



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNİN
SİMÜLASYON İLE ÜRETİM VERİLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI VE ANALİZİ

Murat ARSLAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Murat ARSLAN tarafından hazırlanan “GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNİN SİMÜLASYON İLE ÜRETİM VERİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI VE ANALİZİ” adlı tez çalışması 01/08/2022 tarihin de aşağıdaki jüri tarafından oy birliği 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. Cemil SUNGUR

.....

Danışman

Dr.Öğr.Üyesi Hakan TERZİOĞLU

.....

Üye

Doç. Dr. Akif DURDU

.....

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.

Murat ARSLAN

Tarih: 01.08.2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNİN SİMÜLASYON İLE ÜRETİM VERİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI VE ANALİZİ

Murat ARSLAN

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

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hakan TERZİOĞLU

2022, 223 Sayfa

Jüri

**Prof. Dr. Cemil SUNGUR
Doç. Dr. Akif DURDU
Dr. Öğr. Üyesi Hakan TERZİOĞLU**

Güneş enerjisi son yıllarda kullanımı en fazla artış gösteren yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi haline gelmiştir. Panel içerisinde bulunan hücre maliyetlerin düşmesi, kurulum kolaylığı, panel teknolojilerinin sürekli geliştirilerek verimliliğin artması, m² başına panel güçlerinin artması, devlet teşvikleri ve üretilen enerjinin alım garantisi gibi olumlu gelişmeler yatırımcıların elektrik ihtiyaçlarını karşılamasında güneş enerjisini tercih etmesini sağlamıştır. Enerji Bakanlığı yenilenebilir enerji kullanım oranının yükseltilmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda da çeşitli mekanizmalarla yenilenebilir enerji yatırımlarının artırılması istenmektedir. Enerji yatırımlarının artması ile yatırımların fizibilitesi daha önemli hale gelmiştir. Yatırımcılar, yatırımlarını yapmadan önce hangi bölgeye kurulum yapması durumunda sistem veriminin yüksek olacağı, yıllık enerji üretimlerini, amortisman süresini, sistemdeki kayıplarını ve nakit akışlarını görmek istemektedir. Yatırımcının bu talepleri Pvsyst, Pvsol, PVGIS vb. programlar aracılığıyla karşılanabilmektedir.

Bu tez çalışmasında Uşak ve Kayseri’de yer alan ikisi çatı biri arazi olmak üzere üç farklı güneş enerjisi santralleri Pvsyst, Pvsol ve PVGIS simülasyon programları ile simüle edilerek, elde edilen simülasyon verileri, gerçekleşen değerler ile kıyaslanarak yazılımların doğruluk oranları karşılaştırılmıştır.

Simülasyon çalışmalarının sonuçları incelendiğinde aynı simülasyon programında farklı veritabanları kullanarak gerçekleştirilen simülasyon çalışmalarında birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Gerçekleşen ve simülasyon çalışmaları sonucu elde edilen santral sistem performans oranları karşılaştırıldığında gerçek değerlere en yakın sonuçlar %3,83 hata payıyla Pvsyst simülasyon programında Meteonorm veritabanı kullanılarak yapılan simülasyon sonucunda elde edilmiştir. Aynı veritabanı kullanılarak Pvsol simülasyon programı ile yapılan simülasyon çalışmaları incelendiğinde hata payının %4,84 olduğu, gerçek değerlere en uzak sonuçların ise Pvgis simülasyon programıyla yapılan simülasyon çalışmaları ile elde edildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Fizibilite, Güneş Enerjisi, Pvgis, Pvsol, Pvsyst, Simülasyon, Yenilenebilir Enerji

ABSTRACT

MS THESIS

COMPARISON AND ANALYSIS OF SOLAR POWER PLANTS WITH SIMULATION AND GENERATION DATA

Murat ARSLAN

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

Advisor: Assist. Prof. Dr. Hakan TERZİOĞLU

2022, 223 Pages

Jury

**Prof. Dr. Cemil SUNGUR
Assoc. Prof. Dr. Akif DURDU
Assist. Prof. Dr. Hakan TERZİOĞLU**

Solar energy has become one of the most increasing renewable energy sources in recent years. Positive developments such as the decrease in cell costs in the panel, ease of installation, increase in efficiency by continuous improvement of panel technologies, increase in panel power per m², government incentives and purchase guarantee of the produced energy have made investors prefer solar energy to meet their electricity needs. The Ministry of Energy aimed to increase the rate of renewable energy use. In line with this goal, it is desired to increase renewable energy investments through various mechanisms. With the increase in energy investments, the feasibility of investments has become more important. Before making their investments, investors want to see in which region the system efficiency will be high, annual energy production, amortization period, losses in the system and cash flows. These demands of the investor are Pvsyst, Pvsol, PVGIS etc. available through the programmes.

In this thesis, three different solar power plants, two of which are rooftop and one of the land, in Uşak and Kayseri were simulated with Pvsyst, Pvsol and PVGIS simulation programs, and the simulation data obtained were compared with the actual values and the accuracy rates of the software were compared.

When the results of the simulation studies were examined, the results were close to each other in the simulation studies carried out using different databases in the same simulation program. When the power plant performance ratios realized and obtained as a result of simulation studies are compared, the closest results to the real values were obtained as a result of the simulation made using the Meteonorm database in the Pvsyst simulation program with an error margin of 3.83%. When the simulation studies made with the Pvsol simulation program using the same database were examined, it was seen that the margin of error was 4.84%, and the results that were farthest from the real values were obtained with the simulation studies performed with the PvGIS simulation program.

Keywords: Feasibility, Solar Energy, Pvgis, Pvsol, Pvsyst, Simulation, Renewable Energy

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen, tecrübelerini her zaman benimle paylaşan değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Hakan TERZİOĞLU'na bana ayırdığı değerli zaman ve destekleri için minnettarım.

Yoğun çalışmalarım esnasında her türlü fedakarlığı gösteren ve maddi-manevi desteğini esirgemeyen Mustafa ARSLAN ve Merve KOLDAŞ' a teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca bugünlere gelmemde en büyük paya sahip olan, beni her konuda daima destekleyen aileme de teşekkür ederim.

Murat ARSLAN
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
ÇİZELGELER LİSTESİ	xviii
1. GİRİŞ	1
1.1. Güneş Enerjisi.....	2
1.1.1. Dünyada güneş enerjisi ile elektrik üretimi	3
1.1.2. Ülkemizde güneş enerjisi ile elektrik üretimi	9
1.1.3. Uşak ve Kayseri illerinde güneş enerji yatırımları	19
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	25
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	41
3.1. Güneş Hücresinin Yapısı	41
3.1.1. Fotovoltaik hücre elektriksel karakteristiği.....	45
3.1.2. Fotovoltaik hücrenin akım gerilim karakteristiğini etkileyen temel parametreler	48
3.2. Fotovoltaik Sistem Bileşenleri.....	50
3.2.1. Fotovoltaik modül.....	51
3.2.1.1.Monokristal hücreler	51
3.2.1.2. Polikristal hücreler	51
3.2.1.3. İnce film hücreler	51
3.2.2. Eviriciler	52
3.2.2.1. String(dizi) tipi inverterler	52
3.2.3. Kablo.....	54
3.2.4. Konstrüksiyon (Taşıyıcı sistem)	54
3.3. Fotovoltaik Sistem Uygulamaları	55

3.3.1. Şebekeden bağımsız (off grid) sistemler	56
3.3.2. Şebekeye bağlı (on grid) sistemler.....	57
3.3.3. Hibrit bağlı (hybird- connected) sistemler.....	58
3.4. Sistem Performans Parametreleri.....	59
3.4.1. Fotovoltaik dizi kazancı (Ya)	59
3.4.2. Referans kazancı (Yr)	59
3.4.3. Final kazancı (Yf)	60
3.4.4. Performans ratio.....	60
3.4.5. Dize kaybı (Lc)	61
3.4.6. Sistem kaybı (Ls)	61
3.4.7. Kapasite faktörü (CF)	61
3.4.8. Evirici verimi (η_{inv})	62
3.4.9. Sistem verimi (η_{sys})	62
3.4.10. Spesifik verimi.....	62
3.5. Sistem Verimine Etki Eden Parametreler	63
3.5.1. Light induced degradation - LID loss	63
3.5.2. Dc omik kayıplar	64
3.5.3. MPPT etkisi	65
3.5.4. Tozlanma ve karlanma kaybı.....	65
3.5.5. Sıcaklık kaybı	66
3.5.6. Panel kalitesi, degradasyon, uyumsuzluk (Mismatch) kaybı.....	68
3.5.7. Rüzgar yön ve hızı	68
3.5.8. Yansıma kaybı (IAM loss).....	69
3.5.9. Gölge kaybı.....	70
3.6. Simülasyon Programları	72
3.6.1. Pvsol.....	75
3.6.2. Pvsyst	76
3.6.3. Pvgis.....	78
3.7. IEC 61724 Performans Analiz Standardı.....	79
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	80
4.1. Karşılaştırma Yapılan GES Bilgileri	80
4.1.1. Dorte güneş enerji santrali	81

4.1.2. Oylum güneş enerji santrali	89
4.1.3. Alamettin-1 güneş enerji santrali.....	98
4.2. Karşılaştırma Yapılan GES Simülasyonları	106
4.2.1. Pvsyst simülasyonları	106
4.2.1.1. Dorte güneş enerji santrali pvsyst simülasyonları	106
4.2.1.1.1. Meteonorm veri tabanına göre simülasyon sonuçları	115
4.2.1.1.2. Pvgis veri tabanına göre simülasyon sonuçları.....	119
4.2.1.1.3. NASA veri tabanına göre simülasyon sonuçları.....	122
4.2.1.2. Oylum güneş enerji santrali pvsyst simülasyonları	125
4.2.1.2.1. Meteonorm veri tabanına göre simülasyon sonuçları	134
4.2.1.2.2. Pvgis veri tabanına göre simülasyon sonuçları.....	138
4.2.1.2.3. NASA veri tabanına göre simülasyon sonuçları.....	141
4.2.1.3. Alamettin-1 güneş enerji santrali pvsyst simülasyonları	144
4.2.1.3.1. Meteonorm veri tabanına göre simülasyon sonuçları	152
4.2.1.3.2. Pvgis veri tabanına göre simülasyon sonuçları.....	156
4.2.1.3.3. NASA veri tabanına göre simülasyon sonuçları.....	159
4.2.2. PVSOL simülasyonları	162
4.2.2.1. Dorte güneş enerji santrali pvsol simülasyonu	162
4.2.2.2. Oylum güneş enerji santrali pvsol simülasyonu	170
4.2.2.3. Alamettin-1 güneş enerji santrali pvsol simülasyonu	178
4.2.3. Pvgis simülasyonları	186
4.2.3.1. Dorte güneş enerji santrali pvgis simülasyonu	187
4.2.3.2. Oylum güneş enerji santrali pvgis simülasyonu	193
4.2.3.3. Alamettin-1 güneş enerji santrali pvgis simülasyonu	197
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	201
5.1. Sonuç	201
5.1.1. Dorte güneş enerji santrali sonuçların kıyaslanması.....	202
5.1.2. Oylum güneş enerji santrali sonuçların kıyaslanması.....	206
5.1.2. Alamettin-1 güneş enerji santrali sonuçların kıyaslanması	211
5.2. Öneriler	215
KAYNAKLAR	217
ÖZGEÇMİŞ	222

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

GW	: Gigawatt
GWh	: Gigawatt saat
kW	: Kilowatt
kWh	: Kilowatt saat
MW	: Megawatt
MWh	: Megawatt saat
TW	: Terawatt
TWh	: Terawatt saat

