göstererek 7816 MW'a yükselmiştir. Kurulu gücün en fazla 2017 yılında artış gösterdiği görülmektedir.

Türkiye'nin ortalama güneş radyasyon haritası Şekil 1.4'te görülmektedir. Ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2741.07 saat ve günde toplam 7.5 saat olarak belirlenmiştir.



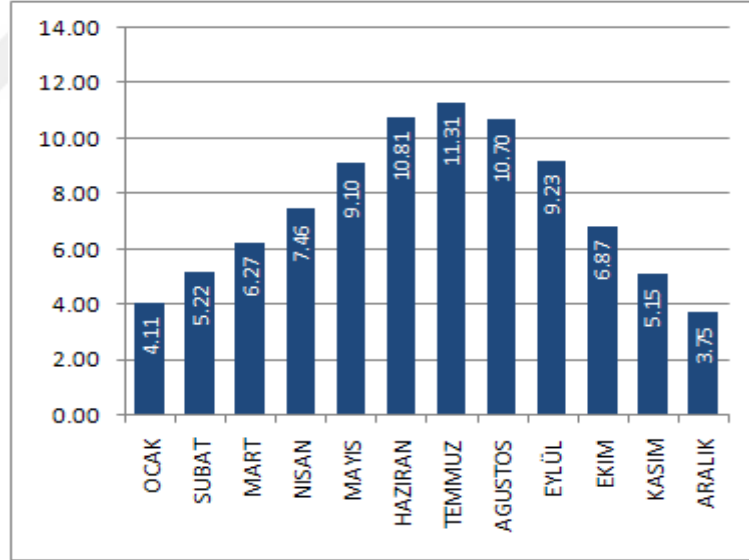
Şekil 1.4. Türkiye güneş radyasyon haritası (GEPA 2022)

Ortalama toplam ışıınım şiddeti ise $1527.46 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$ ve günlük toplam 4.18 kWh/m^2 olarak tespit edilmiştir. Şekil 1.5'de Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü aracılığıyla edinilen Türkiye aylık global radyasyon ortalamaları belirtilmiştir. Ülkemiz kuzey yarım kürede bulunduğu için güney kısımlarda bulunan bölgelerin daha yüksek radyasyon değerine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 1.5. Türkiye global radyasyon değerleri (GEPA, 2022)

Şekil 1.6’da ülkemizde en yüksek 6.57 kWh/m²-gün ile haziran ayı, en düşük 1.59 kWh/m²-gün radyasyon değeri ile aralık ayı olduğu gösterilmektedir.



Şekil 1.6. Türkiye güneşlenme süreleri (GEPA, 2022)

Türkiye’de en fazla güneşlenme süresi 11.31 saat ile Temmuz’da; en düşük 3.75 saat ile Aralık’da gözlenmiştir.

1.4. Konya’da Güneş Enerji Sistemleri

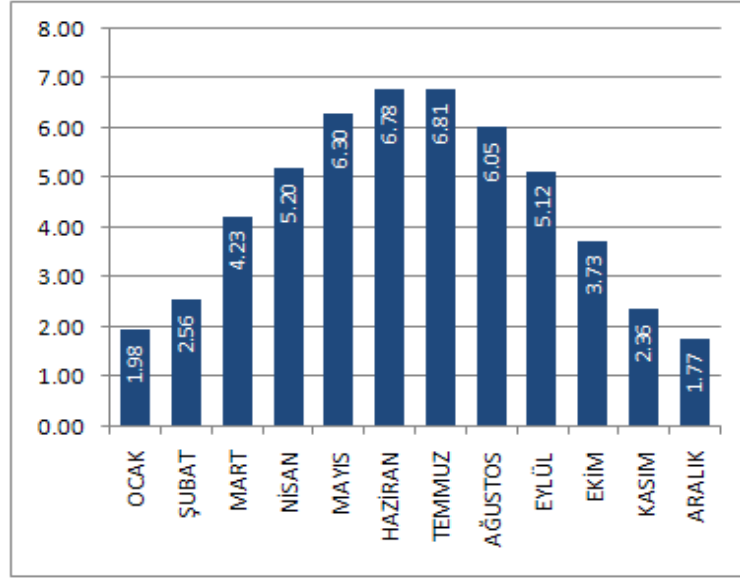
Türkiye’de bulunan güneş enerji santrali kurulu gücü günümüz itibariyle 8566 MW’tır. Bu rakamın 918 MW’ı Konya’da bulunan güneş enerji santrallerinden oluşmaktadır. Konya geniş, engebesiz arazi yapısı ve yıl içerisinde yağışlı gün sayısının az olmasından dolayı güneş enerji santrali kurulumuna oldukça elverişlidir.

Ülkemiz kuzey yarım kürede bulunduğu için güney bölgeleri kuzey bölgelerine göre daha fazla güneşlenme potansiyeline sahiptir. Konya ilindeki güney ilçeleri 1750 – 1800 kWh/m²-yıl radyasyon verisine sahipken kuzeyde bulunan ilçeleri 1500 – 1550 kWh/m²-yıl radyasyon verisine sahip olduğu Şekil 1.7’de görülmektedir.



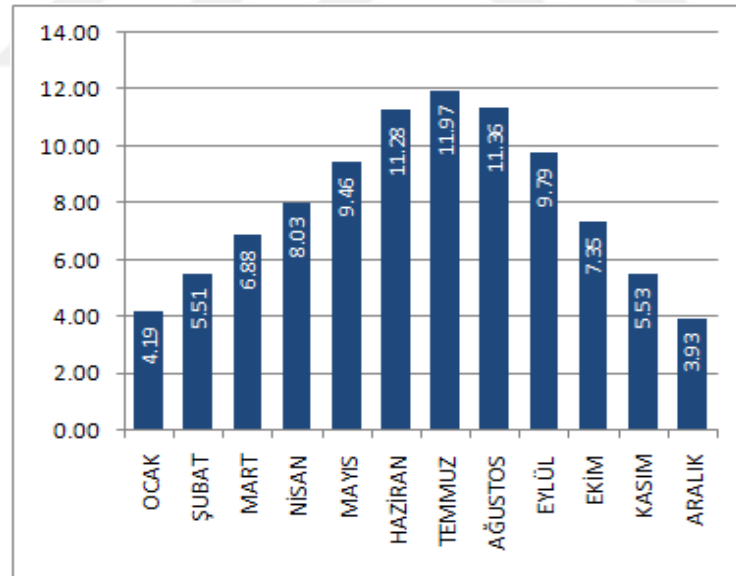
Şekil 1.7. Konya ili güneş radyasyon haritası (GEPA, 2022)

Konya ili global radyasyon değerleri Şekil 1.8’e göre 6.81 kwh/m²-gün radyasyon verisi ile temmuz ayında en yüksek radyasyon değerine ulaşmıştır. Aralık ayı 1.77 kwh/ m²-gün ile en düşük radyasyon değerine sahiptir.



Şekil 1.8. Konya ili global radyasyon değerleri (GEPA, 2022)

Konya ilinin geçmiş meteorolojik verilerinden elde edilen güneşlenme süreleri aylık olarak Şekil 1.9’da gösterildiği gibi en düşük 3.93 saat ile aralık ayı; en yüksek 11.97 saat ile temmuz ayı olmuştur.



Şekil 1.9. Konya ili güneşlenme süreleri (GEPA, 2022)

1.5. Güneş Enerji Santrali Sistem Ekipmanları

Güneş enerji santrallerinde invertör, fotovoltaik modül, AC kablo, DC kablo, transformatör ve konstrüksiyon gibi ekipmanlar kullanılmaktadır.

1.5.1. İnvvertör

İnvvertör, güneş panellerinden üretilen elektrik enerjisinin kontrollü bir şekilde dönüşümünü sağlayan sistem elemanıdır. Panellerin çıkışında meydana gelen doğru akımdır (DC). Tüketicilerin kullanımı sağlamak için üretilen güç alternatif akım (AC) olarak şebekeye verilmelidir. İnvvertörler panellerde oluşan DC gücü içerisinde bulunan güç elektroniği elemanları vasıtasıyla kontrollü bir şekilde AC'ye dönüştüren sistem elemanıdır.

Bir örneği Şekil 1.10'da görülen invertörler, merkezi ve string olarak iki tipe ayrılmaktadır. Arazilerde paneller tek yönlü cephelendirildiği için merkezi invertör kullanılabilir. Merkezi invertörler genellikle arazi tipi güneş enerji santrallerinde kullanılmaktadır. Çatı uygulamalarında ise gölge unsurları ve cephe farklılığı olabildiği için yaygın olarak tercih edilmemektedir. Diğer yandan; String invertörler güçlerine göre bir ya da birden çok Maximum Power Point Tracking (MPPT)'e sahip olabilir. Birden çok MPPT'ye sahip olan invertörler, panel yerleşimine göre daha kullanışlı olabilir (Ayran, 2019).



Şekil 1.10. İnvörtör

1.5.2. Fotovoltaik modül

Güneş enerji santrallerinin en önemli ekipmanlarından biri güneş panelleridir. Güneş ışınlarının panel yüzeyine çarpmasıyla elektron alışverişi başlar ve bunun sonucunda elektrik enerjisi elde edilir. Güneş panelleri solar hücrelerden meydana gelmektedir. Hücrelerin gücü ve sayısına göre panel gücü belirlenir. İçerisinde bulunan hücrelerin seri ya da paralel bağlantı yapılması ile panel üretimi yapılır. Paneller seri ya da paralel bağlanak dizi oluşturulur. Seri bağlantı yapılarak gerilimin, paralel bağlantı yapılarak akımın artması sağlanır.

Fotovoltaik modüllerin monokristal, polikristal, ince film ve esnek panel gibi çeşitleri vardır (Keskin, 2019).

Şekil 1.11’de çalışma yapılan arazi tipi güneş enerji sisteminde kullanılmış olan 72 hücreye 315 Wp güce sahip fotovoltaiik modüle ait etiket bilgileri yer almaktadır.



Şekil 1.11. Fotovoltaiik modül etiketi

Güneş enerji santrallerinde kullanılan örnek fotovoltaiik modüller Şekil 1.12’de görülmektedir.



Şekil 1.12. Fotovoltaiik modüller

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Öztürk, 2021 yılında gerçekleştirdiği yüksek lisans tez çalışmasında simülasyon programları ile yapılan tahminleri gerçek üretim verisi ile kıyaslayarak simülasyon programının gerçek üretim verisinden %3.74 oranında daha fazla hesapladığı sonucunu ortaya koymuştur. Bu oranın paneller üzerinde oluşabilecek kirlilik, kış şartları ve simülasyon programında yer almayan doğru akım kablosu, alternatif akım kablosu, saha toplama panoları ve trafo gibi malzemelerden kaynaklı meydana geldiğini belirtmiştir.

Keskin, 2019 yılında gerçekleştirdiği yüksek lisans tez çalışmasında Niğde ilinde bulunan güneş enerji santrali için modelleme yaparak enerji üretimi ve kayıp değerleri ile sistem performans parametrelerini hesaplamıştır. Sistem performansının kayıp parametrelerini inceleyerek tozlanma, ısı kayıp, invertör kaybı gibi çeşitli nedenlerden oluşabileceğini ve kayıpların büyük bir kısmının modüllerin bozulma kaybı olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Kınalı, 2021 yılında gerçekleştirdiği yüksek lisans tez çalışmasında güçleri farklı güneş enerji santrallerini farklı simülasyon programları kullanarak kapasite faktörü, performans oranı, final verimi, referans verimi ve yıllık enerji üretim parametrelerini incelemiştir. Parametre kıyaslamasında simülasyon programlarının doğruluğunu meteorolojik veri tabanının etkilediğini ve hata payının PVSOL programında en düşük olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Akar, 2021 yılında gerçekleştirdiği yüksek lisans tez çalışmasında kullanılması öngörülen güneş paneli verileri ile oluşturmuş olduğu Matlab/Simulink modelini kıyaslayarak akım-gerilim grafiğini doğrulamıştır. Kullanmış olduğu PVSYST simülasyon programı ile santrale ait amortisman süresini 6.96 yıl olarak hesaplamıştır.

Tekkale, 2018 yılında gerçekleştirdiği yüksek lisans tez çalışmasında ışıınımı farklı olan çeşitli bölgelerde aynı güce ve donanımına sahip santrallerin kıyaslamasını gerçekleştirmiştir. İnceleme yaptığı bölgelerde ülkemizde en yüksek ışıınıma sahip olan Şanlıurfa ilinin en kısa amortisman süresine sahip olduğu; Ankara ilinin ise en uzun amortisman süresine sahip olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Kılıcı, 2020 yılında gerçekleştirdiği yüksek lisans tez çalışmasında PVSYST simülasyon programı kullanarak tek yüzeye sahip panel kullanarak sabit, mevsimsel açısı değişebilen, tek eksenli güneş takip sistemli, çift yüzeyli sabit sistem ve çift yüzeyli güneş takip sistemleri üzerine performans analizleri gerçekleştirmiştir. Bu

analizler sonucunda maksimum verime %90.48 ile çift yüzeye sahip panel kullanarak tek eksenli güneş takip sisteminde ulaşmıştır.

Yakut, 2017 yılında gerçekleştirdiği yüksek lisans tez çalışmasında Isparta ili için geçmiş meteorolojik veriler, farklı veri tabanlarının ısıtım değerleri ve sistemin çalışabilmesi için yapılacak giderleri hesaplayarak sistemin amortisman süresinin yaklaşık 8 yıl olduğunu ve 10 yılın altında kaldığı için yatırım yapılabilen bir sistem olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Şahin, 2019 yılında gerçekleştirdiği yüksek lisans tez çalışmasında 200 kW gücündeki güneş enerji santralinin değişik iklim koşullarında kurulu sistemden ölçülen verilerini kıyaslamıştır. Çalışmada güneş panellerinin güneşli, serin ve rüzgârlı havalara sahip iklim şartlarında daha fazla güç akışının sağladığı sonucuna ulaşmıştır.

Ayran, 2019 yılında gerçekleştirdiği yüksek lisans tez çalışmasında Kütahya’da belirlemiş olduğu arazi tipi güneş enerji santralinin benzetim programı ile gerçek değerleri arasındaki oransal farkı hesaplamıştır. İklim şartlarına göre 25 derecelik açı ile konumlandırılan Kadmiyum Tellürid yapıda bulunan ince film panellerin diğer PV panellere göre daha yüksek verime sahip olduğunu bölgedeki aşırı sıcaklık kaynaklı merkezi invertörlerde kabin sıcaklığının korunamaması sonucu devre dışı kaldığı ve bu tür bölgelerde dizi invertör kullanılması gerektiği sonucuna ulaşmıştır.

Çiftçi, 2016 yılında gerçekleştirdiği yüksek lisans tez çalışmasında tek kristalli ve çok kristalli güneş panellerini kıyaslayarak güç analizi yapmıştır. Bu analiz sonucunda tek kristalli güneş panelinin veriminin çok kristalli güneş paneline göre daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmış ancak çok kristalli güneş paneli kullanımının maliyeti daha düşük olduğundan amortisman süresinin daha kısa olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Özçelik, 2018 yılında gerçekleştirdiği yüksek lisans tez çalışmasında santralin kurulacağı bölge için Türkiye enerji potansiyeli haritasına bakılarak plan yapılması gerektiğini belirterek yatırım için uygun saha belirlendikten sonra teknik konularda nasıl ilerlenmesi gerektiğini incelemiştir. Sistem tasarımının belirlenmesi, panellerin eğim açısı, evirici, panel üreticisinin yıllık üretime etkisi, kablo kesiti ve kablo uzunluğu gibi etkileri incelemiştir. Bu inceleme sonucunda eğim açısı olarak 30 derecede, PV dizi/evirici oranının 1.1-1.2 aralığında olması gerektiği, büyük kablo kesiti kısa ve coğrafi koşullara göre panel seçiminin yapılarak tasarlanan sistemlerin daha verimli olacağı sonucuna ulaşmıştır.

Cebeci, 2017 yılında hazırlamış olduğu uzmanlık tezinde Dünya ve Türkiye’nin güneş enerjisinden elektrik üretim potansiyelinin değerlendirmesini yaparak, GES

yatırımlarının amortisman sürelerini hesaplamıştır. Güneş enerjisinden üretilen elektrik enerjisinin maliyetinin teşviklerle zamanla azaldığı sonucuna ulaşmıştır.

Sağlam, 2018 yılında yazmış olduğu tez çalışmasında güneş enerji sistemlerinin kurulum aşamalarını, kurulu olan santrallerin verim analizlerini yapmıştır. Yapmış olduğu simülasyonlar sonucunda kurulum yapılmadan önce simülasyon yapılarak tahmini üretim değerlerini hesaplamanın, meteorolojik değerlerin göz önüne alınmasının önem arz ettiği sonucunu ortaya çıkarmıştır.

Çınaroğlu, 2021 yılında yayınlamış oldukları makale de Kilis ilinde bulunan üç adet güneş enerji santralinin aynı özelliklerde simülasyon programlarında çizimleri ve simülasyonları yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda santrallerin yıllık üretim değerleri arasında değişiklikler gözlemlendiğini belirtmişlerdir. Panel verimlerinin her yıl azaldığı bundan dolayı da üretim miktarının düştüğü belirtilmektedir. Bulutsuz ve güneşli günlerin fazla olduğu aylarda üretim artmaktadır. Başka bir durumda ise sıcak olan yaz aylarında sıcaklığın etkisi ile kayıpların oluşacağı sonucunda ulaşmışlardır.

Kılınç, 2019 yılında yazmış olduğu tez çalışmasında İzmir için 500 kW'lık fotovoltaik sistemin yüzey alanının hesabı yapılmıştır. Yapılmış olan hesaplarda panellerin yatayla yaptığı eğim açısını sabit tutmak yerine yaz ve kış aylarında farklı eğim açılarıyla kurulum yapılacağı düşünülmüştür. Sistemin hangi aylarda ve hangi durumlarda daha fazla enerji üreteceği ya da daha fazla güneş ışıınımdan yararlanabileceği ortaya koyulmuştur. Ortaya koyulan çalışmalarda monokristal PV paneller ve polikristalli panel arasındaki %4 verim farkı olduğunu ve panel alanında %23.6 oranında ciddi kazanç farkı olduğunu belirtmişlerdir.

Tunçgövde, 2020 yılında yazmış olduğu tez çalışmasında İzmir ilinde uygun panel seçimi ve yatırımın doğru bir şekilde yapılması için gerekli değişkenler kullanılarak verimlilik hesapları ve yatırım maliyeti analizi yapmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda panellerin ömrü olan 25 senelik süreç sonunda kazanımlar hesaplanmıştır. 25 seneye göre yapılmış olan hesaplamalar üzerine monokristal yapılı panellere sahip olan santrallerin verimlilik ve finansal bakımdan polikristal yapılı santrallere göre daha uygun olduğunu belirlemiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Güneş enerji santrallerinin kurulumu yapıldıktan sonra sistem performansının izlenmesi gerekmektedir. Bunu gerçekleştirmek için simülasyon programlarının vermiş olduğu simülasyon sonuçlarından ve santralde bulunan hava istasyonundan alınan veriler ile üretilen enerjinin kıyaslanması gerekmektedir.

3.1. Konya İlindeki Arazi Tipi Güneş Enerji Santrali

Konya İli Çumra ilçesi Apa Mahallesinde 1052 m rakıma sahip arazide bulunan 999 kW Güneş Enerji Santrali kurulumu gerçekleştirilmiştir. Santralin DC kurulu gücü 1149.12 kWp ve AC kurulu gücü 999 kWe'dir.

Üzerinde simülasyon çalışmaları yapılacak olan santralin drone ile çekilmiş görüntüsü Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışma yapılan güneş enerji santralinin drone görüntüsü

İncelenecek olan arazi tipi güneş enerji santralinde 72 hücreye sahip 3648 adet Jinko KM315PP-72 315 Wp panel kullanılmıştır. Kullanılmış olan fotovoltaik modüle ait teknik özellikler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Sistemde kullanılan PV modül teknik özellikleri

DC Elektriksel Özellikler	
Maksimum güç (Pmax)	315 Wp
Maksimum Güç Voltajı (Vmp)	37.2 V
Maksimum Güç Akımı (Imp)	8.48 A
Açık Devre Voltajı (Voc)	46.2 V
Kısa Devre Akımı (Isc)	9.01 A
Modül Verimliliği STC	16.23%
Çalışma Sıcaklığı (°C)	-40°C ~ +85°C
Maksimum Sistem Voltajı	1000VDC (IEC)
Maksimum Seri Sigorta Akımı	15 A
Güç Toleransı	0+3%
Maksimum Güç Sıcaklık Katsayıları	-0.4 % / °C
Açık devre Voltajı Sıcaklık Katsayıları	-0.3 % / °C
Kısa Devre Akımı Sıcaklık Katsayıları	0.06 % / °C
Maksimum Verim	0.988
Nominal Çalışma Hücre Sıcaklığı	45±2 °C
Mekanik Özellikler	
Tip	Polikristal Silikon
Çıkış Terminal Tipi	Çoklu Kontak Konnektör Tip 4
Uzunluk	1.956mm
Genişlik	992mm
Derinlik	40mm
Modül Yüzey Alanı	1.94 m ²
Ağırlık	26.5kg
Kablo Uzunluğu	900mm

Santralde ABB PVS800-57 1000 kW, tek MPPT'ye ve 3 modüle sahip merkezi invertör kullanılmıştır. İnvertöre ait teknik özellikler Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Sistemde kullanılan merkezi invertör teknik özellikleri

Invertör Teknik verileri	
Tip adı PVS800-57	-1000kW-C 1000 kW
Giriş (DC)	
Maksimum giriş gücü (PPV, mak)	1200 kWp
DC voltaj aralığı, mpp (UDC, mpp)	600 V – 850 V
Maksimum DC voltaj (U _{mak} (DC)	1100 V
Maksimum DC akımı (I _{mak} (DC)	1710 A
Korumalı DC giriş sayısı	8, 12, 16 (+/-)
Çıkış (AC)	
Nominal güç (PNAC))	1000 kW
Maksimum çıkış gücü	1200 kW
cos = 0.95 için güç	950 kW
Nominal AC akım (I _N (AC))	1445 A
Nominal çıkış voltajı (U _N (AC))	400 V
Çıkış frekansı	50/60 Hz
Harmonik bozulma, akım	< 3%
Dağıtım şebekesi tipi	TN ve IT
Verim	
Maksimum	0.988
Euro-eta	0.986
Güç Tüketimi	
Çalışma sırasındaki iç tüketim	630 W
Bekleme modunda tüketim	45 W
Harici yardımcı voltaj	230 V, 50 Hz
Boyutlar ve ağırlık	
Genişlik / Yükseklik / Derinlik mm (G/Y/D)	3630/2130/646
Yaklaşık ağırlık (kg)	2600

Bu projede her bir diziye 315 Wp gücünde 19 adet panel bağlanmıştır. Her dizinin gücü 5985 W'a karşılık gelmektedir. Toplamda özdeş şekilde her bir DC toplama panosunda 24 dizi bağlantısı olacak şekilde 8 DC toplama panosu kullanılmıştır. DC toplama panoları kullanılarak DC kablolardaki kayıpları azaltarak daha yüksek verim elde edilmesi planlanmıştır. Bu DC toplama panolarında 6 mm² kesitine sahip kablolar yardımıyla merkezi invertöre giriş yapılmıştır.

3.2. Simülasyon Programları

Günümüzde güneş enerji sistemleri kurulumu yapılmadan önce simülasyon programları kullanarak sistem tasarımı yapılabilmektedir. Sistemin simülasyon modelleri 3 boyutlu olarak yapılabildiği için gün içerisinde oluşabilecek gölgelenmeler saat bazlı olarak görülebilmektedir ve kurulumu planlanmakta olan bölgenin coğrafi bilgileri esas alınarak meteorolojik verilerden yararlanıp sistemin

gerçekleştirebileceği üretimin performansı ve sistem davranışları yüksek doğrulukla tahmin edilebilmektedir.

Simülasyon programlarında piyasada bulunan birçok invertör ve PV modüle ait teknik veriler bulunmaktadır. En çok bilinen PV simülasyon programları PV*SOL, PVSyst, PvGIS, HOMER'dır (Ceylan, 2017).

Örnek olarak kullanılacak santralin analizi için PV*SOL ve PVSyst programları kullanılmıştır. Güneş enerji santralleri kurulumu gerçekleştirilmeden önce tasarımın yapılmasında simülasyon programlarında dağıtım şirketleri tarafından gönderilen çağrı mektubunun uygun gördüğü güce ve uygulama yapılacak alana göre panel seçimi ve yerleşimi yapılması gerekmektedir. Panel seçimi yapılmadan önce monokristal, polikristal, ince film vb. olarak panel türü belirlenmelidir. Panel türü belirlendikten sonra farklı markalara ait panellerin teknik verilerine göre seçim yapılır. Bu noktada simülasyon programlarında panellerin konumlandırılacağı eğim açısı, dikey veya yatay konumlandırılacağı, paneller arası montaj ekipmanı aralığı, masalar arasındaki mesafe gibi parametreler girilerek seçimi yapılmış olan panelin ebatlarına göre belirtilen alana yerleşim yapılır. Bu yerleşim sonucunda kullanılacak olan panel adeti belirlenmiş olur. Simülasyon programlarında bu noktada string'leme tamamen program tarafından yapılabilmekte olup tasarımcının belirlediği şekilde de dizayn edilebilmektedir. Bölgenin geçmiş meteorolojik verilerine göre saatlik, günlük, aylık ve yıllık olarak enerji üretim değeri tahmin denemeleri yapılmaktadır. Simülasyon programları kullanılan panel, invertör ve dizi yapısının uygunluğunu kontrol ederek simülasyon yapılmasını sağlar (Kınalı, 2019).

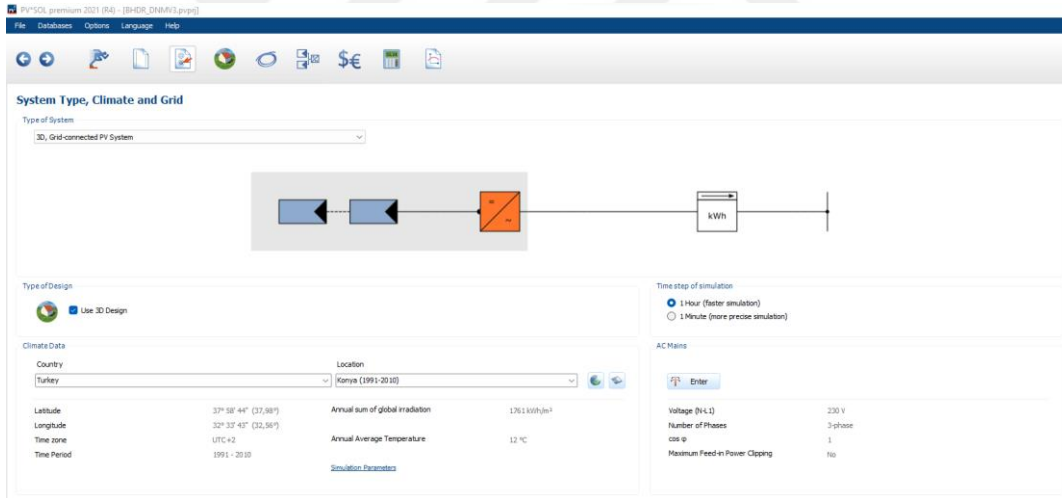
3.2.1. PV*SOL

PV*SOL programı, santralin saatlik periyotlarda verimini ve güç kapasitesini hesaplayarak ve 3D olarak gölgeleme simülasyonu yaparak tasarımı gerçekleştirir.

Kurulumu gerçekleştirilecek olan güneş enerji santrallerinin verimlerini hesaplamak, amortisman süresini hesaplamak ve tasarım hatalarının önüne geçmek hususunda simülasyonlar büyük önem arz etmektedir. PV*SOL programında 5000 adet PV modüle kadar gölgelendirme hesaplamaları yapılabilmektedir. Ayrıca, 3D menü navigasyonu da bulunmaktadır. Bu menü, arazi görünümü, nesne görünümü, modül kapsama alanı, modül montajı, modül konfigürasyonu ve kablo planı gibi seçenekler içermektedir. Şebekeden bağımsız sistemler için, alternatif akım ile bağlı yükler

üzerinde profesyonel bir biçimde simülasyonlar gerçekleştirilebilmektedir. PV sistem tasarımını gerçekleştirirken sırasıyla; harita tabanı üzerinden istenilen enlem ve boylam parametreleri, PV modülün teknik özellikleri, toplam kapasiteleri ve montaj bilgileri (montaj eğimi, yatay ile açısı ve montaj sahası özellikleri), invertör sayısı, teknik özellikleri ve dizilişi, sistem kurulumunda kullanılacak olan tüm enerji kablolarının uzunluğu ve kesitleri, 3D görsel tasarım seçeneği ile PV bileşenlerin görselleştirilmesi adımları yapılmaktadır. PV*SOL simülasyon programında iklim veri tabanı olarak MeteoSyn kullanılmaktadır. İstenilirse kullanıcının tercihi doğrultusunda mevcut ölçülen değerlerden ekleme yoluyla ya da kullanıcının kendisinin aylık ortalama değerlerine göre hesaplamalar yapılabilmektedir. PV*SOL, girilen parametrelere dayanarak bir verim hesaplaması gerçekleştirir. Veri tabanında bulunan her PV modül için matematiksel karakteristik çizginin yeniden hesaplanması söz konusudur. Bu da modül verimlerinin tam olarak hesaplanacağı anlamını taşımaktadır (Ceylan, 2017).

PV*SOL yazılımının proje başlangıç ekranı Şekil 3.2’de gösterildiği gibidir.