Kısaltmalar

DA	: Doğru Akım
EPC	: Mühendislik, Tedarik ve İnşaat İşlemleri Şirketi
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EPIA	: Avrupa Fotovoltaik Endüstrisi Birliği
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
GDR	: Güneş Radyasyon Değeri
GEPA	: Güneş Potansiyel Atlası Enerjisi
GES	: Güneş Enerjisi Santrali
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
IRENA	: Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı
LCOE	: İndirgenmiş Birim Elektrik Üretim Maliyeti
LÜY	: Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimi
LY	: Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği
MPPT	: Maksimum Güç Noktası
ON-GRID	: Şebekeye Bağlı Sistem
PV	: Fotovoltaik
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
YEK	: Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı
Kullanımına İlişkin Kanun	
YEKA	: Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanı
YEKDEM	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Dünyada kaynak türüne göre santral kurulu güçlerinin yıllara göre değişim grafiği.....	4
Şekil 1.2. Kaynak türüne göre üretilen elektrik miktarının yıllara göre değişim grafiği..	4
Şekil 1.3. Dünyada güneş enerji kurulu gücünün yıllara göre değişim grafiği	5
Şekil 1.4. Dünyada güneş enerjisi ile üretilen elektrik miktarının yıllara göre değişim grafiği.....	7
Şekil 1.5. Güneş enerji santrali kurulumu yapılabilecek çatı alanları	10
Şekil 1.6. Çatı ges başvuruları	11
Şekil 1.7. Ülkemize ait güneş enerjisi potansiyel atlası.....	11
Şekil 1.8. Türkiye global radyasyon değerleri (kWh/m ² -gün).....	12
Şekil 1.9. Türkiye’de güneşlenme süresi(saat)	12
Şekil 1.10. Birincil kaynak ve kurulum tipine göre santral güçleri	16
Şekil 1.11. Mart 2022 güncel kurulu güç ve santral adetleri	16
Şekil 1.12. Mart 2022 güneş enerji santrallerinin adetleri.....	17
Şekil 1.13. Mart 2022 güneş enerji santrallerinin kurulu güçleri	17
Şekil 1.14. Ülkemizde yıllara göre elektrik santrallerinin kurulu güçleri	18
Şekil 1.15. İllere göre kurulu güç dağılımı	18
Şekil 1.16. Kayseri güneş radyasyon haritası	20
Şekil 1.17. Kayseri ili güneşlenme süreleri	21
Şekil 1.18. Uşak güneş radyasyon haritası	21
Şekil 1.19. Uşak ili güneşlenme süreleri.....	22
Şekil 1.20. İllere göre kurulu güç dağılımı	22
Şekil 3.1. Güneş hücresi iç yapısı	42
Şekil 3.2. p-n Ekleme ve iç akım.....	43
Şekil 3.3. Güneş pilinin yapısı	44
Şekil 3.4. Güneş pillerinden dizi oluşumu	45
Şekil 3.5. Fotovoltaik hücrenin elektriksel eşdeğer devresi	46
Şekil 3.6. Işımanın fotovoltaik hücre üzerindeki etkisi	49
Şekil 3.7. Sıcaklığın fotovoltaik hücre üzerindeki etkisi	49
Şekil 3.8. Bir fotovoltaik hücrenin güç-gerilim grafiği	50
Şekil 3.9. String(dizi) tipi inverter örneği.....	52

Şekil 3.10. MPPT I-V grafiği.....	53
Şekil 3.11. Merkezi inverter örneği	53
Şekil 3.12. Solar.....	54
Şekil 3.13. Farklı tip konstrüksiyon montaj örneği	54
Şekil 3.14. Arazi konstrüksiyon örneği	55
Şekil 3.15. Şebekeden bağımsız fotovoltaiik sistemler	56
Şekil 3.16. Şebekeye bağlı (on grid) sistemler	57
Şekil 3.17. Hibrit fotovoltaiik sistem.....	58
Şekil 3.18. Temizlenmiş ve tozlu panellerin görüntüsü.....	66
Şekil 3.19. Fotovoltaiik panel yüzeyinden ışınların yansıması.....	70
Şekil 3.20. Güneş paneli üzerine gölge düşme örneği.....	71
Şekil 3.21. Şekil 3.20’de gösterilen pv sistem için günün iki farklı anında (gölgelemesiz ve kısmi gölgeli) güç / gerilim grafiği.....	71
Şekil 3.22. Sabahleyin gölgelemeye maruz kalan bir panelin global ve lokal mpp’lerinin gün içindeki hareketleri.....	72
Şekil 3.23. Pvsol tasarım ekran menüsü	75
Şekil 3.24. Pvsyst programının çalışma mantığı.....	77
Şekil 3.25. Pvsyst program arayüzü.....	77
Şekil 3.26. Pvgis sistem arayüzü	78
Şekil 4.1. Dorte güneş enerji santrali uydu görüntüsü.....	81
Şekil 4.2. Dorte güneş enerji santrali genel yerleşim planı	82
Şekil 4.3. Dorte güneş enerji santrali uygulama görseli	83
Şekil 4.4. Dorte güneş enerji santrali tek hat şeması	84
Şekil 4.5. Dorte güneş enerji gerçekleşen değerler.....	88
Şekil 4.6. Oylum güneş enerji santrali uydu görüntüsü.....	89
Şekil 4.7. Oylum güneş enerji santrali genel yerleşim planı	90
Şekil 4.8. Oylum güneş enerji santrali uygulama görseli	91
Şekil 4.9. Oylum güneş enerji santrali tek hat şeması	92
Şekil 4.10. Oylum güneş enerji gerçekleşen değerler.....	97
Şekil 4.11. Alamettin-1 güneş enerji santrali uydu görüntüsü.....	98
Şekil 4.12. Alamettin-1 güneş enerji santrali genel yerleşim planı	99
Şekil 4.13. Alamettin-1 güneş enerji santrali uygulama görseli	100
Şekil 4.14. Alamettin-1 güneş enerji santrali tek hat şeması	101

Şekil 4.15. Alamettin-1 güneş enerji gerçekleşen değerler	105
Şekil 4.16. Dorte güneş enerji santrali pvsyst'ten konumunun seçilmesi	107
Şekil 4.17. Dorte güneş enerji santrali meteonorm veri tabanı seçimi	107
Şekil 4.18. Dorte güneş enerji santrali pvgıs veri tabanı seçimi.....	108
Şekil 4.19. Dorte güneş enerji santrali NASA veri tabanı seçimi.....	108
Şekil 4.20. Dorte güneş enerji santrali meteonorm aylık meteorolojik veriler.....	109
Şekil 4.21. Dorte güneş enerji santrali pvgıs aylık meteorolojik veriler	109
Şekil 4.22. Dorte Güneş enerji santrali NASA aylık meteorolojik veriler	110
Şekil 4.23. Dorte güneş enerji santrali yönlendirme ekranı.....	110
Şekil 4.24. Dorte güneş enerji santrali sistem tasarım ekranı-1.....	111
Şekil 4.25. Dorte güneş enerji santrali sistem tasarım ekranı-2.....	111
Şekil 4.26. Dorte güneş enerji santrali sistem tasarım ekranı-3.....	112
Şekil 4.27. Termal kayıpların tanımlanması	112
Şekil 4.28. Dc ve ac kablo gerilim düşümü tanımlaması.....	113
Şekil 4.29. Dorte güneş enerji santrali lıd, mistmach kayıplarının tanımlanması	114
Şekil 4.30. Dorte güneş enerji santrali kirlenme kayıplarının tanımlanması.....	114
Şekil 4.31. Dorte güneş enerji santrali pvsyst 3d gölgeleme sahnesi	115
Şekil 4.32. Santralin aylık üretim değerleri	116
Şekil 4.33. Aylara göre performans oranı grafikleri.....	117
Şekil 4.34. Normalize üretim grafiği	117
Şekil 4.35. Sistem kayıplar diyagramı	118
Şekil 4.36. Santralin aylık üretim değerleri	119
Şekil 4.37. Aylara göre performans oranı grafikleri.....	120
Şekil 4.38. Normalize üretim grafiği	120
Şekil 4.39. Sistem kayıplar diyagramı	121
Şekil 4.40. Santralin aylık üretim değerleri	122
Şekil 4.41. Aylara göre performans oranı grafikleri.....	123
Şekil 4.42. Normalize üretim grafiği	123
Şekil 4.43. Sistem kayıplar diyagramı	124
Şekil 4.44. Oylum güneş enerji santrali pvsyst'ten konumunun seçilmesi	125
Şekil 4.45. Oylum güneş enerji santrali meteonorm veri tabanı seçimi	126
Şekil 4.46. Oylum güneş enerji santrali pvgıs veri tabanı seçimi.....	126
Şekil 4.47. Oylum güneş enerji santrali NASA veri tabanı seçimi.....	127

Şekil 4.48. Oylum güneş enerji santrali meteonorm aylık meteorolojik veriler.....	127
Şekil 4.49. Oylum güneş enerji santrali pvgıs aylık meteorolojik veriler	128
Şekil 4.50. Oylum güneş enerji santrali NASA aylık meteorolojik veriler	128
Şekil 4.51. Oylum güneş enerji santrali yönlendirme ekranı.....	129
Şekil 4.52. Oylum güneş enerji santrali sistem tasarım ekranı-1.....	129
Şekil 4.53. Oylum güneş enerji santrali sistem tasarım ekranı-2.....	130
Şekil 4.54. Oylum güneş enerji santrali sistem tasarım ekranı-3.....	130
Şekil 4.55. Termal kayıpların tanımlanması.....	131
Şekil 4.56. Dc ve ac kablo gerilim düşümü tanımlaması.....	132
Şekil 4.57. Oylum güneş enerji santrali lıd, mistmach kayıplarının tanımlanması	132
Şekil 4.58. Oylum güneş enerji santrali kirlenme kayıplarının tanımlanması.....	133
Şekil 4.59. Oylum güneş enerji santrali pvsyst 3d gölgeleme sahnesi	134
Şekil 4.60. Santralin aylık üretim değerleri	135
Şekil 4.61. Aylara göre performans oranı grafikleri.....	135
Şekil 4.62. Normalize üretim grafiği	136
Şekil 4.63. Sistem kayıplar diyagramı	137
Şekil 4.64. Santralin aylık üretim değerleri	138
Şekil 4.65. Aylara göre performans oranı grafikleri.....	139
Şekil 4.66. Normalize üretim grafiği	139
Şekil 4.67. Sistem kayıplar diyagramı	140
Şekil 4.68. Santralin aylık üretim değerleri	141
Şekil 4.69. Aylara göre performans oranı grafikleri.....	142
Şekil 4.70. Normalize üretim grafiği	142
Şekil 4.71. Sistem kayıplar diyagramı	143
Şekil 4.72. Alamettin-1 güneş enerji santrali pvsyst'ten konumunun seçilmesi	144
Şekil 4.73. Alamettin-1 güneş enerji santrali meteonorm veri tabanı seçimi	145
Şekil 4.74. Alamettin-1 güneş enerji santrali pvgıs veri tabanı seçimi.....	145
Şekil 4.75. Alamettin-1 güneş enerji santrali NASA veri tabanı seçimi	146
Şekil 4.76. Alamettin-1 güneş enerji santrali meteonorm aylık meteorolojik veriler...	146
Şekil 4.77. Alamettin-1 güneş enerji santrali pvgıs aylık meteorolojik veriler	147
Şekil 4.78. Alamettin-1 güneş enerji santrali NASA aylık meteorolojik veriler.....	147
Şekil 4.79. Alamettin-1 güneş enerji santrali yönlendirme ekranı	148
Şekil 4.80. Alamettin-1 güneş enerji santrali sistem tasarım ekranı-1	148

Şekil 4.81. Termal kayıpların tanımlanması.....	149
Şekil 4.82. Dc ve ac kablo gerilim düşümü tanımlaması.....	150
Şekil 4.83. Alamettin-1 güneş enerji santrali lıd, mistmach kayıplarının tanımlanması	150
Şekil 4.84. Alamettin-1 güneş enerji santrali kirlenme kayıplarının tanımlanması.....	151
Şekil 4.85. Alamettin-1 güneş enerji santrali pvsyst 3d gölgeleme sahnesi	152
Şekil 4.86. Santralin aylık üretim değerleri	153
Şekil 4.87. Aylara göre performans oranı grafikleri	154
Şekil 4.88. Normalize üretim grafiği	154
Şekil 4.89. Sistem kayıplar diyagramı	155
Şekil 4.90. Santralin aylık üretim değerleri	156
Şekil 4.91. Aylara göre performans oranı grafikleri	157
Şekil 4.92. Normalize üretim grafiği	157
Şekil 4.93. Sistem kayıplar diyagramı	158
Şekil 4.94. Santralin aylık üretim değerleri	159
Şekil 4.95. Aylara göre performans oranı grafikleri	160
Şekil 4.96. Normalize üretim grafiği	160
Şekil 4.97. Sistem kayıplar diyagramı	161
Şekil 4.98. Fotovoltaik sistem türü seçimi.....	162
Şekil 4.99. Sistem kayıplarının tanımlanması	163
Şekil 4.100. Fotovoltaik santral konum seçimi.....	163
Şekil 4.101. Dorte güneş enerji santrali pvsol 3d sistem modellemesi.....	164
Şekil 4.102. Panel-inverter konfigürasyonu	164
Şekil 4.103. String bağlantılarının gösterimi	165
Şekil 4.104. Omik kablo kayıplarının tamamlanması.....	166
Şekil 4.105. Aylara göre santral elektrik üretim grafiği	168
Şekil 4.106. Aylara göre performans oranı değişimi	168
Şekil 4.107. Global yatay ışınlama ve yatay difüz ışınlamanın aylara göre değişimi ..	169
Şekil 4.108. Sistem kayıplar diyagramı	170
Şekil 4.109. Fotovoltaik sistem türü seçimi.....	171
Şekil 4.110. Sistem kayıplarının tanımlanması	171
Şekil 4.111. Fotovoltaik santral konum seçimi.....	172
Şekil 4.112. Oylum güneş enerji santrali pvsol 3d sistem modellemesi.....	172

Şekil 4.113. Panel-inverter konfigürasyonu	173
Şekil 4.114. String bağlantılarının gösterimi	174
Şekil 4.115. Omik kablo kayıplarının tamamlanması.....	174
Şekil 4.116. Aylara göre santral elektrik üretim grafiği	176
Şekil 4.117. Aylara göre performans oranı değişimi	176
Şekil 4.118. Global yatay ışınlama ve yatay difüz ışınlamanın aylara göre değişimi ..	177
Şekil 4.119. Sistem kayıplar diyagramı	178
Şekil 4.120. Fotovoltaik sistem türü seçimi.....	179
Şekil 4.121. Sistem kayıplarının tanımlanması	179
Şekil 4.122. Fotovoltaik santral konum seçimi.....	180
Şekil 4.123. Alamettin-1 güneş enerji santrali pvsol 3d sistem modellemesi	180
Şekil 4.124. Panel-inverter konfigürasyonu	181
Şekil 4.125. String bağlantılarının gösterimi	182
Şekil 4.126. Omik kablo kayıplarının tamamlanması.....	182
Şekil 4.127. Aylara göre santral elektrik üretim grafiği	184
Şekil 4.128. Aylara göre performans oranı değişimi	184
Şekil 4.129. Global yatay ışınlama ve yatay difüz ışınlamanın aylara göre değişimi ..	185
Şekil 4.130. Sistem kayıplar diyagramı	186
Şekil 4.131. Pvgıs-era5 veri tabanı ile dorte ges simülasyonu azimuth-1 veri girişi ekranı	187
Şekil 4.132. Pvgıs-era5 veri tabanı ile dorte ges simülasyonu azimuth-2 veri girişi ekranı	188
Şekil 4.133. Pvgıs-era5 veri tabanı ile dorte ges simülasyonu azimuth-3 veri girişi ekranı	188
Şekil 4.134. Pvgıs-era5 veri tabanı ile dorte ges azimuth-1 simülasyon sonuçları	188
Şekil 4.135. Pvgıs-era5 veri tabanı ile dorte ges azimuth-2 simülasyon sonuçları	189
Şekil 4.136. Pvgıs-era5 veri tabanı ile dorte ges azimuth-3 simülasyon sonuçları	189
Şekil 4.137. Pvgıs-sarah veri tabanı ile dorte ges simülasyonu azimuth-1 veri girişi ekranı	189
Şekil 4.138. Pvgıs-sarah veri tabanı ile dorte ges simülasyonu azimuth-2 veri girişi ekranı	190
Şekil 4.139. Pvgıs-sarah veri tabanı ile dorte ges simülasyonu azimuth-3 veri girişi ekranı	190
Şekil 4.140. Pvgıs-sarah veri tabanı ile dorte ges azimuth-1 simülasyon sonuçları.....	190
Şekil 4.141. Pvgıs-sarah veri tabanı ile dorte ges azimuth-2 simülasyon sonuçları.....	191

Şekil 4.142. Pvgıs-sarah veri tabanı ile dorte ges azimuth-3 simülasyon sonuçları.....	191
Şekil 4.143. Pvgıs-era5 veri tabanı ile oylum ges simülasyonu azimuth-1 veri girişi ekranı	193
Şekil 4.144. Pvgıs-era5 veri tabanı ile oylum ges simülasyonu azimuth-2 veri girişi ekranı	194
Şekil 4.145. Pvgıs-era5 veri tabanı ile oylum ges azimuth-1 simülasyon sonuçları	194
Şekil 4.146. Pvgıs-era5 veri tabanı ile oylum ges azimuth-2 simülasyon sonuçları	194
Şekil 4.147. Pvgıs-sarah veri tabanı ile oylum ges simülasyonu azimuth-1 veri girişi ekranı	195
Şekil 4.148. Pvgıs-sarah veri tabanı ile oylum ges simülasyonu azimuth-2 veri girişi ekranı	195
Şekil 4.149. Pvgıs-sarah veri tabanı ile oylum ges azimuth-1 simülasyon sonuçları...	195
Şekil 4.150. Pvgıs-sarah veri tabanı ile oylum ges azimuth-2 simülasyon sonuçları...	196
Şekil 4.151. Pvgıs-era5 veri tabanı ile alamettin-1 ges simülasyonu azimuth-1 veri girişi ekranı	198
Şekil 4.152. Pvgıs-era5 veri tabanı ile alamettin-1 ges azimuth-1 simülasyon sonuçları	198
Şekil 4.153. Pvgıs-sarah veri tabanı ile alamettin-1 ges simülasyonu azimuth-1 veri girişi ekranı	198
Şekil 4.154. Pvgıs-sarah veri tabanı ile alamettin-1 ges azimuth-1 simülasyon sonuçları	199
Şekil 5.1. Aylara göre enerji üretimi tahminlerinde meydana gelen hatalar	203
Şekil 5.2. Yıllık enerji üretim tahminlerinde meydana gelen hatalar	204
Şekil 5.3. Aylara göre performans oranı tahminlerinde meydana gelen hatalar.....	205
Şekil 5.4. Yıllık sistem performans oranı tahminlerinde meydana gelen hatalar	206
Şekil 5.5. Aylara göre enerji üretimi tahminlerinde meydana gelen hatalar	208
Şekil 5.6. Yıllık enerji üretim tahminlerinde meydana gelen hatalar	208
Şekil 5.7. Aylara göre performans oranı tahminlerinde meydana gelen hatalar.....	210
Şekil 5.8. Yıllık sistem performans oranı tahminlerinde meydana gelen hatalar	210
Şekil 5.9. Aylara göre enerji üretimi tahminlerinde meydana gelen hatalar	212
Şekil 5.10. Yıllık enerji üretim tahminlerinde meydana gelen hatalar	212
Şekil 5.11. Aylara göre performans oranı tahminlerin de meydana gelen hatalar.....	214
Şekil 5.12. Yıllık sistem performans oranı tahminlerinde meydana gelen hatalar	214
Şekil 5.13. Simülasyon programlarının karşılaştırılması.....	215

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 1.1. Dünyada güneş enerji kurulu gücünün yıllara göre değişimi	6
Çizelge 1.2. Dünyada güneş enerjisi ile üretilen elektrik miktarının yıllara göre değişimi	8
Çizelge 1.3. Ülkemize ait aylık güneşlenme süreleri ve radyasyon değerleri	13
Çizelge 1.4. Ülkemizde bölgelere göre ışınlım ve güneşlenme süreleri.....	14
Çizelge 1.5. İllere göre güneşlenme süreleri ve radyasyon değerleri	15
Çizelge 1.6. Güneş enerjisi değerleri	19
Çizelge 1.7. Kayseri’de bulunan güneş enerji santralleri	23
Çizelge 1.8. Uşak’da bulunan güneş enerji santralleri.....	24
Çizelge 3.1. Örnek fotovoltaiik panellerdeki LID kayıpları	63
Çizelge 3.2. Ges alanında kullanılan simülasyon programları ve programların öne çıkan çıkan avantajları	74
Çizelge 4.1. Karşılaştırma yapılan ges saha bilgileri.....	80
Çizelge 4.2. Dorte güneş enerji santrali teknik bilgiler çizelgesi	83
Çizelge 4.3. Dorte güneş enerji santrali güç bilgisi	85
Çizelge 4.4. Dorte güneş enerji santralinde kullanılan panel datasheet verileri	85
Çizelge 4.5. Dorte güneş enerji santralinde kullanılan inverter datasheet verileri	86
Çizelge 4.6. Uşak iline ait meteorolojik veriler	87
Çizelge 4.7. Dorte güneş enerji gerçekleşen değerler.....	88
Çizelge 4.8. Oylum güneş enerji santrali teknik bilgiler çizelgesi	91
Çizelge 4.9. Oylum güneş enerji santrali güç bilgisi	93
Çizelge 4.10. Oylum güneş enerji santralinde kullanılan panel datasheet verileri	94
Çizelge 4.11. Oylum güneş enerji santralinde kullanılan inverter datasheet verileri	95
Çizelge 4.12. Kayseri iline ait meteorolojik veriler.....	96
Çizelge 4.13. Oylum güneş enerji gerçekleşen değerler.....	97
Çizelge 4.14. Alamettin-1 güneş enerji santrali teknik bilgiler çizelgesi	100
Çizelge 4.15. Alamettin-1 güneş enerji santrali güç bilgisi.....	102
Çizelge 4.16. Alamettin-1 güneş enerji santralinde kullanılan panel datasheet verileri.....	103
Çizelge 4.17. Alamettin-1 güneş enerji santralinde kullanılan inverter datasheet verileri	104
Çizelge 4.18. Alamettin-1 güneş enerji gerçekleşen değerler	105
Çizelge 4.19. Dorte pvsol sonuçları.....	167

Çizelge 4.20. Oylum pvsol sonuçları.....	175
Çizelge 4.21. Alamettin-1 pvsol sonuçları.....	183
Çizelge 4.22. Dorte ges pvgıs-era5 veritabanı ile yapılan simülasyon sonuçları	192
Çizelge 4.23. Dorte ges pvgıs-sarah veritabanı ile yapılan simülasyon sonuçları.....	192
Çizelge 4.24. Oylum ges pvgıs-era5 veritabanı ile yapılan simülasyon sonuçları	196
Çizelge 4.25. Oylum ges pvgıs-sarah veritabanı ile yapılan simülasyon sonuçları.....	197
Çizelge 4.26. Alamettin-1 ges pvgıs-era5 veritabanı ile yapılan simülasyon sonuçları	199
Çizelge 4.27. Alamettin-1 ges pvgıs-sarah veritabanı ile yapılan simülasyon sonuçları	200
Çizelge 5.1. Dorte güneş enerji santrali simülasyon sonuçları ve gerçekleşen üretim değerleri	202
Çizelge 5.2. Dorte güneş enerji santrali simülasyon sonuçları ve gerçekleşen performans oranı değerleri	204
Çizelge 5.3. Oylum güneş enerji santrali simülasyon sonuçları ve gerçekleşen üretim değerleri	207
Çizelge 5.4. Oylum güneş enerji santrali simülasyon sonuçları ve gerçekleşen performans oranı değerleri.....	209
Çizelge 5.5. Alamettin-1 güneş enerji santrali simülasyon sonuçları ve gerçekleşen üretim değerleri.....	211
Çizelge 5.6. Alamettin-1 güneş enerji santrali simülasyon sonuçları ve gerçekleşen performans oranı değerleri.....	213

1.GİRİŞ

Güneş enerjisi son yıllarda kullanımı en fazla artış gösteren yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi haline gelmiştir. Panel içerisinde bulunan hücre maliyetlerin düşmesi, kurulum kolaylığı, panel teknolojilerinin sürekli geliştirilerek verimliliğin artması, m² başına panel güçlerinin artması, devlet teşvikleri ve üretilen enerjinin alım garantisi gibi olumlu gelişmeler yatırımcıların elektrik ihtiyaçlarını karşılamasında güneş enerjisini tercih etmesini sağlamıştır. Enerji Bakanlığı yenilenebilir enerji kullanım oranının yükseltilmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda da çeşitli mekanizmalarla yenilenebilir enerji yatırımlarının arttırılması istenmektedir. Enerji yatırımlarının artması ile yatırımların fizibilitesi daha önemli hale gelmiştir. Yatırımcılar, yatırımlarını yapmadan önce hangi bölgeye kurulum yapması durumunda sistem veriminin yüksek olacağı, yıllık enerji üretimlerini, amortisman süresini, sistemdeki kayıplarını ve nakit akışlarını görmek istemektedir. Yatırımcının bu talepleri Pvsyst, Pvsol, PVGIS vb. programlar aracılığıyla karşılanabilmektedir.