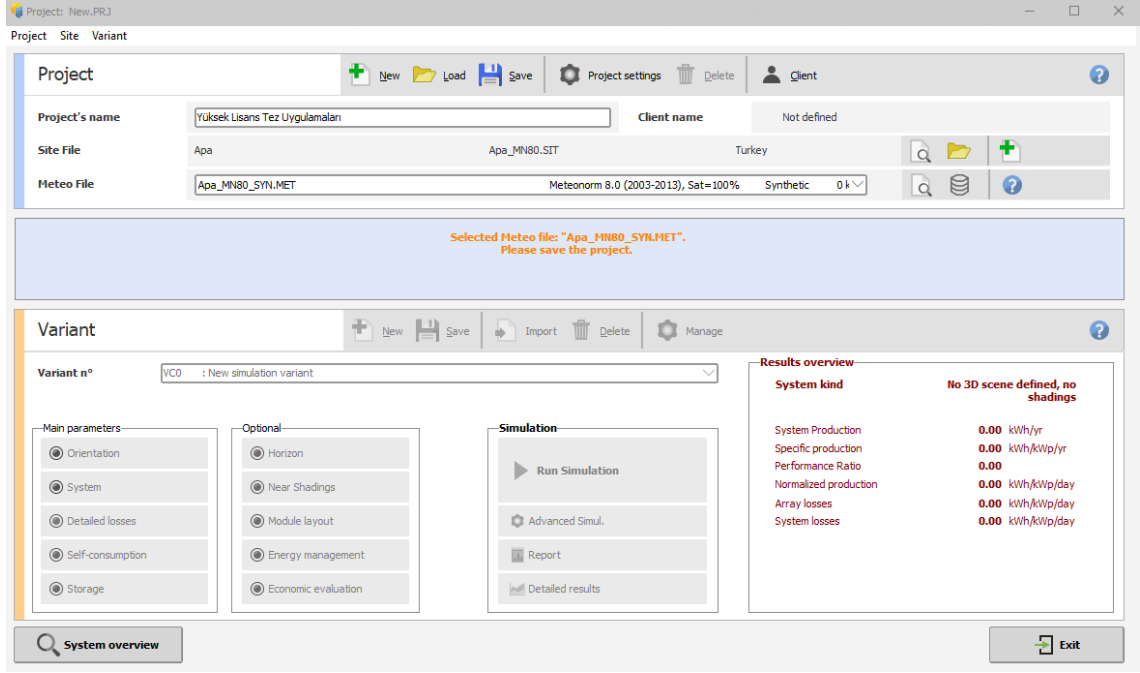
Şekil 3.2 PV*SOL programı proje giriş ekranı

3.2.2. PVsyst

PVsyst, İsviçre Cenevre Üniversitesi’nin geliştirmiş olduğu fotovoltaik sistemlerin simülasyonunu gerçekleştirmek için kullanılan bir programdır. Bu yazılım tasarımcıya fotovoltaik sistemlerin 3D boyutlandırmasını sağlayarak gerçekçi bir simülasyon yapılmasını sağlar. İçerisinde birçok PV modül ve invertör kütüphanesi bulundurmasıyla beraber, yeni bir ürün modeli ekleme özelliğine de sahiptir. (Kılıcı, 2020).

PVsyst, tasarımı yapılacak olan bölgenin meteorolojik verilerini, gölgelenme, masalar arası mesafe, PV modül açısı, PV modüllerin zamana bağlı olarak verim kaybını, PV modüllerin teknik ve fiziksel özellikleri gibi birçok değişken parametreye göre analizler gerçekleştirerek sisteme ait performans verilerini kullanıcıya sunmaktadır.

PVsyst yazılımının projeye başlangıç ekranı Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



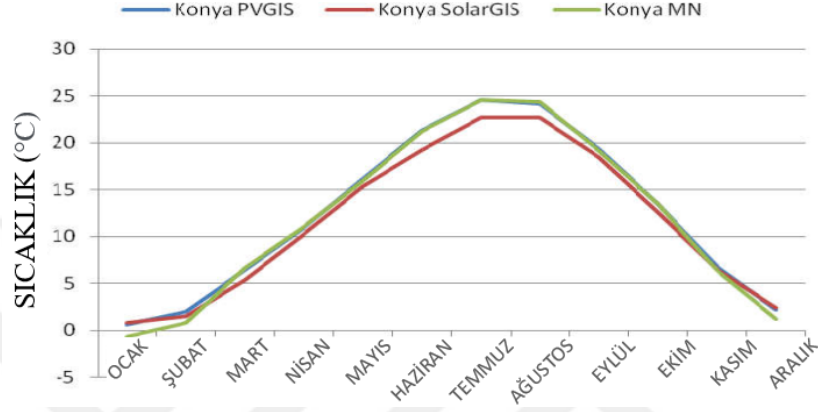
Şekil 3.3. PVsyst programı proje giriş ekranı

3.3. Meteorolojik Veriler

Belirli bir bölge için ışımayı değerlendirmenin ve referans değerini belirlemenin birkaç yolu vardır. En yüksek doğruluk, ekipmanın güncel olması ve düzenli olarak bakımının yapılması koşuluyla, yer ölçüm istasyonlarından alınan verilerden alınmaktadır. Yer ölçümleri genellikle ulusal veya bölgesel meteoroloji servisleri tarafından alınır. Tipik olarak istasyonlar büyük şehirler, havaalanları veya dağ zirveleri gibi özel coğrafi konumlarda bulunur. Alternatif olarak, yerdeki küresel ışımayı belirlemek için uydu resimleri kullanılabilir. Bu nedenle, uydu resimlerinde de görüldüğü gibi bulut dağılımı, yansıyan ışıyım ve güneşin konumu, yerdeki radyasyonu hesaplamak için algoritmalarla beslenir. Uydu ölçümleri çeşitli kurum ve şirketler tarafından sunulmaktadır. Uydu tabanlı veri sağlayan farklı kurum ve kuruluşlar

hesaplama için farklı algoritmalar kullandıklarından aynı girdi kullanılmasına rağmen değerler oldukça değişkendir. Ayrıca, hesaplamalar farklı bölgeler için bazı tutarsızlıklar göstermektedir.

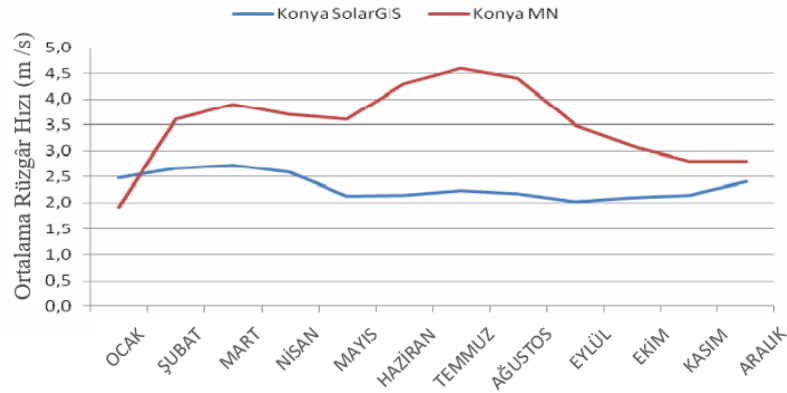
Şekil 3.4'te üç farklı meteorolojik veri tabanının oluşturduğu aylık dağılım gösterilmiştir. Görüldüğü gibi Meteororm ve PVGIS hemen hemen aynı sıcaklıkları gösterirken SolarGIS oldukça düşük sıcaklıklar göstermektedir.



Şekil 3.4. Yıllık ortalama ortam sıcaklığının aylık değişimi

Yağış dağılımının PV modüllerin kirlenmesi üzerinde büyük etkisi vardır. Yağışla ilgili güncel verileri sağlayan tek kaynak Meteororm'dur.

Rüzgar, fotovoltaik modüllerin soğutulmasında önemli rol almaktadır. Yani rüzgar hızı, analiz edilmesi gereken bir diğer faktördür. Rüzgar hızı verileri SolarGIS (1994-2015) ve Meteororm (2000-2009) tarafından sağlanmaktadır. Şekil 3.5'te her iki kaynak için aylık değişim görülmektedir.



Şekil 3.5. Ortalama rüzgâr hızının aylık değişimi

3.4. Sistem Performans Parametreleri

3.4.1. Fotovoltaik dizi verimi(Y_A)

Bir fotovoltaik diziden belirli bir periyotta günlük, aylık ya da yıllık elde edilen enerjinin, P_o kurulu güç değerine bölünmesiyle dizi kazancı hesaplanır (Eşitlik 3.1). Birimi kWh/kWp/gün'dür (Keskin 2019).

$$Y_A = E_a / P_o \quad (3.1)$$

3.4.2. Referans kazancı (Y_R)

Referans kazancı, ideal koşullarda elde edilebilecek enerjiyi belirtir. Y_R parametresi verimli güneşlenme saatine ya da belli bir düzleme gelen toplam güneş ışıınım değerine eşittir. POAI değerinin, fotovoltaik referans ışıınım değeri G' 'ye bölünmesi ile elde edilir ve Eşitlik 3.2'de olduğu gibi hesaplanır (Keskin 2019):

$$Y_R = POAI / G \quad (3.2)$$

3.4.3. Final kazancı (Y_F)

Belirli bir periyotta günlük, aylık ya da yıllık elde edilen AC enerji değerinin, santralin standart test koşullarında maksimum olan kurulu güç değerine bölünmesiyle Eşitlik 3.3'teki gibi hesaplanır ve birimi kWh/kW_p/gün'dür (Keskin 2019).

$$Y_F = E_{AC} / P_o \quad (3.3)$$

3.4.4. Performans oranı (PR)

Performans oranı, final veriminin referans verime oranıdır. Kullanılabilir enerjinin hiç kayıp yaşanmayacak ideal fotovoltaik sistemin ürettiği enerjiye oranı ile de hesaplanabilir. Eşitlik 3.4'te olduğu gibi FV dizi kazancının referans kazancına bölünüp 100 ile çarpılmasıyla da hesaplanabilir. Bu parametre farklı yerlere kurulumu yapılmış fotovoltaik sistemlerden elde edilen enerji değerlerinin karşılaştırılması için kullanılır (Keskin 2019).

$$PR = (Y_A / Y_R) \times 100 \quad (3.4)$$

3.4.5. Kapasite faktörü (CF)

Santralde bir yıl boyunca üretilen toplam enerjinin, test koşullarında elde edilebilecek maksimum enerji değerine oranı olarak Eşitlik 3.5'teki gibi ifade edilir (Keskin 2019).

$$CF = E_{AC} / (365 \times 24 \times (P_o)) \quad (3.5)$$

3.4.6. İnvertör verimi (η_{INV})

Eşitlik 3.6'da olduğu gibi invertördeki AC çıkış gücünün DC giriş gücüne oranıdır (Keskin 2019).

$$\eta_{INV} = P_{AC} / P_{DC} \quad (3.6)$$

3.4.7. Sistem verimi

Anlık sistem verimi Eşitlik 3.7'de görüldüğü gibi PV modül veriminin invertör verimi ile çarpımıyla hesaplanabilmektedir (Keskin 2019).

$$\eta_{SYS} = \eta_{pv} \times \eta_{INV} \quad (3.7)$$

4.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Konya İlindeki Güneş Enerji Santralinin PV*SOL ile Tasarımı

Konya ilinde kurulmuş olan arazi tipi güneş enerji santralinin PV*SOL 2021 versiyonunda tasarım yapılmıştır.

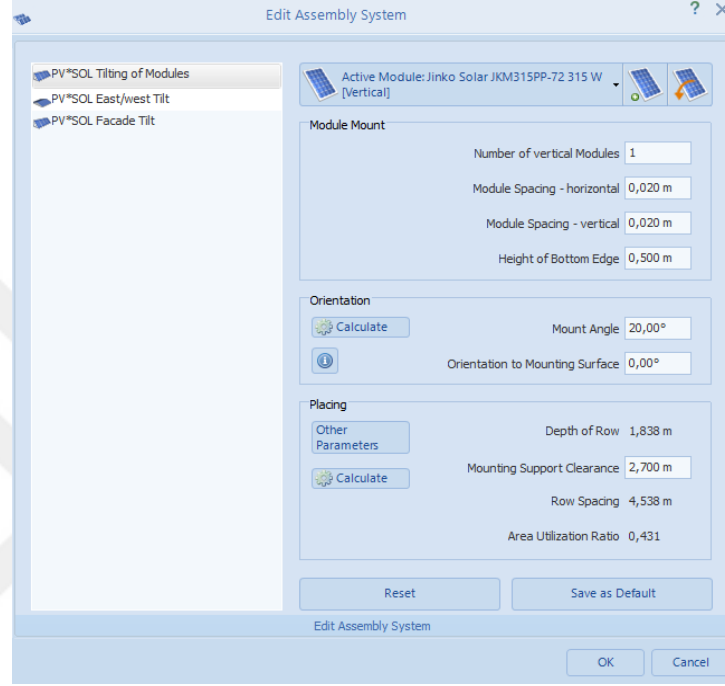
Şekil 4.1’de PV*SOL programının tasarımcı ve proje sahibine ait bilgilerin girildiği ekran yer almaktadır.

Şekil 4.1. PV*SOL proje giriş bilgi ekranı

Şekil 4.2’de fotovoltaik modül seçim ekranı görülmektedir. Programda panele ait elektriksel ve fiziksel özellikler tanımlı olduğu için belirlenmiş alana otomatik olarak yerleştirilmesi mümkün olmaktadır.

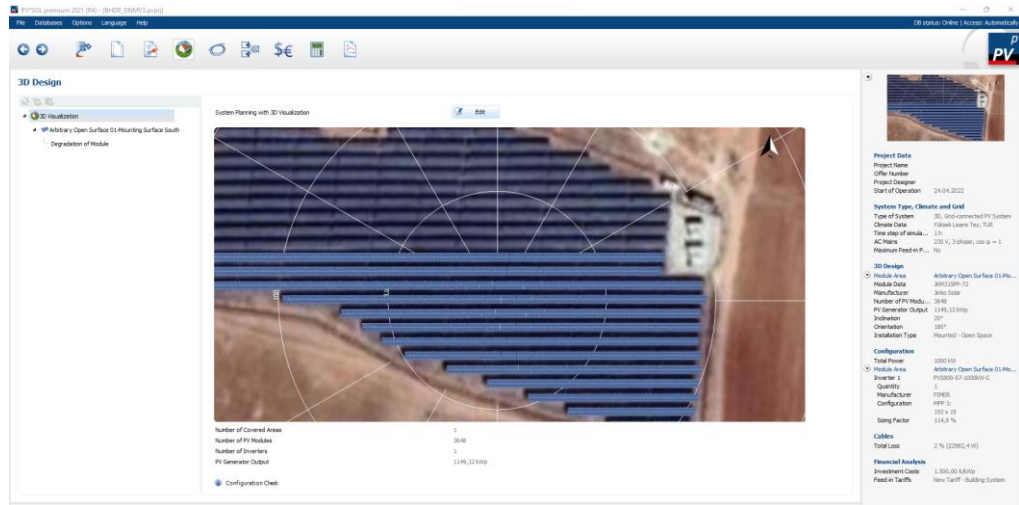
Şekil 4.2. PV*SOL’ de fotovoltaik modül seçim ekranı

Şekil 4.3’de seçilmiş olan panel modeline göre yerleşim yapılırken dikkate alınacak parametrelerden; paneller arası dikey ve yatay bağlantı ekipmanı (klemp) mesafesi 20 cm, düzleme en yakın olan panelin yerden yüksekliği 50 cm ve panel eğimi 20° , masaların önü ve arkasında 2.7 m mesafe olacak şekilde parametreler girilmiştir. Girilen bu parametreler verimi doğrudan etkileyen parametrelerdir.



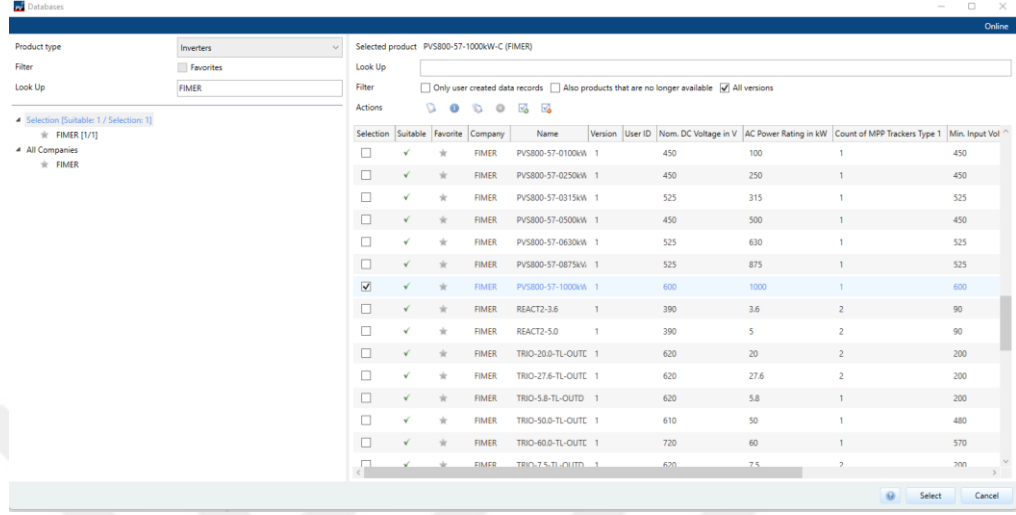
Şekil 4.3. Fotovoltaik modül yerleşim parametrelerinin tanımlandığı ekran

Şekil 4.4’de tasarımı yapılmış olan santralin panel yerleşimi yapılmış, genel görünümü ve teknik bilgilerin yer aldığı kısım gösterilmiştir.



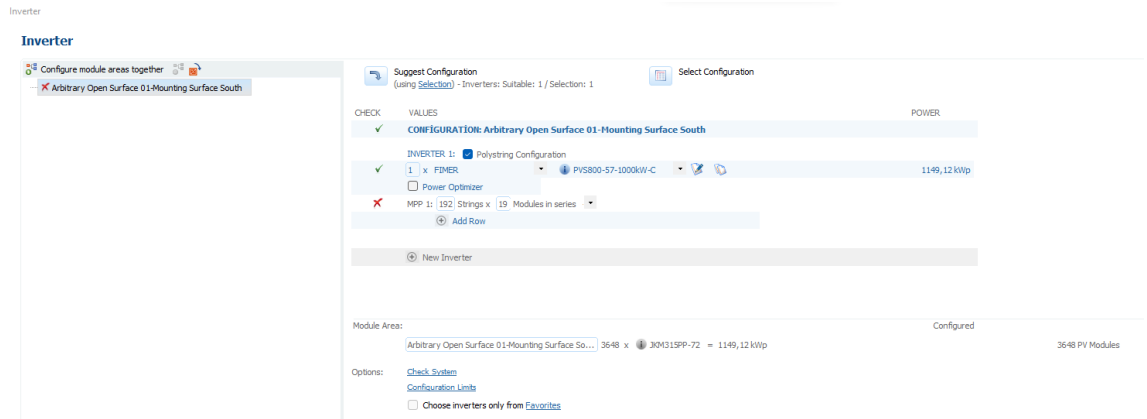
Şekil 4.4. Fotovoltaik modül genel yerleşim görüntüsü

Şekil 4.5’de PV*SOL programının invertör model seçiminin yapıldığı ekran gösterilmiştir. İncelenen santralde kullanılan ABB PVS800-57-1000 kW invertör modelinin seçimi yapılmıştır.



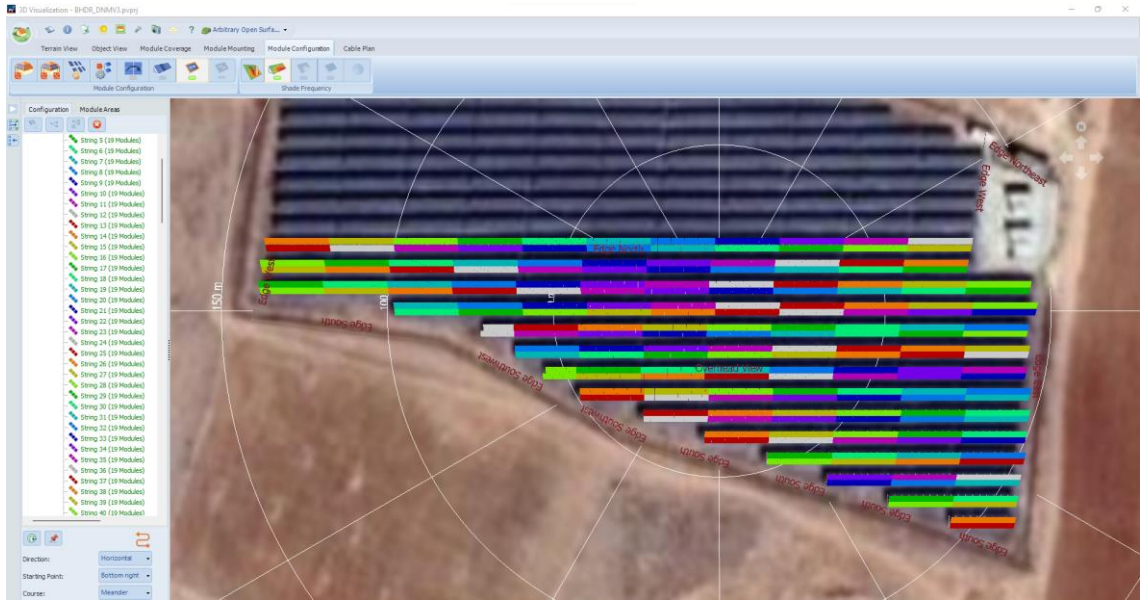
Şekil 4.5. PV*SOL invertör modeli seçim ekranı

Şekil 4.6’da her bir string’de 19 fotovoltaiik modülden oluşan 192 string’in invertör ile eşleştirilmesi yapılmaktadır. Herhangi bir güç ya da gerilim uyumsuzluğu olduğunda tasarımcıyı uyararak gerekli düzeltmelerin yapılması yazılım tarafından sağlanmaktadır.



Şekil 4.6. PV*SOL’de stringlerin invertör ile eşleştirilmesi

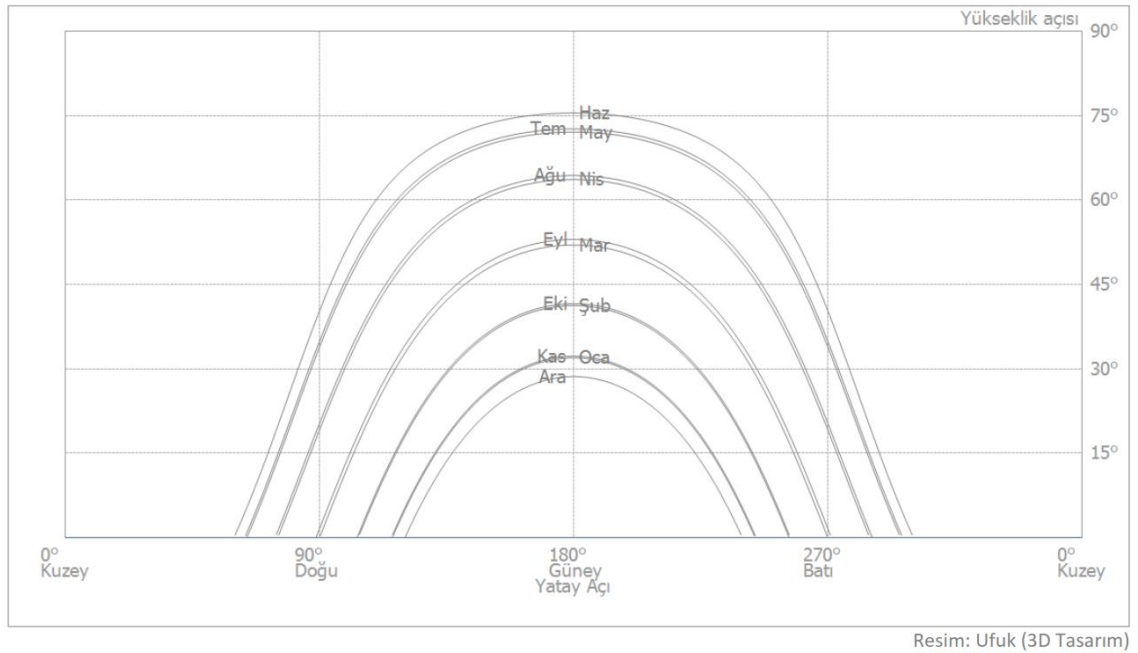
Mevcut panel yerleşimine göre simülasyon programında string’lemeler Şekil 4.7’deki gibi gerçekleştirilmiştir. String’leme, program tarafından otomatik olarak yapıldığı gibi manuel olarak paneller ile dizi oluşturularak da dizi düzenlemesi yapılabilir. Belirtilen sistemde toplamda 192 adet dizi oluşturulmuştur.



Şekil 4.7. PV*SOL’de dizilerin oluşturulması

PV*SOL yazılımı ile yapılan tasarım sonucunda ufuk çizgisi grafiği Şekil 4.8’de verilmiştir.

Ufuk çizgisi, 3D Tasarım



Şekil 4.8. Sistemin ufuk çizgisi

PV*SOL 2016 programında gerçekleştiren tasarım sonucunda fotovoltaik modüllerin yüzeyine düşen ışınlam ile üretilen enerjinin uğradığı kayıplar sonucunda şebekeye aktaracağı enerji değeri Şekil 4.9’da detaylı olarak belirtilmiştir.

Toplam Işınım - Yatayda	1.801,6 kWh/m²	
Standart spektrumdan sapma	9,01 kWh/m ²	0,0 %
Modül yüzeyinin Yerleşim Yönü ve Eğimi	181,71 kWh/m ²	10,04 %
Modülden bağımsız gölgeleme	0,00 kWh/m ²	0,00 %
Modül yüzeyinde yansıma	-53,45 kWh/m ²	-2,68 %
Modül Üzerine Düşen Toplam Işınım	1.938,9 kWh/m²	
	1.938,9 kWh/m ²	
	x 7078,404 m ²	
	= 13.724.135,2 kWh	
Toplam PV Işınımı	13.724.135,2 kWh	
Kirlenme	274.482,70 kWh	-2,00 %
STC Dönüşümü (Modülün nominal verimliliği 16,26 %)	-11.263.052,55 kWh	-83,74 %
Anma PV Enerjisi	2.186.599,9 kWh	
Düşük ışık performansı	-53.721,02 kWh	-2,46 %
Nominal modül sıcaklığından sapma	-64.634,68 kWh	-3,03 %
Diyotlar	0,00 kWh	0,00 %
Uyumsuzluk (üretici bilgisi)	-16.545,95 kWh	-0,80 %
Uyumsuzluk (konfigürasyon/gölgeleme)	0,00 kWh	0,00 %
DC kablo kayıpları	-14.195,88 kWh	-0,69 %
İnverter düzenleyici olmadan PV enerjisi (DC)	2.037.502,4 kWh	
MPP-gerilim aralığı için düzenleme	-4,37 kWh	-0,12 %
Maks. DC Akımı için düzenleme	-354,31 kWh	-0,02 %
Maks. DC Performans için düzenleme	-222,07 kWh	-0,01 %
Maks. AC Performans/cos phi için düzenleme	-6.037,64 kWh	-0,30 %
MPP Eşleme	-2.183,52 kWh	-0,11 %
PV Enerjisi (DC)	2.028.700,45 kWh	
İnverter Girişindeki Enerji	2.028.700,5 kWh	
Giriş gerilimi anma geriliminden sapıyor	-12.102,22 kWh	-0,60 %
DC/AC Dönüştürme	-31.276,13 kWh	-1,55 %
Bekleme Konumundaki Tüketim (Inverterler)	-287,57 kWh	-0,01 %
AC kablo kayıpları	-16.125,53 kWh	-0,81 %
Bekleme Konumundaki Kullanımı Hariç PV Enerjisi (AC)	1.968.909,1 kWh	
PV jeneratör enerjisi (AC şebekesi)	1.969.187,6 kWh	

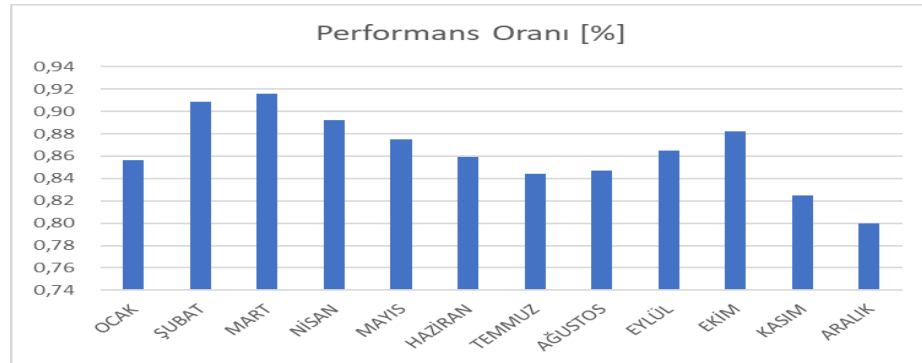
Şekil 4.9. PV*SOL 2016 sistemi enerji bilançosu

PV*SOL 2021 programında fotovoltaik modüllerin yüzeyine düşen ışınlam ile üretilen enerjinin uğradığı kayıplar sonucunda şebekeye aktaracağı enerji değeri Şekil 4.10'da detaylı olarak belirtilmiştir.

Toplam Işınım - Yatayda	1.779,38 kWh/m²	
Standart spektrumdan sapma	-17,79 kWh/m ²	-1,00 %
Zemin Yansıtma Katsayısı (Albedo)	10,62 kWh/m ²	0,60 %
Modül yüzeyinin Yerleşim Yönü ve Eğimi	182,94 kWh/m ²	10,32 %
Modülden bağımsız gölgeleme	0,00 kWh/m ²	0,00 %
Modül yüzeyinde yansıma	-36,33 kWh/m ²	-1,86 %
Modül Üzerine Düşen Toplam Işınım	1.918,82 kWh/m²	
	1.918,82 kWh/m ²	
	x 7078,404 m ²	
	= 13.582.153,20 kWh	
Toplam PV Işınımı	13.582.153,20 kWh	
Kirlenme	0,00 kWh	0,00 %
STC Dönüşümü (Modülün nominal verimliliği 16,26 %)	-11.374.011,72 kWh	-83,74 %
Anma PV Enerjisi	2.208.141,47 kWh	
Modüle özgü kısmı gölgeleme	-50.369,73 kWh	-2,28 %
Düşük ışık performansı	-6.320,30 kWh	-0,29 %
Nominal modül sıcaklığından sapma	-69.239,10 kWh	-3,22 %
Diyotlar	-16,02 kWh	0,00 %
Uyumsuzluk (üretici bilgisi)	-41.643,93 kWh	-2,00 %
Uyumsuzluk (konfigürasyon/gölgeleme)	-8.234,76 kWh	-0,40 %
İnverter düzenleyici olmadan PV enerjisi (DC)	2.032.317,64 kWh	
DC başlangıç çıkışına ulaşamadı	-561,21 kWh	-0,03 %
MPP-gerilim aralığı için düzenleme	-2.418,82 kWh	-0,12 %
Maks. DC Akımı için düzenleme	0,00 kWh	0,00 %
Maks. DC Performans için düzenleme	0,00 kWh	0,00 %
Maks. AC Performans/cos phi için düzenleme	-8.265,24 kWh	-0,41 %
MPP Eşleme	-67,92 kWh	0,00 %
PV Enerjisi (DC)	2.021.004,45 kWh	
İnverter Girişindeki Enerji	2.021.004,45 kWh	
Giriş gerilimi anma geriliminden sapıyor	-2.793,22 kWh	-0,14 %
DC/AC Dönüştürme	-32.779,75 kWh	-1,62 %
Bekleme Konumundaki Tüketim (Inverterler)	-648,28 kWh	-0,03 %
Toplam kablo kayıpları	-39.708,63 kWh	-2,00 %
Bekleme Konumundaki Kullanımı Hariç PV Enerjisi (AC)	1.945.074,58 kWh	
PV jeneratör enerjisi (AC şebekesi)	1.945.722,85 kWh	

Şekil 4.10. PV*SOL 2021 sistemi enerji bilançosu

PV*SOL 2021 simülasyon sonucunda aylık olarak performans oranı Şekil 4.11’de yer almaktadır. Verilere göre mart ayında en yüksek performans oranına sahip olacağı öngörülmektedir.