Bu tez çalışmasında bu alanda kullanılan programların ve veritabanlarının doğruluğunu tespit etmek amacıyla Uşak ve Kayseri’de yer alan ikisi çatı biri arazi olmak üzere üç farklı güneş enerjisi santralleri Pvsyst, Pvsol ve PVGIS simülasyon programları ve farklı veritabanları ile simüle edilerek, elde edilen simülasyon verileri, gerçekleşen değerler ile kıyaslanarak yazılımların doğruluk oranları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda Pvsyst programında Meteonorm veritabanı kullanılarak gerçekleştirilen simülasyon çalışmalarında % 3,2 hata payıyla gerçeğe en yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Bu tez çalışması toplam beş bölüm ve kaynaklardan oluşmaktadır.

Birinci Bölümde; tezin konusu genel olarak tanıtılmış, tezin önemi ve amacı hakkında kısaca bilgi verilmiştir.

İkinci Bölümde; Literatürde bu konuyla ilgili yapılmış çalışmalar ve sonuçları hakkında kısaca bilgi verilmiştir.

Üçüncü Bölümde; Hücre yapısı, hücre tipleri, santralde kullanılan ana komponentler, fotovoltaiik sistem uygulama tipleri, sistem verimini ve performansını etkileyen parametreler ve simülasyon programları hakkında kısaca bilgi verilmiştir.

Dördüncü Bölümde; Tez çalışmasında kullanılan üç farklı güneş enerji santrali hakkında bilgi verilerek, simülasyon çalışmaların sonuçları grafikler ve çizelgelerle sonuçları açıklanmıştır.

Beşinci Bölümde; yapılan tez çalışmasında elde edilen sonuçlar tartışılmış ve ileride bu konuda çalışma yapacak araştırmacılara öneriler sunulmuştur.

1.1. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, kurulum ve kullanım kolaylığı olmasının yanı sıra çevreyi kirletmemesi, zararlı atık oluşturmaması ve bütçe dostu olması gibi özelliklere sahip, doğrudan güneş ışınların paneller aracılığı ile toplanarak elektriğin üretildiği temiz bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi, teorik olarak güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ısıma enerjisi olarak tanımlanabilir (Çubukçu, 2011). Güneş, yaydığı yaklaşık $3,9 \times 10^{26}$ W güç ile dünyadaki tüm enerji ihtiyacını karşılayacak düzeyde, temiz ve tükenmez bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Her saniyede güneş çok büyük miktarda enerjiyi güneş sistemine yaymaktadır. Dünyaya bu enerjinin çok az bir miktarı ulaşmaktadır. Buna rağmen insanoğlunun ihtiyaçlarını giderebilme noktasında büyük olanaklar sağlamaktadır. Atmosferin dış yüzeyindeki her metrekareye ortalama 1367 W güç düşmektedir. Atmosfer gelen bu ısımanın genellikle X ışınlarından ve ultraviyole ışıklardan oluşan bir kısmını emerken bir kısmını ise yansıtmaktadır. Güneş ışığından dünyanın yüzeyine ulaşan bir dakikalık enerji miktarı dünya genelinde bir yılda kullanılan enerjiden daha fazladır. Bu derece büyük ve yenilenebilir enerji kaynağının değerlendirilmesi adına son zamanlarda yapılan çalışmalar hız kazanmıştır.

Ülkeler fosil kaynakların çevreye verdiği zararlardan kaçınmak için yenilenebilir enerjiye geçişi hızlandırmıştır. Bu sayede güneş enerjisinden ısı ve elektrik üretimi ile ilgili birçok araştırma yapılmakta ve kullanım yıllar geçtikçe artmaktadır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir. Özellikle temiz bir enerji kaynağı olması ve kurulumdan sonra düşük maliyetle çalışması güneş enerjisinin önemini arttırmaktadır. Güneş enerjisinin en yaygın kullanım amacı binaların çatı üzerinde yerleştirilen güneş panel kollektörleri ile sıcak su elde etmektir. Isıtma amacıyla kullanım, ısıyı depolama tekniklerinin yıllar içerisinde gelişimiyle daha verimli kullanılır hale gelecektir (Karamanav, 2007)

İkinci en yaygın uygulama türü ise güneş panelleri kullanarak yapılan fotovoltaik uygulamalardır. Bu uygulamada güneş panellerinin üzerine düşen güneş ışınımını direkt olarak elektrik enerjisine çevrilir. Bu piller, seri veya paralel

bağlanarak, ürettikleri akım ve gerilim değerleri yükseltilerek daha fazla enerji üretilmektedir.(ETKB, 2022)

1.1.1. Dünyada güneş enerjisi ile elektrik üretimi

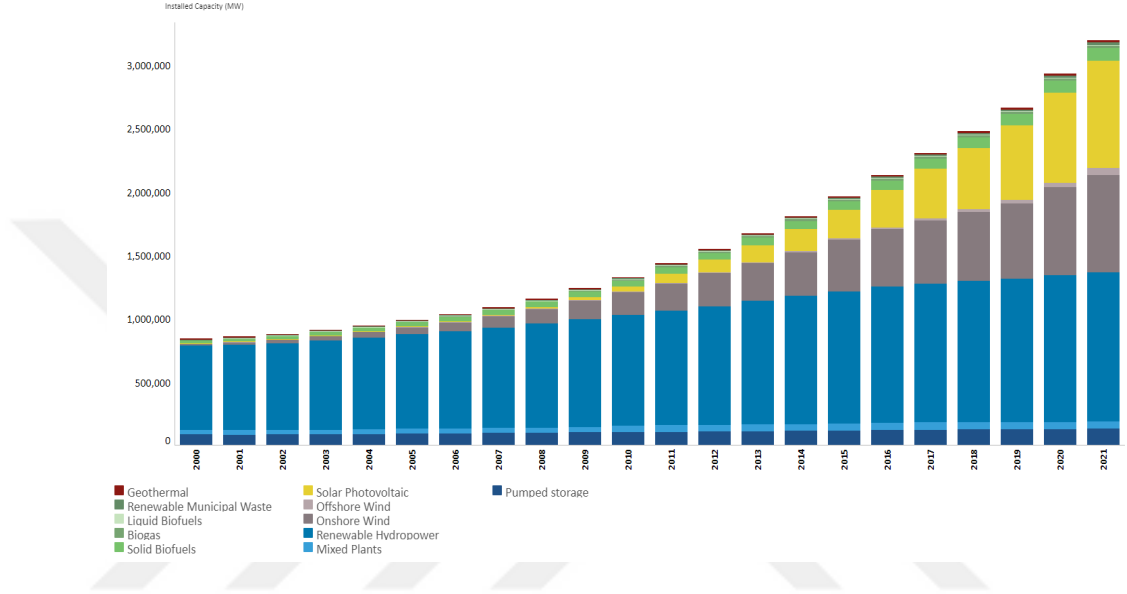
Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelen güneş enerjisi, sağladığı avantajlar ve ekonomik getiri nedeniyle dünyada güneş enerjisi kullanımı oranının artmasını sağlamıştır. Bu sistemi kullanabilmek için öncelikle teknolojik ve verimli sistemlerin kurulması gerekiyor. Genellikle zengin ve gelişmiş ülkeler, bu alanda yatırımlar yapmaktadır.

Otomobiller, sokak aydınlatmaları, jeneratörler, sıcak sular ve daha pek çok alanda bu sistemden yararlanılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen verim sayesinde de büyük ülkeler bu alandaki yatırımlarına hız vermektedir. Avrupa Birliği ülkeleri, bu alanda yatırım yapabilmek için ortak alanlar kurmaya başlayarak yeni teknolojilerin hayata geçirilmesi için destek örgütleri kurmuştur. Türkiye’de de bu konuyla ilgili özel bölgeler oluşturulmaya başlandı.

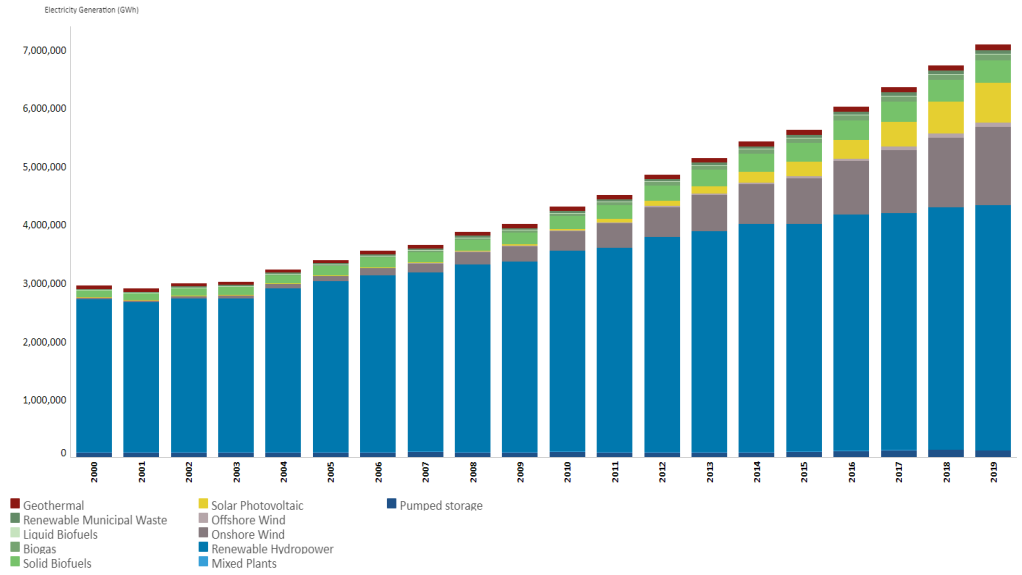
Güneş enerjisini alanında gelişmeleri sağlamak için öncelikle yeni projeler üretmek, bilimsel çalışmalar ile sistem tasarımında kullanılan komponentlerin fonksiyonel olarak geliştirilmesi ve ebat olarak küçültülmesi vb. konularda gerekli bilimsel çalışmaların yürütülmesi gerekmektedir. En çok güneş enerjisi kullanan ülkelere baktığımız zaman Almanya, Danimarka, İspanya’nın ilk üçte yer almaktadır. Dünyada güneş enerjisi kullanan ülkeler sadece bu ülkelerle sınırlı değildir. Rusya ve Çin de son dönemlerde küresel ısınmanın da etkisiyle yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapmaya başlamıştır.

Dünyada güneş enerjisi kullanımı açısından en çok yatırım yapan ülkelerden biri olan Almanya, güneşli gün sayısı çok az olmasına rağmen fotovoltaiik sistemler kurarak, ülke genelinde bu konuyla ilgili çalışmalar yapmak için bilim kurumları oluşturmuştur. Almanya güneş enerjisi ile ilgili olarak güneşten yararlanmak için ülke genelinde güneşli gün sayısının fazla olmasına gerek olmadığını savunmaktadır. Almanya, günümüzde dünyanın en çok güneş enerjisi üreten ülkelerinin başında gelmektedir. Alternatif enerji üretimine giden büyük ülkeler, yeni sistemler sayesinde GES üretim alanları yaratmaya başladı.

Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı'nın (IRENA) internet sitesinde yayınladığı güncel verilere göre, kaynak türüne göre santral kurulu güçlerinin yıllara göre değişim grafiği Şekil 1.1'de, kaynak türüne göre üretilen elektrik miktarının yıllara göre değişim grafiği Şekil 1.2'de yer almaktadır. Yıllar içerisinde güneş enerjisi santrallerinin kurulu gücünün artmasına bağlı olarak güneş enerjisine dayalı elektrik üretimi artış göstermektedir.