Şekil 4.11. PV*SOL 2021 aylık performans oranı

PV*SOL programının verdiği sonuçlara göre performans oranı % 86.4 çıkmakta olup, gölgelenmeden oluşan kayıp oranı da %2.9 olarak belirlenmiştir. Bu sistemin kullanımı ile 1 yılda 914185 kg CO₂ emisyonunun önüne geçilerek yıl sonunda 1945723 kWh enerji üretimi yapacağı öngörülmektedir. Çıkan simülasyon sonuç ekranı Şekil 4.12’de verilmiştir.

Simülasyon sonuçları

Sonuçlar Tüm Sistem

PV sistemi	
PV jeneratör çıkışı	1149,1 kWp
Yıllık Özgül Kazanç	1.692,66 kWh/kWp
Sistem kullanım oranı (PR)	86,4 %
Gölgelemeden dolayı oluşan kazanç kaybı	2,9 %/Yıl
Şebeke beslemesi	
İlk yıl içindeki şebeke beslemesi (Modülün performans düşüşü dahil)	1.945.723 kWh/Yıl
Bekleme Konumundaki Tüketim (Inverterler)	648 kWh/Yıl
Önlenen CO ₂ emisyonu	914.185 kg/yıl

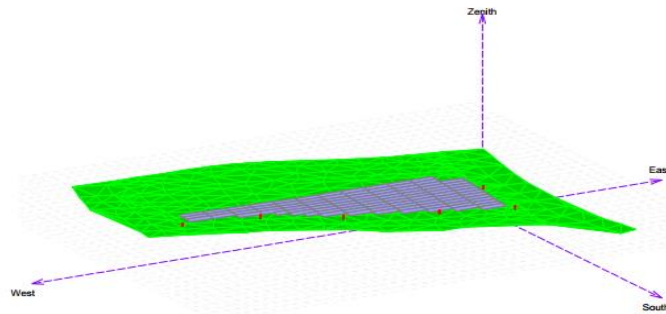
Şekil 4.12. PV*SOL 2021 simülasyon sonuçları

4.2. Konya İlindeki Güneş Enerji Santralinin PVsyst ile Simülasyonu

Sistem tasarımında 3648 adet 72 hücreli Jinko Panel, ABB PVS800-57-1000kW-C invertör kullanılmıştır. Panel eğimi 20°, paneller arası montaj aralığı 2 cm, panel sıraları arasında 2.7 m mesafe olacak şekilde sistem parametreleri girilmiştir. Simülasyonlar gölgelenmeli ve gölgelenmesiz olarak gerçekleştirilmiştir.

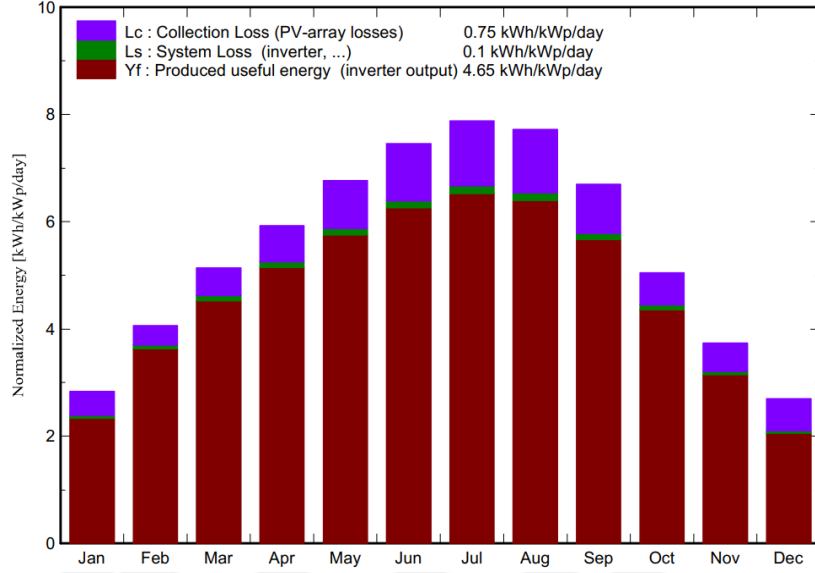
4.2.1. Gölgelemeli PVsyst tasarımı

PVsyst programı ile tasarlanan santralin gölgelendirmesi Şekil 4.13’de gösterilmiştir.



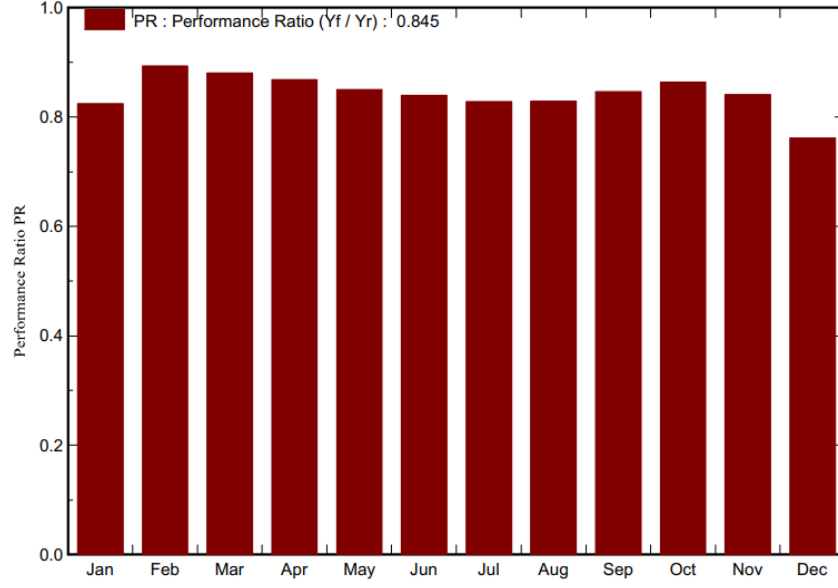
Şekil 4.13. PVsyst ile sistemin gölgelendirmesi

Gölgelenme kayıplarını içeren PVsyst simülasyonunda üretim değerinin en yüksek olduğu ay temmuzdur. Bununla birlikte kayıpların en yüksek olduğu ayın da temmuz olduğu Şekil 4.14'te gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Gölgelenmeli sistem üretimi ve kayıpları

Simülasyon sonuçlarına göre oluşturulan performans oranı grafiği Şekil 4.15'te gösterilmiş olup ortalama %84.5 olarak belirlenmiştir. Üretim değeri, en yüksek temmuzda olmasına rağmen performans oranı en yüksek şubatta gözlenmektedir. Bu durum, güneş enerji santrallerinde sıcaklığın artmasıyla sistemde kullanılan panel ve invertörlerin veriminin düşmesinden kaynaklanmaktadır. Sistemin veriminin yüksek olması için panel yüzey sıcaklığının düşük olması gerekmektedir. Bu nedenle rüzgarlı ve ışıınının çok olduğu hava koşullarında sistemlerin verimleri yüksek olmaktadır.



Şekil 4.15. Gölgelemeli sistem performans oranının aylara göre değişimi

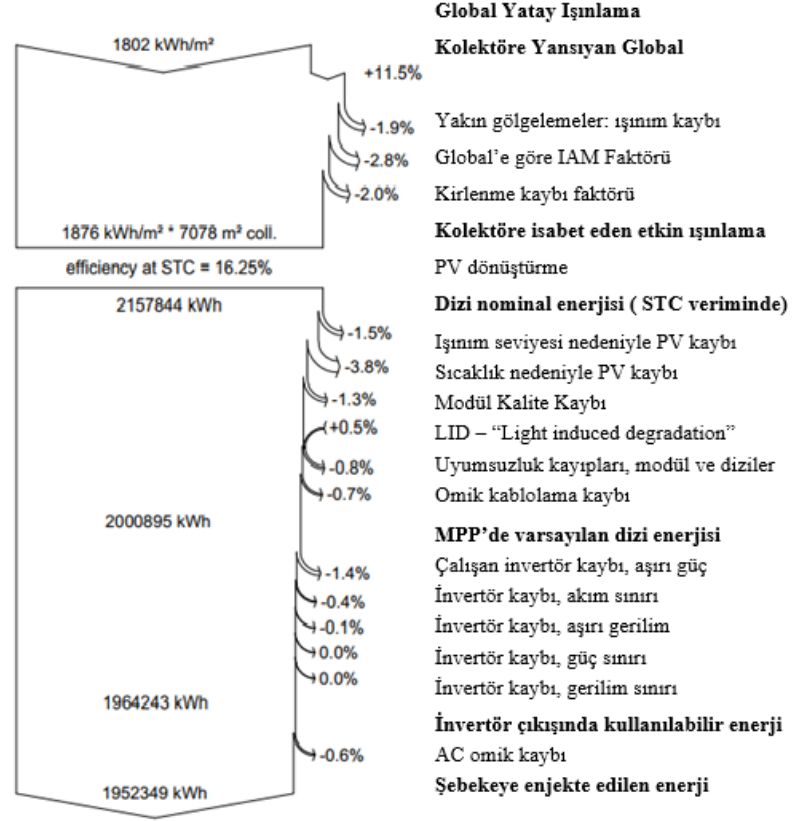
PVsyst 6.47 versiyonunda gölgelemenin olduğu düşünülerek gerçekleştirilen simülasyon sonuçları Çizelge 4.1’de belirtildiği gibidir.

Çizelge 4.1. Gölgelemeli sistem tasarımı sonuçları

	Global Yatay Işınlama (kWh/m ²)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Kollektöre Yansıyan Global Işıma (kWh/m ²)	IAM Ve Gölgeleme İçin Düzeltilmiş Global Işıma (kWh/m ²)	Dizinin Çıkışındaki Etkin Enerji (MWh)	Şebekeye Verilen Etkin Enerji (MWh)	Dizinin Çıkışındaki Etkin Enerji (%)	Sistem Verimliliği (%)
OCAK	65.0	0.98	87.9	80.4	85.1	83.3	13.68	13.38
ŞUBAT	88.0	1.37	113.7	105.7	119.0	116.7	14.78	14.50
MART	136.0	5.45	159.3	149.2	164.6	161.2	14.60	14.29
NİSAN	166.0	10.16	177.9	165.7	181.1	177.5	14.38	14.10
MAYIS	208.0	15.44	209.9	195.8	209.3	205.0	14.09	13.80
HAZİRAN	228.8	18.96	223.8	209.4	220.3	215.9	13.91	13.63
TEMMUZ	247.0	22.79	244.3	229.7	237.6	232.5	13.74	13.44
AĞUSTOS	226.0	22.84	239.4	226.0	232.9	227.9	13.75	13.45
EYLÜL	173.9	18.13	201.0	189.2	199.4	195.4	14.02	13.74
EKİM	123.9	12.68	156.4	146.3	158.5	155.3	14.31	14.02
KASIM	81.0	6.46	112.2	103.6	110.6	108.4	13.92	13.65
ARALIK	59.0	2.45	83.7	75.4	74.8	73.2	12.62	12.36
YIL	1801.7	11.54	2009.5	1876.4	1993.3	1952.3	14.01	13.73

Gölgelemeyi dahil ederek gerçekleştirilen simülasyon sonucunda sistemin yıllık 1952 MWh enerji üreteceği tahmin edilmektedir.

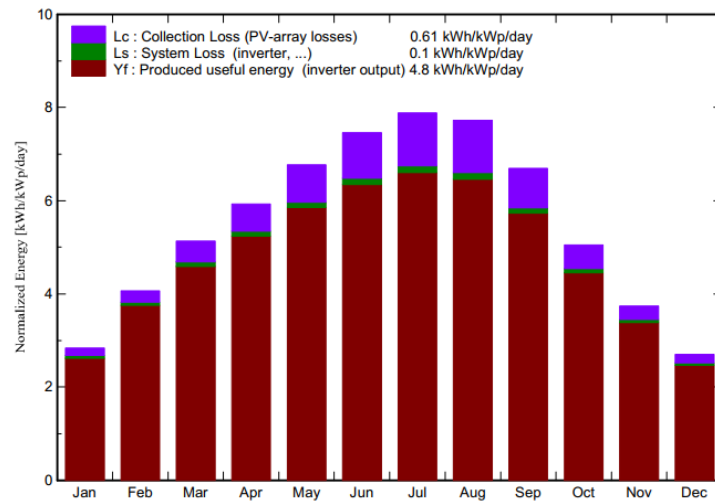
Güneş santrallerinde kayıpları en az seviyeye indirerek verim artırılabilir. Sistemde üretilen enerji miktarına büyük oranda PV modülün verimi etki etmektedir. PV modül seçimi yapılırken aynı güçlere sahip PV modüller arasından en verimli olanın kullanılması gerekmektedir. Santralde gerçekleşen kayıplar Şekil 4.16’da verilmiştir.



Şekil 4.16. Gölgelemeli sistemde gerçekleşen kayıplar

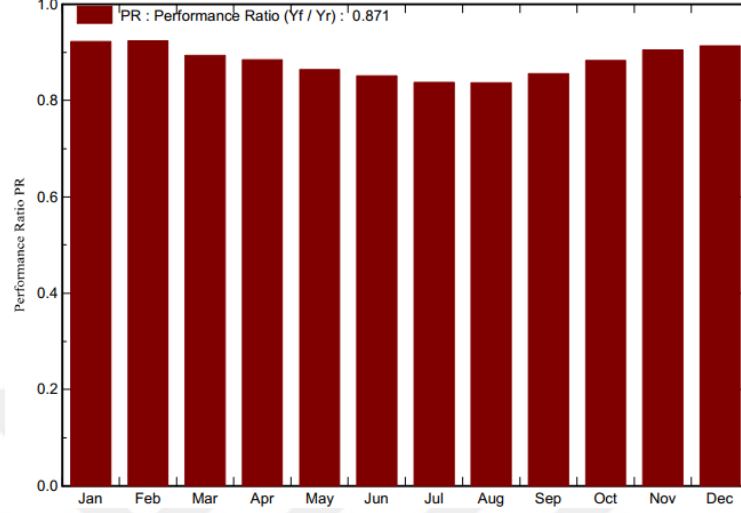
4.2.2. Gölgelemesiz PVsyst tasarımı

Gölgelemesiz tipteki simülasyonda üretim değerinin en yüksek olduğu ay temmuzdur. Bununla birlikte kayıpların en yüksek olduğu ayın da temmuz olduğu Şekil 4.17’de görülmektedir.



Şekil 4.17. Gölgelemesiz sistem üretimi ve kayıpları

Gölgelenmesiz sistem tasarımında performans oranı ortalama %87.1 olarak belirlenmiştir. En yüksek üretim değeri, temmuzda gerçekleşirken en yüksek performans oranının da şubatta olduğu Şekil 4.18’de görülmektedir.



Şekil 4.18. Gölgelenmesiz sistem performans oranı

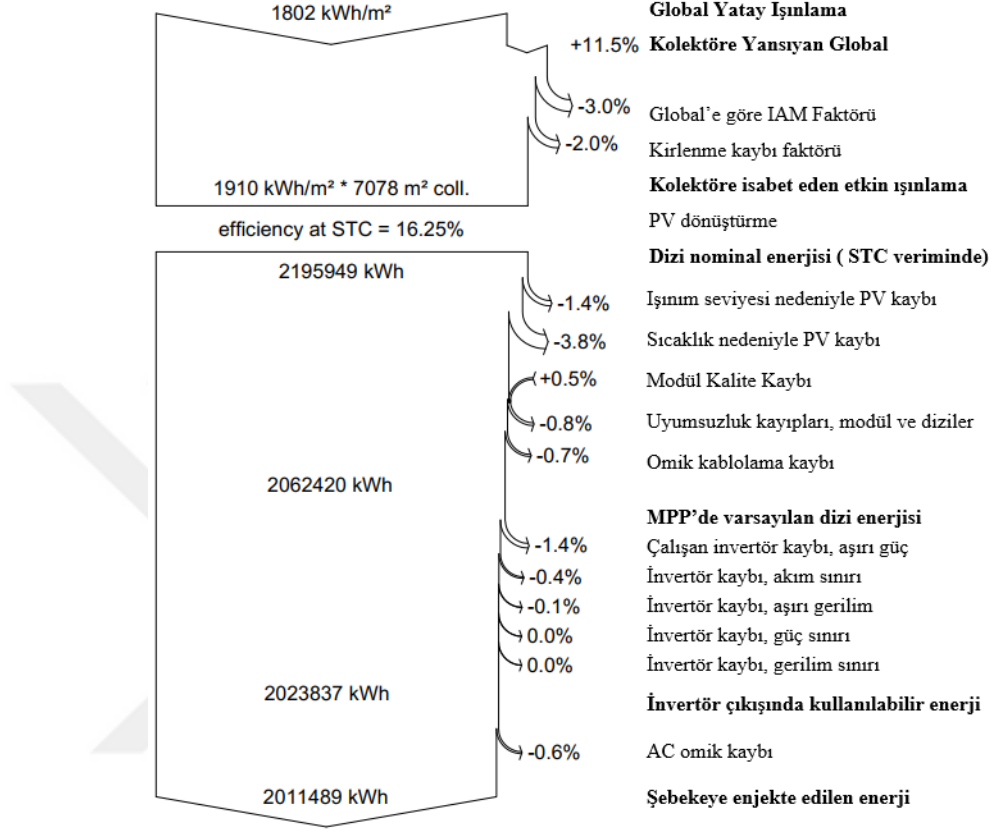
PVsyst 6.47 versiyonu ile gölgelenmenin olmadığı düşünülerek yapılan simülasyonun sonuçları Çizelge 4.2’de belirtildiği gibidir.

Çizelge 4.2. Gölgelenmesiz sistem tasarımı sonuçları

	Global Yatay Işınlama (kWh/m ²)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Kollektöre Yansıyan Global Işıma (kWh/m ²)	IAM Ve Gölgelendirme İçin Düzeltilmiş Global Işıma (kWh/m ²)	Dizinin Çıkışındaki Etkin Enerji (MWh)	Şebekeye Verilen Etkin Enerji (MWh)	Dizinin Çıkışındaki Etkin Enerji (%)	Sistem Verimliliği (%)
OCAK	65.0	0.98	87.9	83.1	95.3	93.3	15.31	14.98
ŞUBAT	88.0	1.37	113.7	107.8	123.1	120.8	15.29	15.00
MART	136.0	5.45	159.3	151.6	167.0	163.5	14.82	14.51
NİSAN	166.0	10.16	177.9	168.9	184.4	180.7	14.64	14.35
MAYIS	208.0	15.44	209.9	199.2	212.7	208.3	14.32	14.02
HAZİRAN	228.8	18.96	223.8	212.5	223.4	218.8	14.10	13.81
TEMMUZ	247.0	22.79	244.3	232.6	240.3	235.2	13.89	13.60
AĞUSTOS	226.0	22.84	239.4	228.5	235.2	230.1	13.88	13.58
EYLÜL	173.9	18.13	201.0	191.5	201.5	197.5	14.17	13.89
EKİM	123.9	12.68	156.4	148.6	161.9	158.7	14.62	14.33
KASIM	81.0	6.46	112.2	106.2	118.9	116.7	14.98	14.69
ARALIK	59.0	2.45	83.7	79.0	89.7	87.9	15.14	14.83
YIL	1801.7	11.54	2009.5	1909.6	2053.5	2011.5	14.44	14.14

Mevcutta kurulumu yapılmış olan santralin coğrafi konumuna m² başına 1802 kWh ışınlamı gerçekleşmektedir. Panel yüzey alanıyla m²’ye düşen ışınlamı değerinin çarpımı ile fotovoltaik modüllerin üzerine düşen enerji değeri hesaplanır. Hesaplanan değer ile fotovoltaik modüllere ait verim çarpılarak modüller üzerinde üretilen enerji

değeri yıllık olarak 2195.949 MWh olarak hesaplanmıştır. Fotovoltaik modüllerde oluşan bu enerji Şekil 4.19’da belirtilen kayıplara maruz kalarak şebekeye 2011.489 MWh olarak verilebilmektedir.

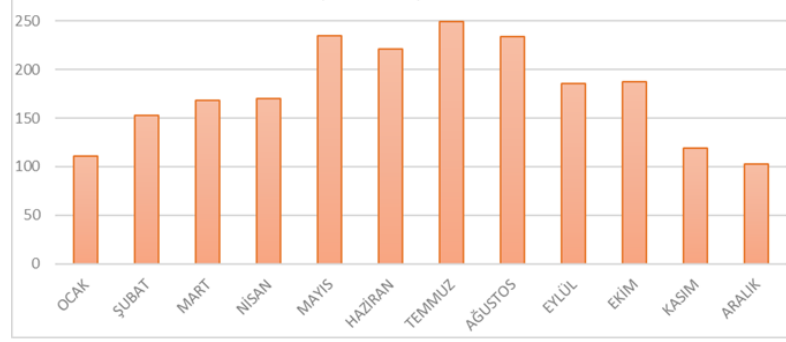


Şekil 4.19. Gölgelemesiz sistemde kayıplar

4.3. Konya İlindeki Güneş Enerji Santraline Ait Meteorolojik Verilerin Alınması

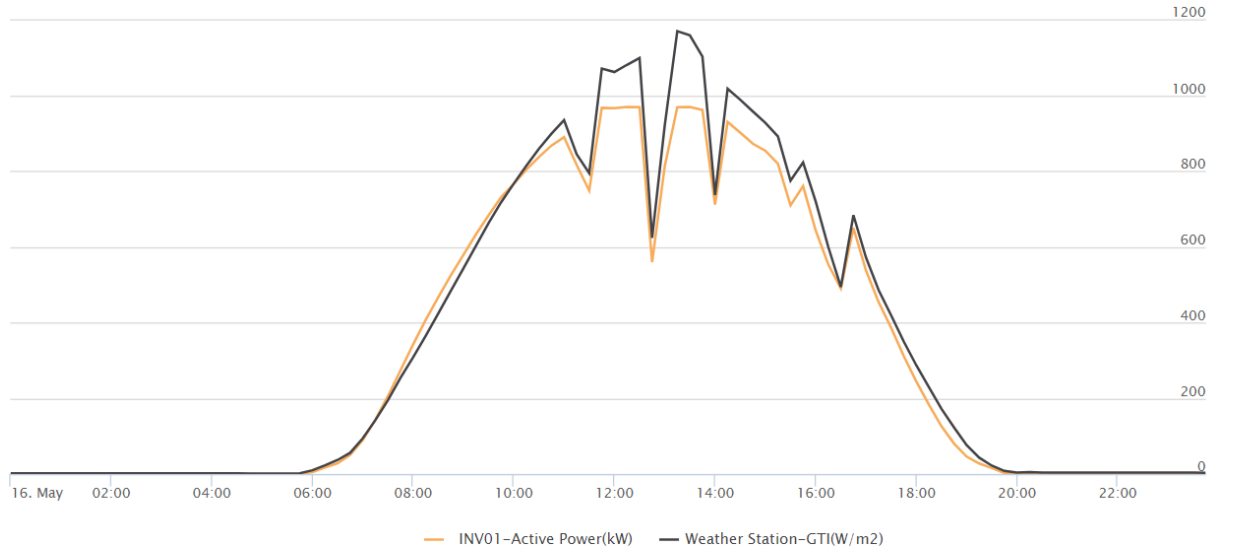
Verimlilik analizinin sürekli olarak yapılabilmesi için sahada hava istasyonu kurulumu gerçekleştirilmiştir. Hava istasyonundan radyasyon değeri, rüzgâr hızı, panel sıcaklığı ve ortam sıcaklığı ölçümleri yapılmaktadır.

Çalışma yapılan santralde bulunan hava istasyonundan alınan verilere göre en yüksek radyasyon değeri temmuz ayında; en düşük radyasyon değeri aralık ayında olduğu Şekil 4.20’de görülmektedir.



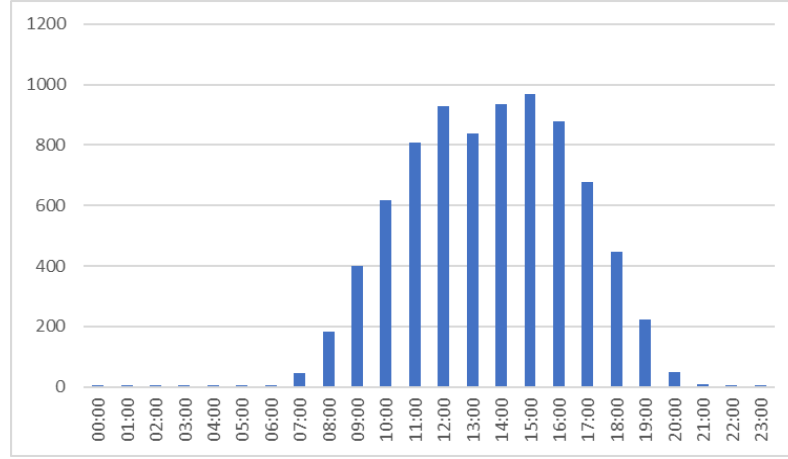
Şekil 4.20. Konya'daki güneş enerji santralinde 2021 yılında ölçülen aylık radyasyon değerleri (kWh/m²)

Şekil 4.21'de incelemesi yapılmış olan santralin aktif güç ile birlikte ışıınım grafiğine yer verilmiştir. Bu grafikte ışıının değişimine göre invertörün anlık gücünün de aynı oranda değiştiği görülmektedir. Gün içerisinde radyasyon değeri ile aktif güç değerinin arasında neredeyse fark yokken öğle saatlerinde ışıınım ile aktif güç arasındaki aralığın arttığı görülmüştür. Sistem anlaşıma gücü 999 kWe olmasına rağmen santralde güç aşımı olmaması adına invertör güç kısıtlaması 970 kWe değerine sınırlandırılmıştır. Bu yüzden öğlen saatlerinde ışıınım artsa bile invertörün, AC güç sınırlandırması yapmasına bağlı olarak ışıınım ile aktif güç arasında farkın meydana geldiği görülmektedir.



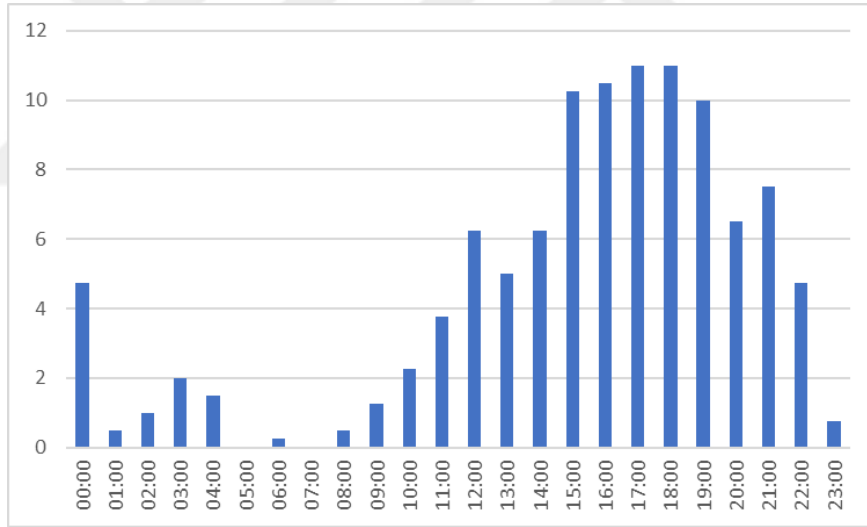
Şekil 4.21. Konya ilindeki güneş enerji santralinde radyasyona bağlı aktif güç değişimi

Arazide bulunan hava istasyonunun ölçmüş olduğu saatlik radyasyon verisine göre gün içerisinde radyasyonun 980 kWh/m²'ye kadar ulaştığı Şekil 4.22'den görülmektedir.



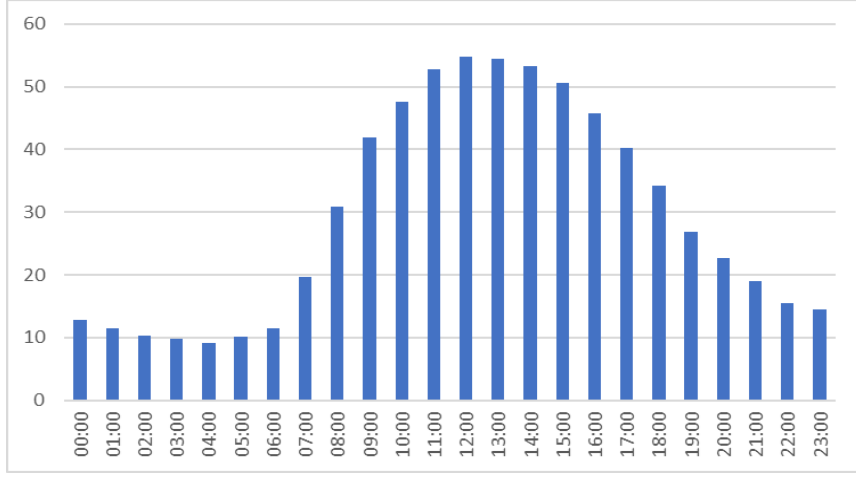
Şekil 4.22. Konya ilindeki güneş enerjisi santralinde ölçülen saatlik radyasyon (kWh/m²)

Şekil 4.23’de görüldüğü üzere hava istasyonundan alınan verilere göre rüzgar hızı sabah saatlerinde 0’a yakınken gün batımına doğru 10.8 m/s’ye kadar çıkmıştır.