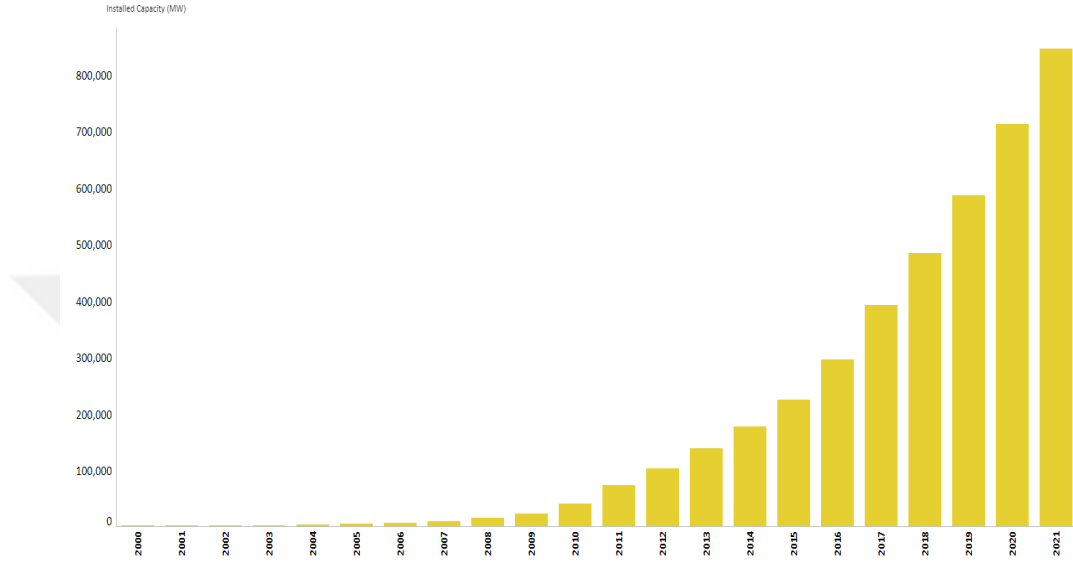


Şekil 1.1. Dünyada kaynak türüne göre santral kurulu güçlerinin yıllara göre değişim grafiği (IRENA, 2022)



Şekil 1.2. Kaynak türüne göre üretilen elektrik miktarının yıllara göre değişim grafiği (IRENA, 2022)

Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı'nın (IRENA) yayınladığı güncel verilerine göre, 2000 yılından 2021 yılına kadar bazı yıllar bir önceki yıla göre artış oranının da azalmalar olmasına rağmen yıldan yıla kurulu güç sürekli olarak artış göstermektedir. Güneş Enerji Kurulu Gücü 2000 yılında 0,809 MW iken 21 yıl içerisinde kurulu güç 842,251 MW artarak 2021 yılında 843,06 MW' a ulaşmıştır.

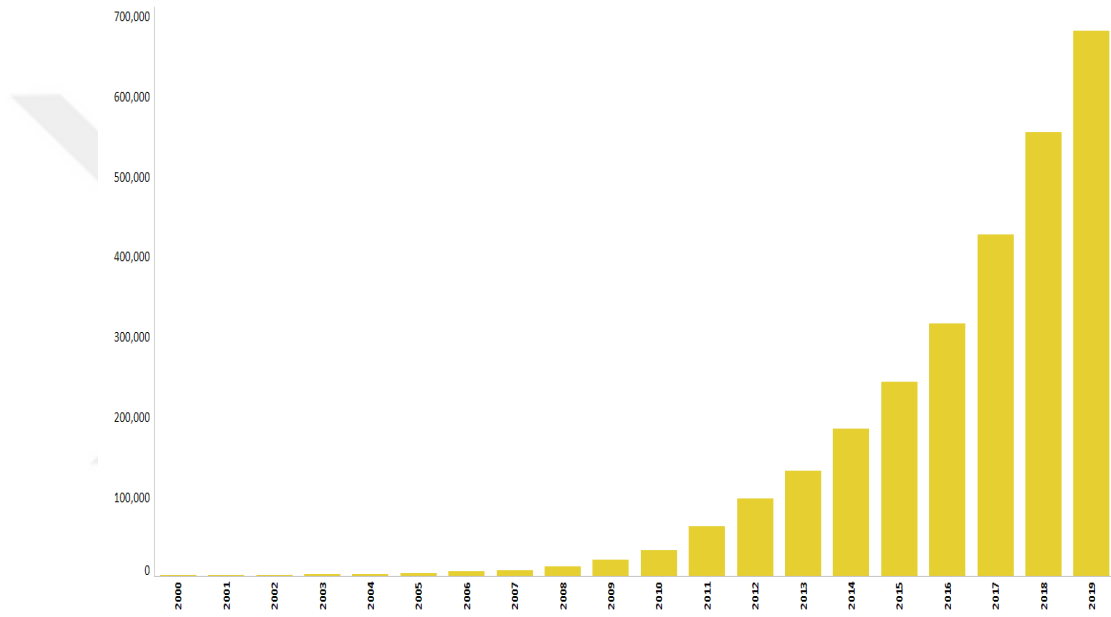


Şekil 1.3. Dünyada güneş enerji kurulu gücünün yıllara göre değişim grafiği (IRENA, 2022)

Çizelge 1.1. Dünyada güneş enerji kurulu gücünün yıllara göre değişimi (IRENA, 2022)

Yıl	Kurulu Güç Miktarı (MW)	Bir Önceki Yıla Göre Artış Miktarı
2000	0,809	1,000
2001	1,903	2,352
2002	1,437	0,755
2003	1,965	1,367
2004	3,052	1,553
2005	4,548	1,490
2006	6,093	1,340
2007	8,506	1,396
2008	14,73	1,732
2009	22,844	1,551
2010	40,338	1,766
2011	72,216	1,790
2012	101,745	1,409
2013	137,227	1,349
2014	175,617	1,280
2015	223,204	1,271
2016	295,229	1,323
2017	390,207	1,322
2018	483,012	1,238
2019	584,686	1,210
2020	710,281	1,215
2021	843,086	1,187

Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı'nın (IRENA) yayınladığı güncel verilerine göre, Çizelge 1.2 ve Şekil 1.4'de yer aldığı üzere 2000 yılından 2019 yılına kadar bazı yıllar bir önceki yıla göre artış oranının da azalmalar olmasına rağmen yıldan yıla güneş enerjisi aracılığıyla elde edilen elektrik enerji miktarı sürekli olarak artmıştır. Güneş Enerjisi aracılığıyla elde edilen elektrik enerjisi miktarı 2000 yılına kadar 0,805 GWh iken 2019 yılında bu miktar 678,999 GWh' a ulaşmıştır. Bu durum dünya üzerinde ortaya çıkan enerji açığının karşılanmasında güneş enerjisinin payının giderek arttığını göstermektedir.



Şekil 1.4. Dünyada güneş enerjisi ile üretilen elektrik miktarının yıllara göre değişim grafiği (IRENA, 2022)

Çizelge 1.2. Dünyada güneş enerjisi ile üretilen elektrik miktarının yıllara göre değişimi (IRENA, 2022)

Yıl	Yıllık Üretilen Elektrik Miktarı (GWh)	Kümülatif Üretilen Elektrik Miktarı (GWh)	Bir Önceki Yıla Göre Artış Miktarı
2000		0,805	0,000
2001	0,33	1,135	1,000
2002	0,272	1,408	0,824
2003	0,443	1,851	1,629
2004	0,643	2,495	1,451
2005	1,319	3,813	2,051
2006	1,661	5,474	1,259
2007	1,962	7,436	1,181
2008	4,462	11,898	2,274
2009	8,186	20,084	1,835
2010	12,063	32,147	1,474
2011	30,276	62,423	2,510
2012	33,866	96,288	1,119
2013	35,146	131,434	1,038
2014	52,188	183,622	1,485
2015	58,53	242,153	1,122
2016	72,826	314,979	1,244
2017	111,189	426,168	1,527
2018	126,497	552,665	1,138
2019	126,334	678,999	0,999

1.1.2. Ülkemizde güneş enerjisi ile elektrik üretimi

Elektrik, dünyada olduğu gibi ülkemizde de endüstriyel kalkınma için en önemli bir paya sahiptir. Endüstriyel alanların yanı sıra Türk gündelik hayatında, elektrik enerjisi ısıtma, ulaşım vb. gibi temel ihtiyaçları karşılamak için kullanılmaktadır. Teknolojideki gelişmeler, değişen çevresel faktörler, finansal olasılıklar, kullanılan enerji kaynaklarının bileşiminde farklılaşma, yerli ve 20. yüzyıl boyunca Türkiye'nin enerji politikalarında gelişmelere sebep olmuştur. Enerji politikasının temel amacı, sürekli artan nüfus karşısında büyüyen bir ekonomik rekabetçi bir serbest piyasa ortamında minimum maliyetle, sürekli ve kaliteli bir şekilde ülkenin enerji ihtiyacını karşılamaktır. Bu durum ana kaynak olarak herhangi bir yatırım maliyeti olmayan güneş enerjisi ile elektrik üretimini ön plana çıkarmıştır (Çetin, 2010)

Ülkemizde Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması (YEKDEM) aracılığıyla ve YEKA yarışmalarıyla elektrik alanında ülkenin dışa bağıllığını azaltmayı hedeflemektedir. Bugüne kadar güneş enerjisinden, çatılara paneller yerleştirip, güneş enerjisini, termal enerjiye dönüştürerek su ısıtmada yararlanılmıştır. Zaman içerisinde güneş enerji ile elektrik üretimi konusunda gelişmeler ile güneş enerjisinden elektrik üretimi park ve bahçe aydınlatmalarında, uyarı ve yol levhalarında, trafik lambalarında, verici istasyonlarında başlayarak büyük endüstriyel tesislerin çatılarında ve arazilerde karşımıza çıkmaya başlamıştır. Güneş enerjisine dayalı elektrik üretimi ağırlıklı olarak çatı tipi olarak karşımıza çıkmaktadır. Endüstriyel tesislerde tüketime bağlı ödenen yüksek elektrik faturaları ve santral kurulumu için ayrı bir alan satın almaya gerek olmaması vb. durumlar fabrika sahiplerinin bu yatırımı yapmalarını yöneltmiştir. (Y. Ceylan, 2016).

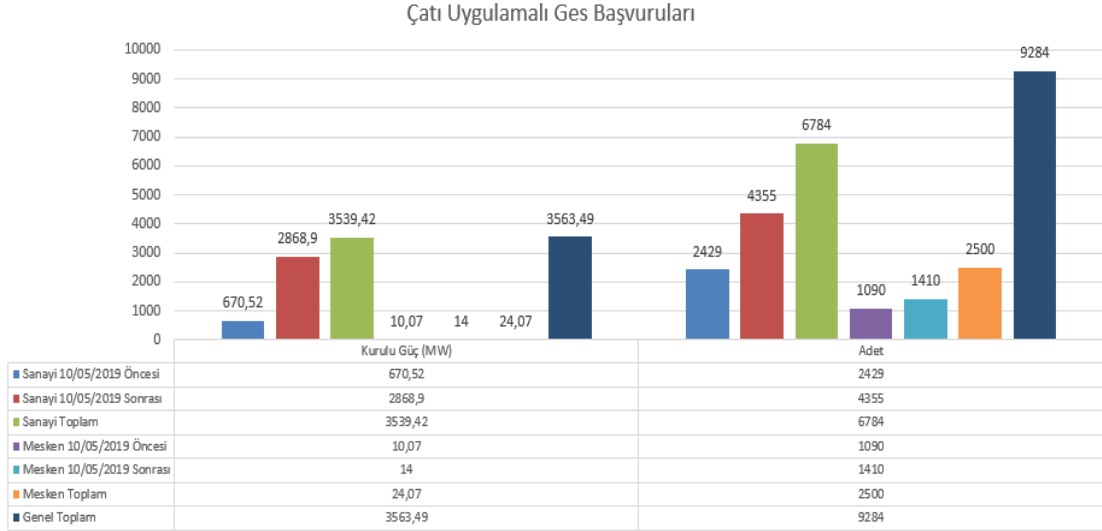
Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre Türkiye’de 9,1 milyon adet bina bulunmakta olup bu miktarın yaklaşık %87’sini konut nitelikli binalardır. Türkiye’nin bina stoğuna her yıl 100.000’den fazla yeni bina eklenmektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı bu binaların çatı ve cephelerine önümüzdeki 10 yıl içinde toplam 2.000 – 4.000 MW seviyelerinde güneş modülü sistemlerinin kurulabileceği öngörmektedir(Bakanlığı, 2022).

Ülkemizde değerlendirilebilecek çatı alanları Şekil 1.5’de yer almaktadır.



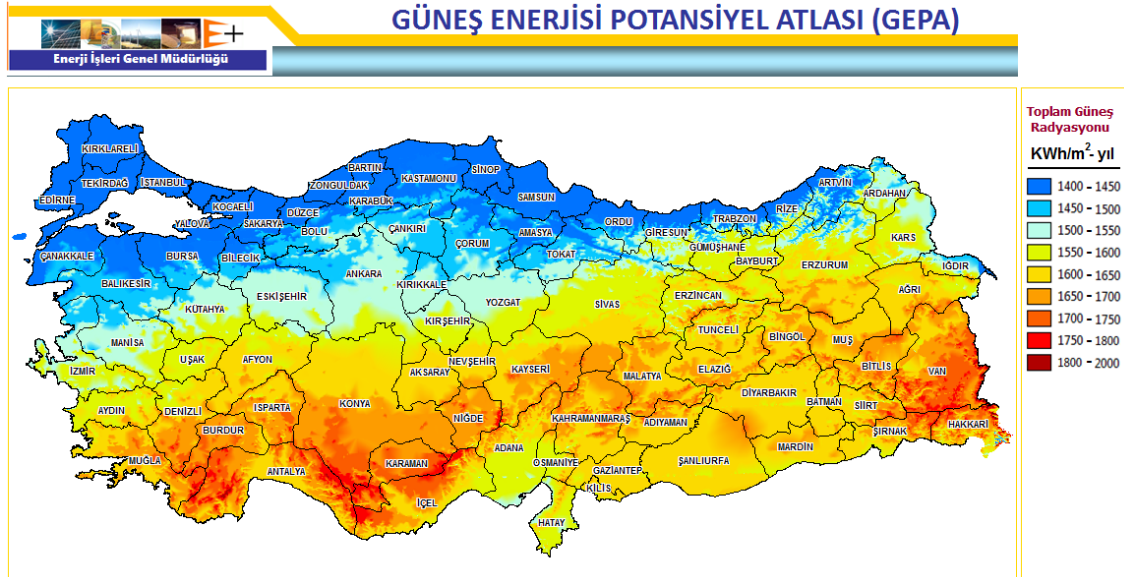
Şekil 1.5. Güneş enerji santrali kurulumu yapılabilecek çatı alanları (ETKB, 2022)

Enerji Piyasası Kanununda yapılan değişiklikler ve lisanslı Güneş Enerjisi Santralleri (GES) için yapılan yarışmalardaki rekabet, lisanssız GES olan çatı başvurularında hızlı bir yükselişe neden olmuştur. Şekil 1.6’da 1 Ocak 2021 itibariyle Bakanlığımıza yapılan çatı başvurularına ait bilgiler yer almaktadır. Şekil 1.6 ‘da yer aldığı üzere çatı ges başvurularının büyük bir çoğunluğu endüstriyel tesis grubu olan sanayi aboneleri tarafından yapılmıştır (Bakanlığı).



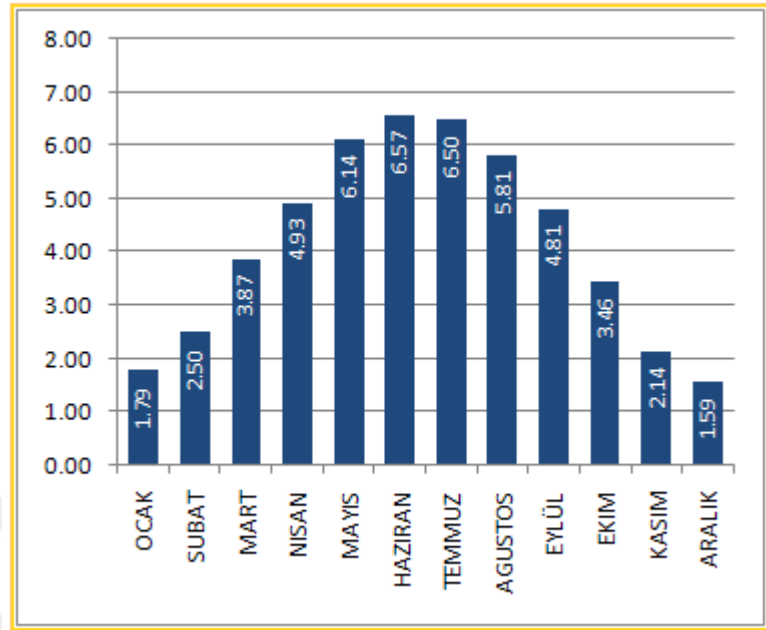
Şekil 1.6. Çatı ges başvuruları (ETKB, 2022)

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle birçok ülkeye göre şanslı olup yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2741,07 saat olup ortalama yıllık toplam ışıınım değeri 1527,46 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. GEPA’da yer alan genel potansiyel görünümü Şekil 1.7’de yer almaktadır.



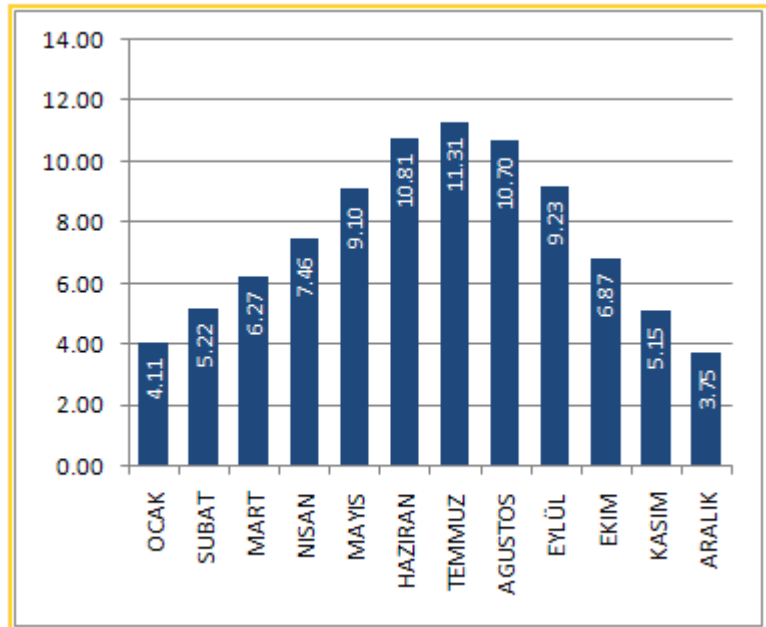
Şekil 1.7. Ülkemize ait güneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA, 2022)

Ülkemize ait aylık olarak global radyasyon değerleri Şekil 1.8’de yer almaktadır.



Şekil 1.8. Türkiye global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) (GEPA, 2022)

Ülkemize ait aylık olarak güneşlenme süreleri Şekil 1.9’da yer almaktadır.



Şekil 1.9. Türkiye’de güneşlenme süresi(sa) (GEPA, 2022)

Çizelge 1.3’de yer aldığı üzere ülkemizde güneşlenme süresi en düşük 3,75 saat/gün ile Aralık ayı iken en yüksek 11,31 saat/gün ile Temmuz ayı karşımıza çıkmaktadır. Aylara göre radyasyon değerlerine bakıldığında en düşük ışıınma 49,29 kWh/m²-Ay ile Aralık ayı iken en yüksek 201,5 kWh/m²-Ay ile Temmuz ayı karşımıza çıkmaktadır. Ülkemizde yıllık toplam güneşlenme süresi 2741,07 saat, ortalama yıllık toplam ışıınım değeri 1527,46 kWh/m² olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 1.3. Ülkemize ait aylık güneşlenme süreleri ve radyasyon değerleri (GEPA, 2022)

Aylar	Güneşlenme Süreleri		Enerji
	(Saat/Gün)	(Saat/Ay)	(kWh/m ² -Ay)
Ocak	4,11	127,41	55,49
Şubat	5,22	146,16	70
Mart	6,27	194,37	119,97
Nisan	7,46	223,8	147,9
Mayıs	9,1	282,1	190,34
Haziran	10,81	324,3	197,1
Temmuz	11,31	350,61	201,5
Ağustos	10,7	331,7	180,11
Eylül	9,23	276,9	144,3
Ekim	6,87	212,97	107,26
Kasım	5,15	154,5	64,2
Aralık	3,75	116,25	49,29
Toplam	89,98	2741,07	1527,46
Ortalama	7,50 Saat/Gün		4,18 kWh/m ² -Gün

Çizelge 1.4’de yer aldığı üzere yıl içerisinde ülkemizde en fazla ışıınma 1460 kWh/m²-yıl ile Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup,bunu Akdeniz Bölgesi ve Doğu Anadolu bölgesi takip etmektedir. Doğu Anadolu Bölgesi ve İç Anadolu Bölgesi’nin Ege Bölgesi’nden fazla güneş enerjisi aldığı görülmektedir. Güneşlenme sürelerine bakıldığında 2993 saat/yıl ile birinci sırada Güneydoğu Anadolu bölgesi, ikinci Akdeniz Bölgesi, üçüncü sırada ise Ege bölgesi yer almaktadır. Karadeniz bölgesi en düşük ışıınma ve güneşlenme süresine sahip bölge olarak karşımıza çıkmaktadır (Y. Ceylan, 2016; Küçükgoze, 2016).

Çizelge 1.4. Ülkemizde bölgelere göre ışıınım ve güneşlenme süreleri (Karamanav, 2007)

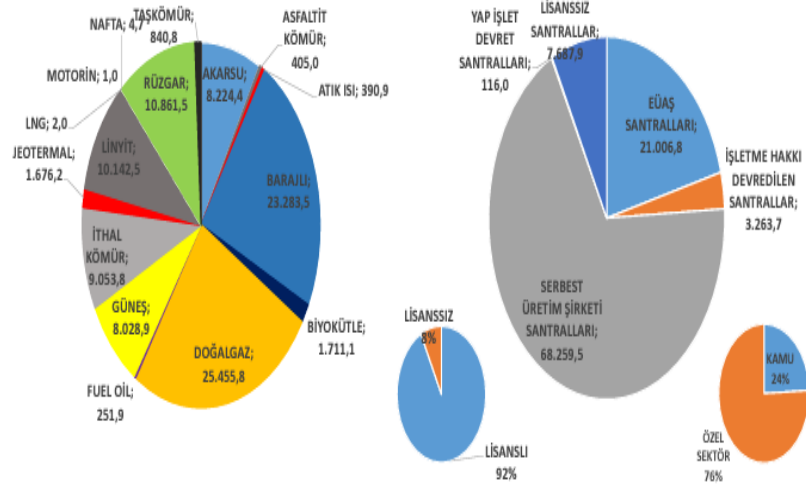
Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/Yıl)
Güney Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

Çizelge 1.5’de yer aldığı üzere illere göre güneşlenme sürelerine baktığımızda yılda en çok güneşlenme süresine 3508 saat ile Hakkari’dir. Bu ili 3033 saat ile Mardin ardından sonra 3011 saat ile Antalya takip etmektedir. En az güneşlenme süresine sahip alan illerimiz ise Rize, Trabzon ve Artvin olarak karşımıza çıkmaktadır.