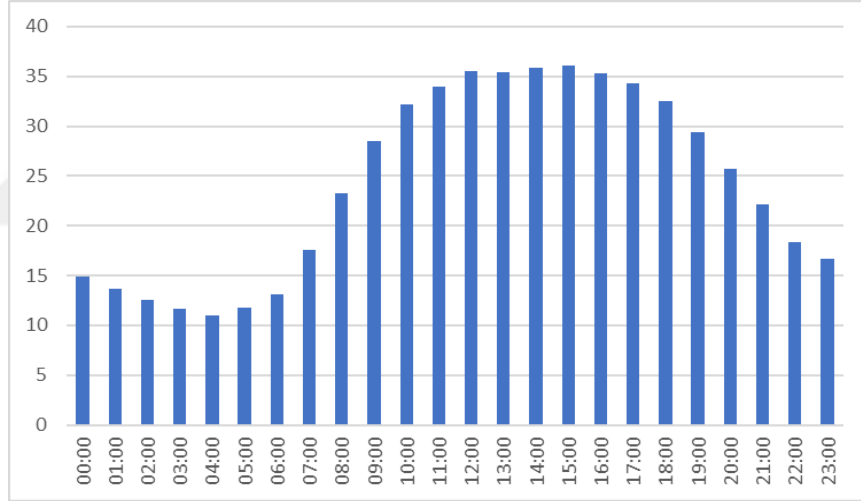
Şekil 4.23. Konya ilindeki güneş enerjisi santralinde ölçülen rüzgar hızı (m/s)

Fotovoltaik modüller, mayıs ayında öğle saatlerinde ışınlam artmasıyla 55 °C sıcaklığa kadar ulaşmıştır. Rüzgar hızının artmasıyla panel sıcaklığının azaldığı Şekil 4.24’te görülmektedir.



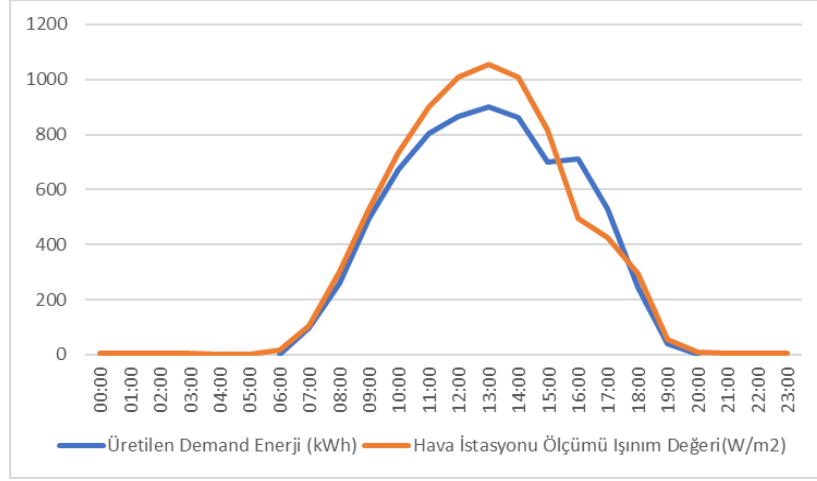
Şekil 4.24. Konya ilindeki güneş enerjisi santralinde ölçülen panel sıcaklığı (°C)

Güneş ışınlarının öğlen saatlerinde daha dik açıyla gelmesine bağlı olarak ortam sıcaklığına etkisi Şekil 4.25’de gösterilmektedir.



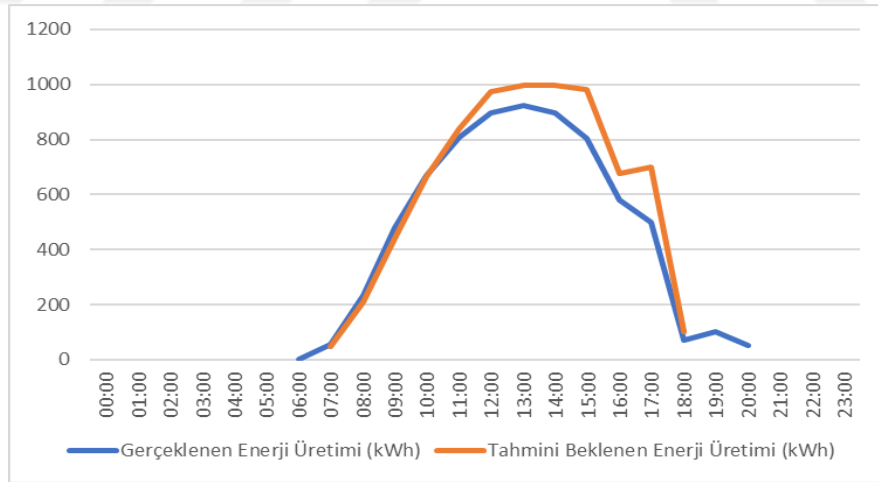
Şekil 4.25. Konya ilindeki güneş enerjisi santralinde ölçülen ortam sıcaklığı

Üretilen toplam enerji değerinin santralde bulunan hava istasyonundan alınan ısıtım değerine bağlı olarak değişimi Şekil 4.26’da görülmektedir. Güneş ışınlarının gelme açıları 12.00-13.00 saat aralığında daha dik açıda olduğundan ısıtım değeri en yüksek değere ulaşmaktadır.



Şekil 4.26. Konya ilindeki güneş enerjisi santrali üretim demand-ışınım değeri

Işınımına bağlı olarak üretilmesi beklenen enerji değeri tahmin edilebilmektedir. Mayıs ayında baz alınan bir günde üretilmesi beklenen enerji üretim değeri ile gerçekleştirilen enerji üretim değeri saatlik olarak Şekil 4.27’de karşılaştırılmıştır. Sabah saatleri ile öğle saatleri arasında enerji değerlerinde fark oluşmazken öğle saatleri ve sonrasında fark oluşmaya başlamıştır. Fotovoltaik modüllerin yüzeyinde oluşan kirlenmeler ve gölgelenmeden dolayı fark olduğu öngörülmektedir.



Şekil 4.27. Beklenen ve gerçekleşen enerji üretimi (kWh)

Simülasyon sonuçlarından elde edilen günlük üretim tahminleri SCADA sistemine önceden tanımlanmıştır. Gün içerisinde sistem simülasyon sonuçlarına yakın bir davranış sergilediği gözükmemektedir. Beklenen enerji üretimi öğlen saatlerinde 999 kWh olarak belirtilmiş ancak sistem en yüksek 925 kWh değerine ulaşmıştır. Fotovoltaik modül üreticilerinin belirlediği ilk yıl %2.5, devam eden yıllarda %5

verim düşüşü ve panellerin yüzeyinde bulunan kirlilik faktörü de dikkate alındığında sistemin normal bir davranış sergilediği söylenebilir.

İncelemesi yapılan santralde 2018-2022 yılları arasında dağıtım şirketinden kaynaklı meydana gelen planlı ve plansız enerji kesinti süreleri Şekil 4.28’de gösterilmiştir. Alınan bu verilere göre enerji kesintileri en çok 2018 yılında meydana gelmiştir. Sistemde gerçekleşen enerji kesintileri daha çok akşam saatlerinde olduğu için sistemde daha az üretim kaybı gerçekleşmiştir. Simülasyon programlarında gerçekleşen hesaplamalarda şebeke kesintileri hesaplanmadığı için yıl içerisinde gerçekleşen üretim ile simülasyon sonucu arasında farka neden olduğu görülmektedir.

YIL	PLANLI		PLANSIZ		ŞİLETME KAYNAKL		Toplam	
	SAYI	SÜRE	SAYI	SÜRE	SAYI	SÜRE	SAYI	SÜRE
2018	3	30:14:15	46	161:42:52	0	0:00:00	49	191:57:07
2019	1	8:18:00	25	34:17:15	1	0:32:00	27	43:07:15
2020	0	0:00:00	25	19:18:17	0	0:00:00	25	19:18:17
2021	4	28:24:00	11	12:27:00	0	0:00:00	15	40:51:00
2022	0	0:00:00	4	12:02:00	0	0:00:00	4	12:02:00

Şekil 4.28. İncelemesi yapılan GES’de yıl bazında meydana gelen enerji kesinti süreleri

4.4. Santralin Gerçek Enerji Üretimi ile Simülasyon Verilerinin Karşılaştırılması

Çizelge 4.3’te santrale ait enerji kalite kaydedicinin SCADA sistemine aktarmış olduğu verilerden oluşturulan aylık ve yıllık toplam üretimler gösterilmiştir. Bu verilere göre en yüksek enerji üretimi ortalama olarak temmuz ayında 221912 MWh; en düşük enerji üretimi ortalama olarak aralık ayında 73324 MWh’dir.

Tamamlanmış olan 4 yıl için santral, ortalama olarak 1882715.5 kWh/yıl enerji üretimi gerçekleştirmiştir.

Çizelge 4.3. Konya Apa 999 kW GES'ine ait 2018-2022 yılları enerji üretim değerleri (kWh)

	2018	2019	2020	2021	2022
Ocak	88886	82185	73781	99015	72592
Şubat	115760	104880	109083	141086	119971
Mart	168578	167206	139074	149031	138499
Nisan	186781	155439	166191	160380	186421
Mayıs	183845	206936	207993	214217	
Haziran	189143	196614	208456	204407	
Temmuz	219992	218915	224912	223828	
Ağustos	214421	208114	210395	207696	
Eylül	176964	181534	181507	175311	
Ekim	154912	153143	159954	169072	
Kasım	109174	111221	109723	107813	
Aralık	64473	63183	86313	79325	
Yıllık	1872929	1849370	1877382	1931181	517483

PV*SOL 2021 simülasyon programı ile 2018-2022 yılları arasında belirtilen santralin enerji kalite kaydedici cihazından alınan verilerin ortalaması Çizelge 4.4'teki verilerle kıyaslandığında simülasyonda öngörülen enerji değerinin 63027 kWh ile %3.347 oranında daha fazla olduğu görülmüştür. Bu farkın santralde gerçekleşen elektrik kesintileri, sahada yapılan bakım çalışmaları ve simülasyon programında dikkate alınmayan faktörlerden kaynaklandığı öngörülmektedir.

Çizelge 4.4. Konya Apa 999 kW GES'e ait üretim değerlerinin PV*SOL 2021 ile karşılaştırılması (kWh)

	Üretim	PvSol(2021)	Fark
Ocak	85967	94454	8487
Şubat	117702	115300	-2402
Mart	155972	165340	9368
Nisan	167198	176670	9472
Mayıs	203248	201790	-1458
Haziran	199655	208070	8415
Temmuz	221912	220070	-1842
Ağustos	210157	215200	5043
Eylül	178829	192250	13421
Ekim	159270	153780	-5490
Kasım	109483	113980	4497
Aralık	73324	88840	15516
Yıllık	1882716	1945744	63027

Çizelge 4.5'te santralde gerçekleştirilen üretim değerinin, tahmini üretim değerine oranı sonucu ortaya çıkan performans oranları aylık olarak gösterilmiştir. Sistemin verimlilik analizi yapılırken performans oranı incelemesi yapılmalıdır. Veriler

incelendiğinde 2019 yılının mart ayında performans oranı düşük çıkmıştır. 2019 mart ayında gerçekleşen kar yağışının panel yüzeyini kapatarak ışınlamı alamaması ve elektrik kesinti sürelerinin fazla olmasının bu duruma sebebiyet verdiği düşünülmektedir.

Çizelge 4.5. Konya Apa 999 kW GES'e ait 2018-2022 yılları PR değerleri (%)

	2018	2019	2020	2021	2022
Ocak	74.51	75.83	77.194	77.468	63.868
Şubat	82.72	83.858	81.715	80.189	80.49
Mart	80.245	24.997	83.386	77.588	76.973
Nisan	87.647	80.126	83.071	82.517	82.301
Mayıs	100	78.25	80.866	79.446	80.315
Haziran	100	79.778	80.033	80.731	
Temmuz	100	76.21	76.537	78.332	
Ağustos	77.759	76.64	75.038	77.316	
Eylül	100	65.267	74.495	82.456	
Ekim	97.921	84.062	83.826	78.468	
Kasım	80.486	100	78.173	79.924	
Aralık	77.082	72.9	73.455	67.228	
Yıllık	88.20	74.82	78.98	78.47	76.79

Konya APA 999 kW GES'e ait SCADA sisteminden alınmış olan performans oranı verisi ile simülasyon programının sonucundan elde edilen veriler Çizelge 4.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Konya Apa 999 kW GES ile PV*SOL'a ait PR değerleri (%)

	SCADA (PR)	PvSol 2021 (PR)	Fark
Ocak	76.25	85.61	9.36
Şubat	82.12	90.85	8.73
Mart	66.55	91.61	25.06
Nisan	83.34	89.25	5.91
Mayıs	84.64	87.52	2.88
Haziran	85.14	85.94	0.8
Temmuz	82.77	84.41	1.64
Ağustos	76.69	84.67	7.98
Eylül	80.55	86.47	5.95
Ekim	86.07	88.21	2.14
Kasım	84.65	82.46	-2.19
Aralık	72.67	79.97	7.3
Yıllık	80.12	86.41	6.29

4.5. Santralin Performans Parametrelerinin Hesaplanması

Çalışma yapılan arazi tipi güneş enerji santralinin SCADA sisteminden alınan verilere göre santrale ait performans parametrelerinin 2021 yılı içerisinde günlük, aylık, yıllık olarak hesaplamaları yapılmıştır.

Santrale ait fotovoltaik dizi verimi (Y_A) ; hesaplama yapılacak periyottaki toplam enerji üretim değerinin (E_a), sistemin AC kurulu gücüne (P_0) bölümü sonucu aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$Y_A = 7603 \text{ kWh} / 999 \text{ kWe} = 7.61 \text{ (15 Mayıs 2021)}$$

$$Y_A = 214952 \text{ kwh} / 999 \text{ kWe} = 215.167 \text{ (Mayıs 2021)}$$

$$Y_A = 2937775 \text{ kwh} / 999 \text{ kWe} = 2940.715 \text{ (2021)}$$

Santrale ait referans kazanç (Y_F) ; hesaplama yapılacak periyottaki toplam enerji üretim değerinin (E_a), sistemin etkin gücüne (W_{pe}) bölümü sonucu hesaplanmaktadır.

$$Y_F = 7497 \text{ kwh} / 999 \text{ kWe} = 7.50 \text{ (15 Mayıs 2021)}$$

$$Y_F = 214217 \text{ kwh} / 999 \text{ kWe} = 214.43 \text{ (2021 Mayıs Aylık)}$$

$$Y_F = 1931181 \text{ kwh} / 999 \text{ kWe} = 1933.114 \text{ (2021 Yıllık)}$$

Kapasite faktörü; yıl içerisinde üretilen toplam enerjinin elde edilebilecek maksimum enerji değerine bölümü ile belirlenmektedir.

$$CF = 1931181 \text{ kwh} / (365 * 24 * 999 \text{ kWe}) = 0.22 \text{ (2021 Yıllık)}$$

Çalışma yapılan arazi tipi güneş enerji santralinin günlük, aylık ve yıllık olarak performans oranı aşağıda belirtilen hesaplamalar sonucu elde edilmiştir.

$$PR = (7497 / 1176.4) / (8411.75 / 1000) = 0.757 \text{ (15 Mayıs 2021)}$$

$$PR = (214217 / 1176.4) / (235056.5 / 1000) = 0.774 \text{ (Mayıs 2021)}$$

$$PR = (1931181 / 1176.4) / (2104615.4 / 1000) = 78.47 \text{ (2021)}$$

Sistem verimi hesaplaması panel verim değeri ile invertör verim değerinin çarpımı sonucu ortaya çıkmaktadır. İnvertör verimi üretici tarafından 0.988; panel verimi 0.1623 olarak belirtilmiştir.

$$\eta_{sys} = 0.1623 \times 0.988 = 0.1603$$

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Örnek olarak incelenen arazi tipi güneş enerji santrali 2017 yılının sonunda enerji üretimine başlamıştır. PV*SOL ve PVSyst programında santralin bulunduğu koordinatlara göre ve mevcut durumda kullanılmış olan panel ve invertör seçimi yapılmıştır.