Çizelge 1.5. İllere göre güneşlenme süreleri ve radyasyon değerleri (Güç, 2016)

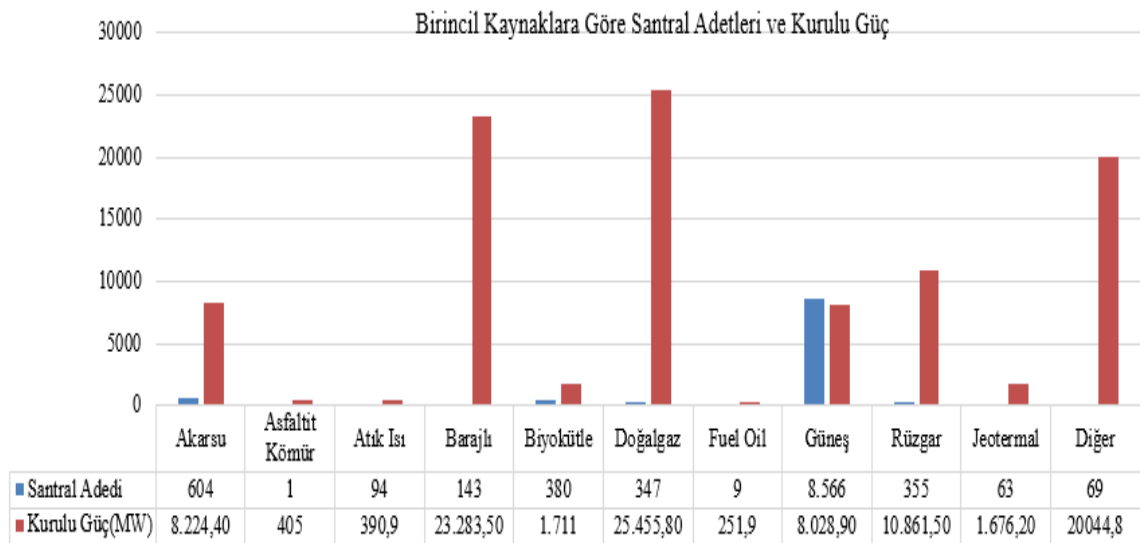
İl	Güneşlenme Süresi (Saat-Yıl)	Radyasyon Değeri (kWh/m ² -yıl)	İl	Güneşlenme Süresi (Saat-Yıl)	Radyasyon Değeri (kWh/m ² -yıl)
Adana	2,953	1,564	İstanbul	2,446	1,612
Adıyaman	2,961	1,595	İzmir	2,986	1,496
Afyonkarahisar	2,705	1,557	Karabük	2,402	1,369
Ağrı	2,778	1,57	Karaman	3,007	1,66
Aksaray	2,886	1,578	Kars	2,537	1,472
Amasya	2,427	1,392	Kastamonu	2,394	1,364
Ankara	2,611	1,473	Kayseri	2,842	1,588
Antalya	3,011	1,646	Kırıkkale	2,648	1,46
Ardahan	2,31	1,472	Kırklareli	2,628	1,321
Artvin	2,124	1,409	Kırşehir	2,769	1,509
Aydın	3,011	1,557	Kilis	2,975	1,575
Balıkesir	2,686	1,418	Kocaeli	2,373	1,329
Bartın	2,376	1,307	Konya	2,898	1,608
Batman	2,873	1,576	Kütahya	2,559	1,49
Bayburt	2,398	1,529	Malatya	2,873	1,599
Bilecik	2,424	1,412	Manisa	2,84	1,486
Bingöl	2,719	1,592	Kahramanmaraş	2,913	1,61
Bitlis	2,69	1,604	Mardin	3,033	1,588
Bolu	2,402	1,416	Muğla	3,04	1,587
Burdur	2,944	1,631	Muş	2,686	1,591
Bursa	2,515	1,393	Nevşehir	2,834	1,537

Ülkemizde elektrik üretmek amacı kullanılan birincil kaynakların kurulu güçleri ve kurulum tipine göre toplam kurulu güçleri Şekil 1.10'da yer almaktadır. Kurulu güç içerisindeki en büyük pay 25.455,8 MW ile doğal gaz santrallerinin, ardından ise 23.283,5 MW ile barajlı kaynaklara aittir. Rüzgar santrallerin kurulu gücü 10.861,5 MW, geride kalan linyit santrallerinin kapasitesi 10.142,5 MW ithal kömür yakıtlı santrallerin kurulu gücü 9.053,8 MW olurken akarsu tipi hidroelektrik santrallerin kurulu gücü 8.224,4 MW, jeotermalin 1.676,2 MW ve biyokütlenin 1.711,1 MW'a ulaşmıştır. Kurulum tipine göre en fazla güce 68259,5 MW ile serbest üretim şirketi santrallerine aittir.

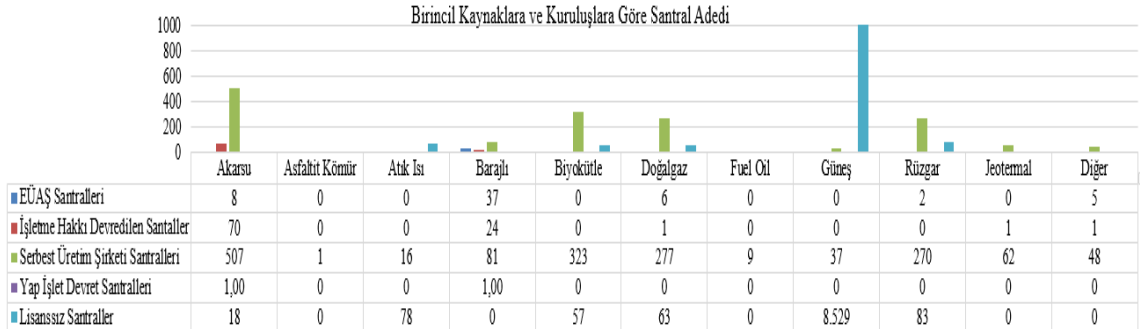


Şekil 1.10. Birincil kaynak ve kurulum tipine göre santral güçleri (TEİAŞ, 2022)

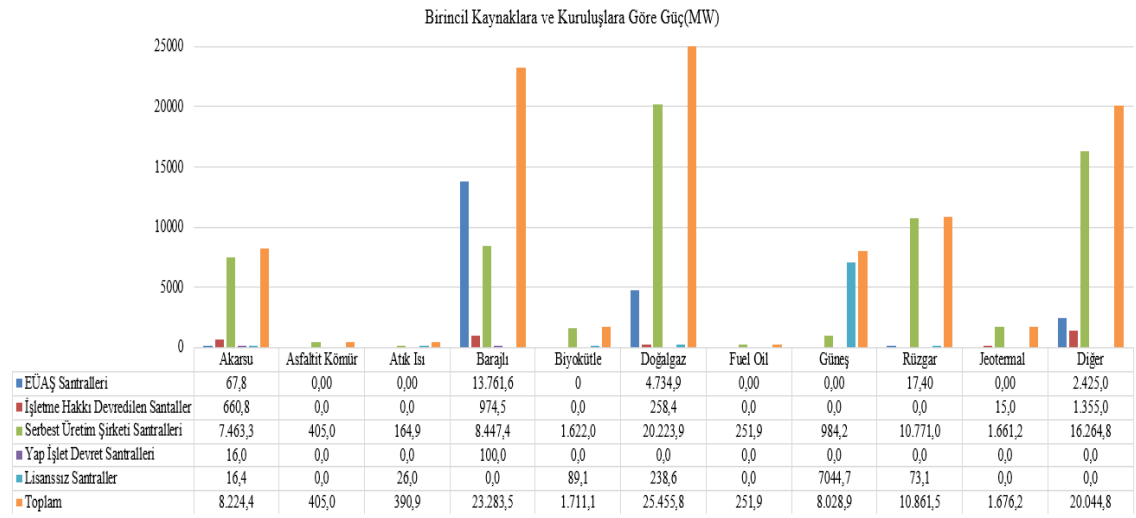
Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) tarafından Mart 2022 tarihinde yayınlanan rapora göre güneş enerjisine dayalı elektrik üretim santral adet ve toplam kurulu gücü Şekil 1.11, Şekil 1.12 ve Şekil 1.13’de yer almaktadır. Ülkemizde 37 adet serbest üretim şirketi santralleri, 8529 adet lisanssız santral olmak üzere toplam 8566 adet güneş enerji santrali bulunmaktadır. Serbest üretim şirketine ait santrallerin kurulu gücü 984,2 MW iken lisanssız santrallerin kurulu gücü 7044,7 MW’tir. Toplam kurulu güç 8028,9 MW’a ulaşmıştır.



Şekil 1.11. Mart 2022 güncel kurulu güç ve santral adetleri (TEİAŞ, 2022)

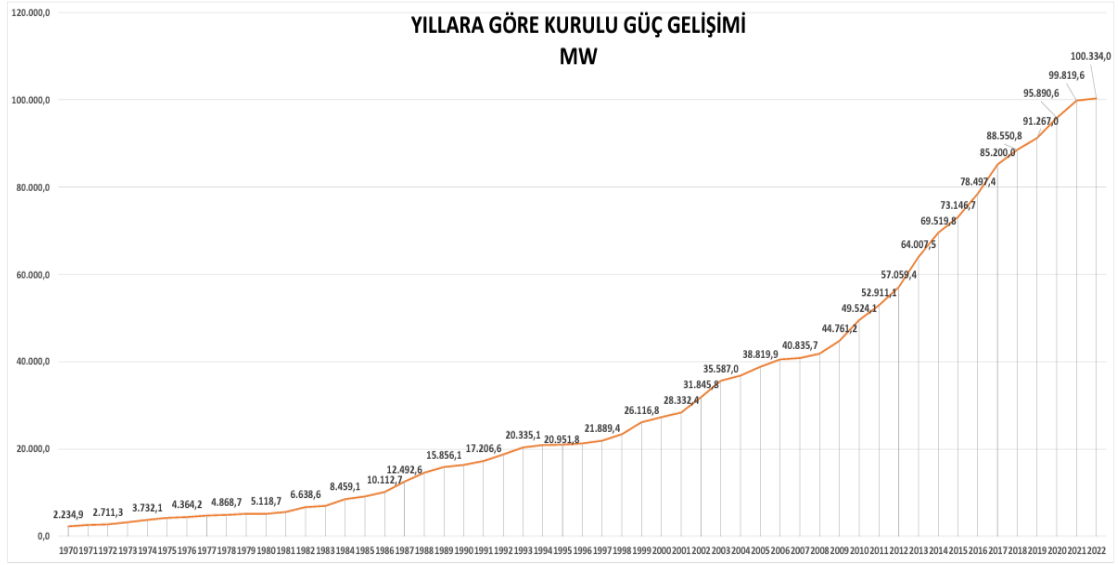


Şekil 1.12. Mart 2022 güneş enerji santrallerinin adetleri (TEİAŞ, 2022)



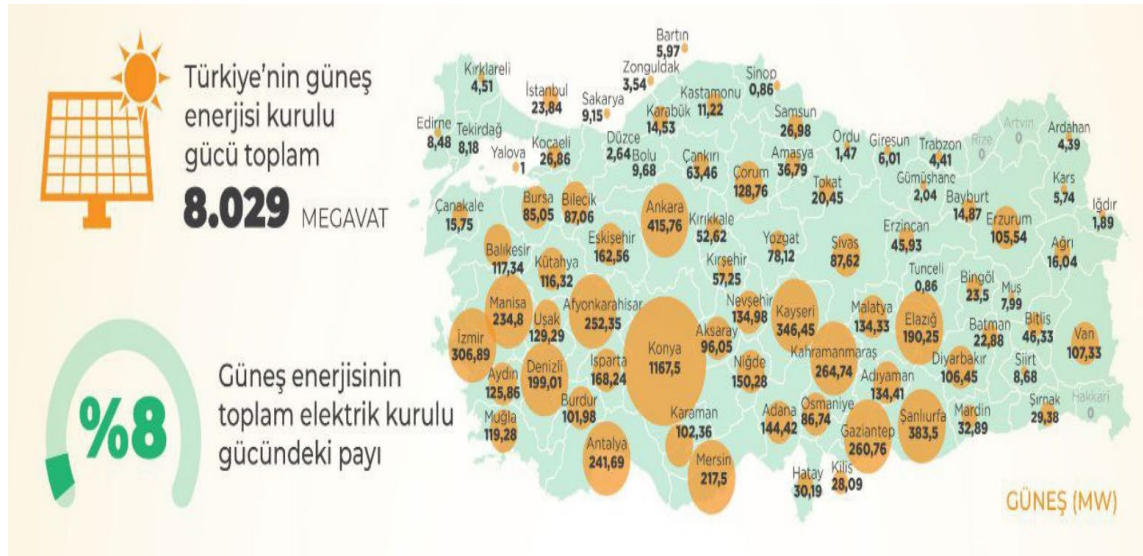
Şekil 1.13. Mart 2022 güneş enerji santrallerinin kurulu güçleri (TEİAŞ, 2022)

TEİAŞ Mart 2022 değerleri ve Şekil 1.14’de yer aldığı üzere 1970 yılında 2234,9 MW olan kurulu güç değeri 2022 Mart itibarıyla %43,89 artarak toplam elektrik santral kurulu gücü 100.334,0 MW’a ulaşmıştır. 8028,9 MW kurulu güç ile güneş enerji santralleri toplam kurulu gücün %8 ‘sini temsil etmektedir.