Simülasyon programlarında invertör ve panel dışında kalan sistem ekipmanlarının kayıpları kullanıcı tarafından girilen parametrelerle oluşturulmaktadır. Bu da tahmin edilen üretim verisi ile gerçek üretim verisi arasında fark oluşmasına neden olabilmektedir.

Simülasyon programlarında şebekeden kaynaklı elektrik kesintileri ve koruyucu bakım esnasındaki kesintiler tahmin edilememektedir. Gerçek üretim verisi ile simülasyon üretim verisi ay bazında kıyaslandığı zaman en yüksek fark negatif yönde 15516 kWh; aralık ayında en düşük fark pozitif yönde 1458 kWh olduğu görülmektedir. Aralık'ta üretim farkının yüksek olmasının sebeplerinden birisi simülasyon programlarında ortalama kar yağışı 15 gün alınması ve gerçekte daha fazla kar yağışlı gün olmasından dolayı ve aylık ışınlam verilerinin sapabileceği ön görülmektedir.

Simülasyon programlarının kullanmış oldukları veri tabanları hata payının azalmasında etkilidir. Simülasyon sonucunda elde edilen üretim verileri ile gerçek üretim verilerinde aylık olarak pozitif ve negatif yönde farkların çıktığı görülmüştür. Bu veriler yıllık toplam olarak kıyaslandığında aradaki fark daha az çıkmaktadır. Bu durumun sebebi ışınlam değerinin yıl ortalamasında gerçek değerlerle yakınlık göstermesidir.

Performans oranı aylık olarak simülasyon sonuçları ile kıyaslandığında en az farkın haziranda, en yüksek farkın martta olduğu görülmektedir.

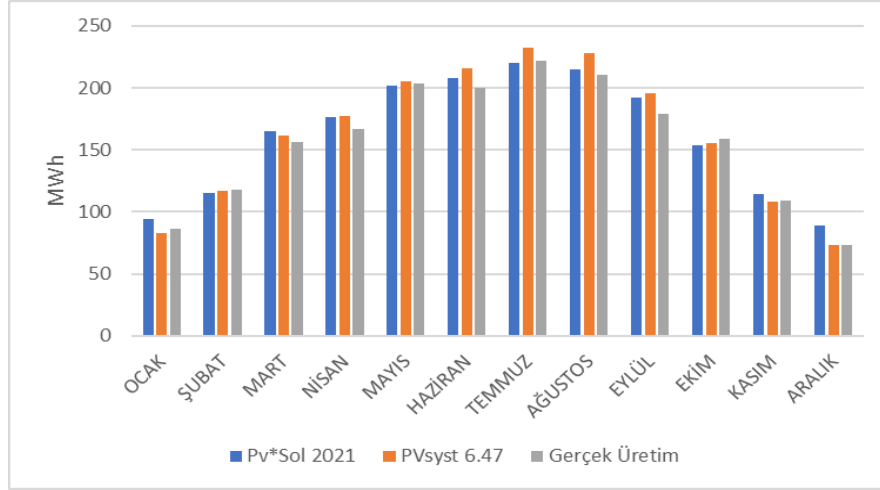
PV*SOL'ün 2016 yazılımı ile yıl bazında üretilmesi gereken enerji değeri 1969188 kWh olarak belirlenmiştir. PV*SOL'ün 2021 yazılımı ile yıl sonunda üretilmesi gereken enerji değeri 1945744 kWh olarak çıkmaktadır. Enerji üretim tahmin verisinin kullanılan simülasyon programındaki gelişmelerle gerçekte üretilmiş olan enerji değerine yaklaştığı görülmektedir. Buradan anlaşıldığı üzere simülasyonu yapılacak olan tasarımların en güncel yazılımlarla yapılması gerçek üretim verisi ile farkın azalmasını sağlayacaktır.

2018-2021 yıllarında santral, ortalama olarak 1882715.5 kWh elektrik enerji üretimi gerçekleştirmiştir. PV*SOL 2021 simülasyon programı üretim verisi 1945744 kWh'dir. Simülasyonda, gerçekte üretilmiş enerji değerine göre 63028 kWh daha fazla üretim yaptığı görülmüştür. Bu karşılaştırma sonucu PV*SOL programı gerçek üretim verisine göre %3.347 daha fazla hesapladığı belirlenmiştir.

PVsyst simülasyon programı ile mevcut santralin gölgelendirme kaybı dahil ve gölgelendirme kaybı dahil edilmeden simülasyonlar yapılmıştır. Sonuçlarda gölgelenmeli sistemde enerji üretimi yılda 1952 MWh olarak çıkarken, gölgesiz sistem tasarımında enerji üretimi 2011 MWh olarak çıkmıştır. Bu sonuçlara göre gölgelenme kayıpları %3 üretim kaybına neden olmaktadır. Kurulum yapılmadan önce modüllere gölge yapabilecek unsurlar değerlendirilmelidir. Ayrıca arazi tipi santrallerinde ilkbahar aylarında otların büyümesiyle masaların alt sıralarında bulunan panellerde gölgelenmeler meydana gelmektedir. Bu durumun önüne geçmek için arazide bulunan otların ilaçlanıp temizlenmesi gerekir.

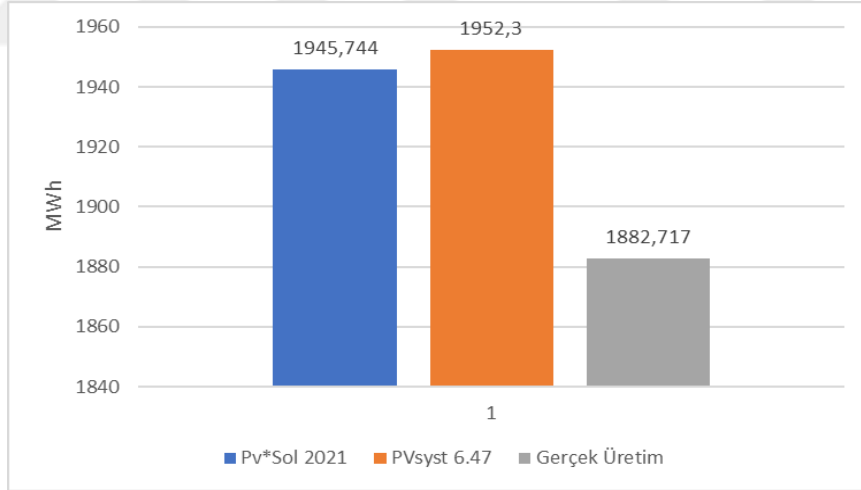
Sistem tasarımı yapılırken maksimum verim elde edilmesi için sistemin kurulacağı coğrafi koşullara göre güneş ışınlarının gelme açıları incelenir. Bu açıya göre panellerin eğimi belirlenir. Konya ilinde bu açı değeri yapılan ölçümlerle 27 derece olarak belirlenmiş, ancak kurulan sistemde paneller 20 derecede kullanılmıştır. Bunun sebebi ise mevcut alana yerleşim yapılacak panel sayısının daha fazla olmasını sağlayarak enerji üretim değerini artırmaktır. Panel eğim açısı arttıkça önünde ve arkasında bulunan modül sıralarına yapacağı gölge boyu da büyümektedir. Gölge kayıplarını azaltmak için de modül sıraları arasında bulunan mesafeyi artırmak gerekir. Bu da mevcut alana daha az fotovoltaiik modülün yerleştirilmesine neden olmaktadır.

PV*SOL ve PVsyst simülasyon programlarının gölge kayıplarını da dahil ederek yaptığı üretim tahmin değerleri ile gerçek üretim değerleri karşılaştırıldığında Şekil 5.1'deki gibi birbirlerine çok yakın değerler çıkmaktadır. PV*SOL ile yapılan simülasyonun sonucu gerçek üretim değerine PVsyst programına kıyasla daha yakındır. Kullanılmış olan simülasyon programları, bu sistemlerin kurulumu yapılmadan önce yatırımın geri kazanım süresinin hesaplanmasında önemli bir yer almaktadır.



Şekil 5.1. Aylık PV*SOL 2021, PVsyst 6.47 ve gerçek üretim değerleri

Konya ilindeki santralin yıllık gerçek üretim verisinin simülasyon verilerine göre daha düşük çıktığı Şekil 5.2’de görülmektedir. Simülasyon programlarının gerçek üretim değeri ile farklar oluşmaktadır ancak bu farklar %5’in altında kaldığı için simülasyon sonuçlarının doğruluk değerinin yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 5.2. Yıllık olarak PV*SOL 2021, PVsyst 6.47 ve gerçekleşen üretim verileri

5.2 Öneriler

Arazi tipi güneş enerji santrallerinde paneller arazide konumlandırıldığı için çevrede oluşan tozdan dolayı kirlenebilmektedir. Panellerin yılda en az bir kere iyonize edilmiş saf su ile yıkanarak temizlenmesi enerji üretim değerinin artmasını sağlayacaktır.

Fotovoltaik modüllerin yılda bir kez termal drone kamerası ile modül içerisinde bulunan hücrelerin, modüllerin arasındaki sıcaklık farkları, aşırı sıcaklık ve hasar görmüş modüllerin tespitinin yapılarak müdahalede bulunulması verimliliği doğrudan etkilemektedir. Aşırı ısınma gerçekleşen paneller kurulum esnasında hasar görmüş ya da fabrikasyon olarak hasarlı olabilmektedir. Bu şekilde tespit edilen modüller yenisi ile değiştirilmelidir.

Verimlilik analizini daha gerçekçi değerlerle yapmak için sistemin kurulu olduğu bölgede güneş enerji sistemlerinde kullanılan hava istasyonları kullanılarak ısınım, rüzgar hızı, rüzgar yönü, sıcaklık ölçümleri doğrudan gerçekleştirilebilir.

Simülasyon programlarının güncel versiyonlarında çalışmalar yapıldığında gerçek değerlere daha yakın sonuçlar elde edilebilir.

Sistem tasarımı yapılırken simülasyon programlarında panel açısı, modül sırası açıklığı gibi parametreler değiştirilerek optimum tasarım için çalışmalar yapılmalıdır.

PVsyst simülasyon programında tasarlanan sistemin gölgelenmeli ve gölgelenmesiz simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Gölgesiz şekilde simülasyon yapıldığında yıllık enerji üretimi 2011 MWh/yıl olarak beklenilirken, gölge kayıpları dahil edildiğinde 1952 MWh/yıl enerji üretilmesi beklenmektedir. Bu değerlere bakıldığında sistemde oluşan gölgelerden dolayı %3 oranında kayıp gerçekleştiği görülmektedir. Bu durum tasarımı gerçekleştirecek saha için dikkate alınarak uygun olan seçim yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Akar, A., 2016, *Bir Güneş Enerji Santralının Kurulumu ve Performansının Analizi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Anonim 2022. Diğer Enerji Kaynakları Tanımı ve Kaynakların Ülkemizdeki Mevcut Durumu, Biyokütle Enerjisi <http://www.angelfire.com/scifi/nuclear220/sec555.htm#BDYOKÜTLE%20ENERJİSİ>
- Ayran, Z.A., 2019, *Kütahya İli Güneş Enerji Potansiyelinin Araştırılması Ve Örnek Bir Güneş Enerji Santralının Ekonomik Analizi*, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Cebeci, S. (2017). *Türkiye’de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim Potansiyelinin Değerlendirilmesi*. T.C. Kalkınma Bakanlığı
- Ceylan, O. (2017). *Fotovoltaik Programlarının Simülasyon Sonuçlarının Doğruluğunun İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Master), Süleyman Demirel Üniversitesi
- Çınaroğlu, M.S.(2021). Kilis 7 Aralık Üniversitesinde Kurulacak Bir Ges Projesinin Pvsyst Aracılığı ile Tasarım ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Çiftçi, F., 2016, *Güneş Enerji Sistemlerinde Farklı Cins Panellerle Maliyet Ve Güç Analizinin Yapılması*, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Enerji Ve Çevre Yönetimi Anabilim Dalı.
- EPDK (2022). *Türkiye’de Güneş Enerjisi Kurulu Güç Miktarı Raporu*. www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-23/elektrikaylik-sektorraporlar (Erişim Tarihi: 15.05.2022).
- GEPA. (2022). Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/> Erişim Tarihi:20.03.2022
- Gökrem L. Hidrojen Enerjisi Ve Geleceği Gaziosmanpaşa Üniversitesi Tokat https://www.emo.org.tr/ekler/3f010d6bc392b90_ek.pdf Erişim Tarihi :10.04.2022
- IRENA. (2022). IRENA (International Renewable Energy Agency) Resmi İnternet Sitesi, <https://www.irena.org/Statistics>, Erişim: 27.05.2022
- Karamanav, M.,2007, *Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elektronik Bilgisayar Eğitimi Ana Bilim Dalı.

- Keskin, A., 2019, *Niğde İli Güneş Enerji Santrali Modellemesi ve Performans Parametreleri Değerlendirmesi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Kılıcı, O., 2020, *Değişken Özellikli Fotovoltaik Güneş Enerji Santrallerinin Mevcut Verilerle PVsyst Programında Üretim ve Performans Analizi*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Mekatronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Kılınç, P.E (2019), 500 Kw'lık Güneş Enerjisi Panel Tasarımında Optimizasyon ve Ekonomik Analiz, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- 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.
- Özçelik, Ö., 2018, *Güneş Enerji Sistemleri ve Güneş Yatırımları İçin Doğru Ve Güvenilir Bir Yol Haritası Oluşturulması*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Öztürk, H., 2021, *Bir Güneş Enerji Santralinin Üretim ile Simülasyon Değerlerinin Karşılaştırılması ve Kayıp Analizi: Beştepe Enerji Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri ve Enerji Yönetimi Anabilim Dalı.
- Sağlam, E. (2018). *Fotovoltaik Santrallerin Kurulum Aşamaları ve İşletimdeki Santrallerin Gerçekleşen Üretim Değerlerinin Simülasyon Sonuçları İle Karşılaştırılması*. Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Şahin, S., 2019, *Güneş Enerji Santrallerinin Verimlerine Etki Eden Faktörlerin Değerlendirilmesi*, Amasya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Yenilenebilir Enerji ve Uygulamaları Ana Bilim Dalı.
- Tekkale, G., 2018, *Türkiye'nin Çeşitli İllerinde Yapılacak Arazi Tipi Lisanssız Güneş Enerjisi Santrali Yatırımlarının Teknik ve Finansal Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitü, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı.
- TSKB (2022), Türkiye Sınai Kalkınma Bankası,
https://www.tskb.com.tr/i/assets/document/pdf/Hidrojen%20Enerjisi%20Bilgilendirme%20Notu_120721.pdf (Erişim Tarihi: 12.05.2022).
- Tunçgövdde, K.(2020). İzmir İlinde Bulunan Binalarda Elektrik Üretimi İçin Kullanılan Fotovoltaik Güneş Panel Tiplerinin Verimlilik Bakımından Karşılaştırılması ve Maliyet Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yakut, S., 2017, *Örnek Bir Tesisin Güneş Enerji Sistemiyle Planlanması ve Maliyet Analizinin Araştırılması*, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği

YEGM (2022), Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA), www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx, (Erişim Tarihi: 22.05.2022).