Şekil 1.14. Ülkemizde yıllara göre elektrik santrallerinin kurulu güçleri (TEİAŞ, 2022)

Ülkemizde yer alan 8029 MW güneş enerji santralinin illere göre dağılımı Şekil 1.15’de yer almaktadır. Kurulu güç bakımından en yüksek kapasiteye 1167,5 MW ile Konya ili sahiptir. Bu ili 415,76 MW ile Ankara takip etmektedir.



Şekil 1.15. İllere göre kurulu güç dağılımı (ETKB, 2022)

1.1.3. Uşak ve Kayseri illerinde güneş enerji yatırımları

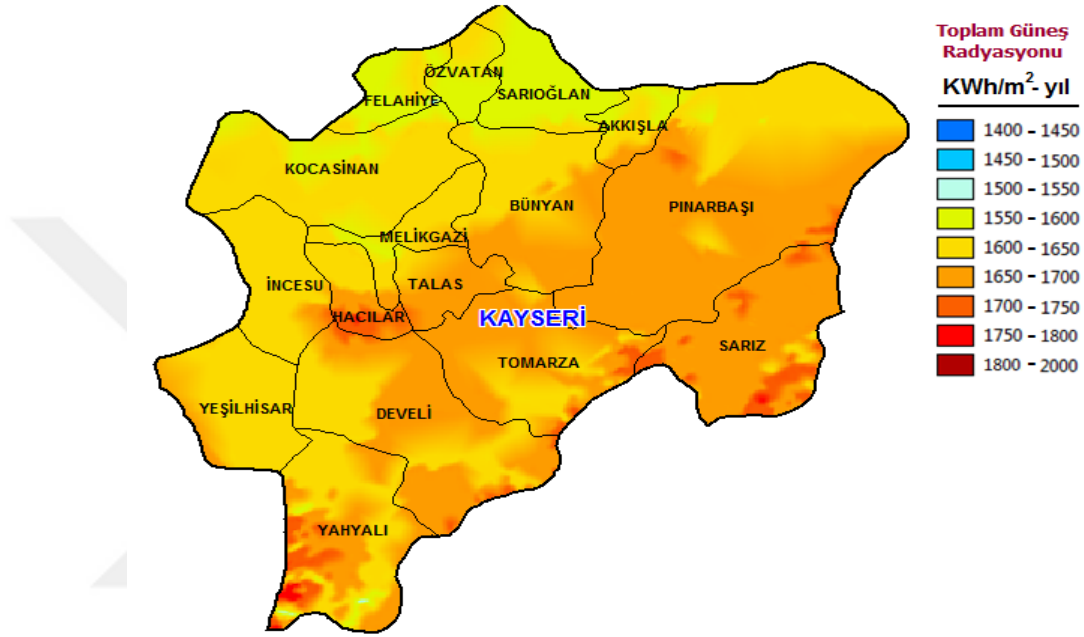
Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlasından (GEPA) verilerine göre Uşak ve Kayseri güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde edilebilecek Türkiye'nin en uygun illerinden birkaçıdır. Uşak ve Kayseri illerinde güneş radyasyonu ve güneşlenme süresi yüksek olması, güneşin doğuş ve batışını engelleyen bir dağ olmaması, arazinin toprak ve bitki örtüsü yapısı sebebi ile rüzgar ve fırtına esnasında tozlanma nedeniyle kayıpların düşük olması, sıcaklık ortalamasının düşük olması, nem miktarının az oluşu, eğimin az olması vb. sebeplerden dolayı, Türkiye'de güneş enerjisinden elektrik elde etmek için en uygun illerdendir.

Çizelge 1.6'da yer alan Kayseri ve Uşak iline ait güneş radyasyon değerlerine göre Türkiye ortalaması olan 4,176 kWh/m²-gün değeri, Kayseri için 4,35 kWh/m²-gün, Uşak için ise 4,222 kWh/m²-gündür. Ayrıca Kayseri ve Uşak illeri güneşlenme sürelerinde de Türkiye ortalaması olan yıllık 2.741,07 saatin çok üzerinde ve yıllık sırasıyla 2.846,98 ve 2.793,26 saattir.

Çizelge 1.6. Güneş enerjisi değerleri (GEPA, 2022)

Aylar	Radyasyon Değeri (kWh/m ² -gün)			Güneşlenme Saati (Saat)		
	Türkiye	Kayseri	Uşak	Türkiye	Kayseri	Uşak
Ocak	1,79	1,93	1,83	4,11	4,08	4,6
Şubat	2,5	2,59	2,41	5,22	5,31	5,33
Mart	3,87	4,1	3,93	6,27	6,37	6,46
Nisan	4,93	5,04	5,09	7,46	7,59	7,48
Mayıs	6,14	6,33	6,13	9,1	9,21	9,37
Haziran	6,57	6,74	6,58	10,81	11,22	10,83
Temmuz	6,5	6,86	6,63	11,31	12,03	11,42
Ağustos	5,81	5,98	5,88	10,7	11,47	10,76
Eylül	4,81	5,03	4,83	9,23	9,84	9,38
Ekim	3,46	3,62	3,51	6,87	7,39	6,93
Kasım	2,14	2,28	2,19	5,15	5,39	5,14
Aralık	1,59	1,73	1,65	3,75	3,55	3,98
Ortalama	4,176	4,353	4,222	2741,07	2846,98	2793,26

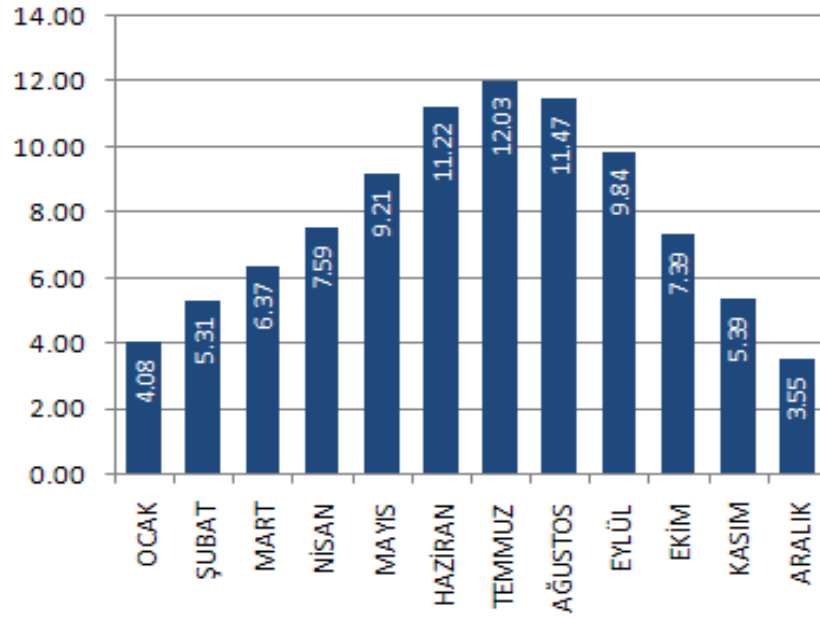
Kayseri, dünya üzerinde $34^{\circ} 56'$ kuzey – $36^{\circ} 59'$ doğu boylamlarında bulunmaktadır. Şekil 1.16 ve Çizelge 1.6'da yer aldığı üzere GEPA'ya göre Kayseri'nin, yıllık toplam gelen güneş enerjisi miktarının $1592,27 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$ ve yıllık toplam güneşlenme süresinin 2846,98 saat olduğu tespit edilmektedir. Günlük olarak baktığımızda bu rakamlar $4,35 \text{ kWh/m}^2$ 'lik güneş enerjisi gücüne ve 7,78 saatlik güneşlenme süresine denk gelmektedir(GEPA, 2022).



Şekil 1.16. Kayseri güneş radyasyon haritası (GEPA, 2022)

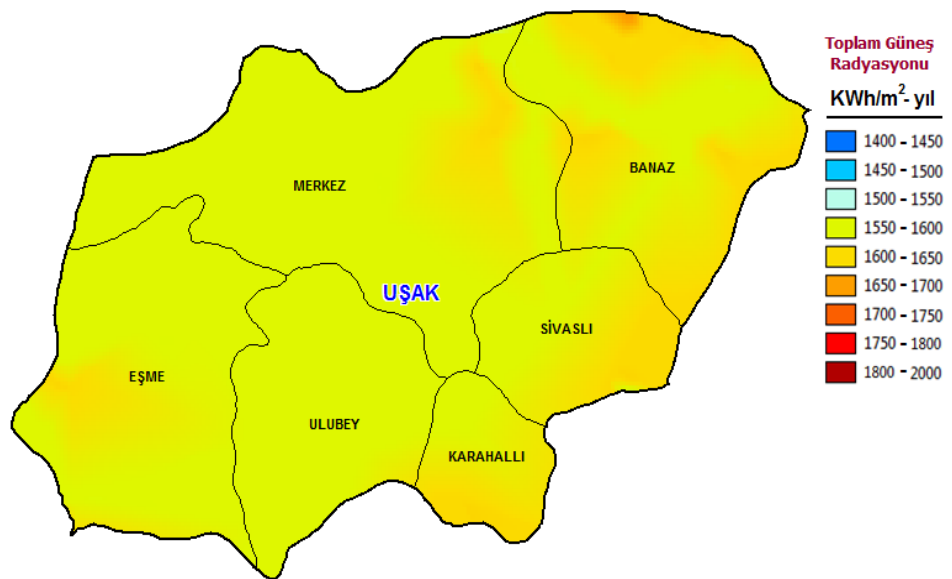
Şekil 1.16'da yer alan haritadan da görüldüğü üzere Kayseri ilinin güneş radyasyon değerleri kuzeyden güneye doğru artmaktadır. En fazla radyasyona sahip olan ilçesi Sarız olarak görülmektedir.

Şekil 1.17'de yer aldığı üzere Kayseri ilinin güneşlenme süreleri incelendiğinde en fazla güneşlenme süresi 12,03 saat ile Temmuz ayında olup, en düşük güneşlenme süresine 3,55 saat ile Aralık ayıdır. Güneşlenme süresi üretilen elektrik enerjisi verimini ve miktarını etkileyen en önemli unsurlarından biri olduğu için en fazla üretim Temmuz ayında olacağı görülmektedir.



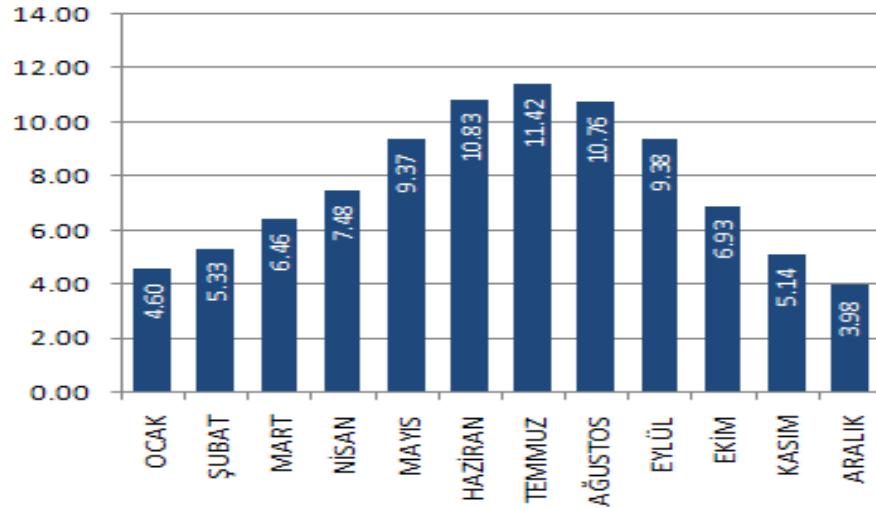
Şekil 1.17. Kayseri ili güneşlenme süreleri (GEPA, 2022)

Uşak, dünya üzerinde $38^{\circ} 40'$ kuzey – $29^{\circ} 24'$ doğu boylamlarında bulunmaktadır. Şekil 1.19 ve Çizelge 1.6'da yer aldığı üzere GEPA'ya göre Uşak'ın, yıllık toplam gelen güneş enerjisi miktarının $1644,54 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$ ve yıllık toplam güneşlenme süresinin 2793,26 saat olduğu tespit edilmektedir. Günlük olarak baktığımızda bu rakamlar $4,22 \text{ kWh/m}^2$ 'lik güneş enerjisi gücüne ve 7,64 saatlik güneşlenme süresine denk gelmektedir(GEPA, 2022).



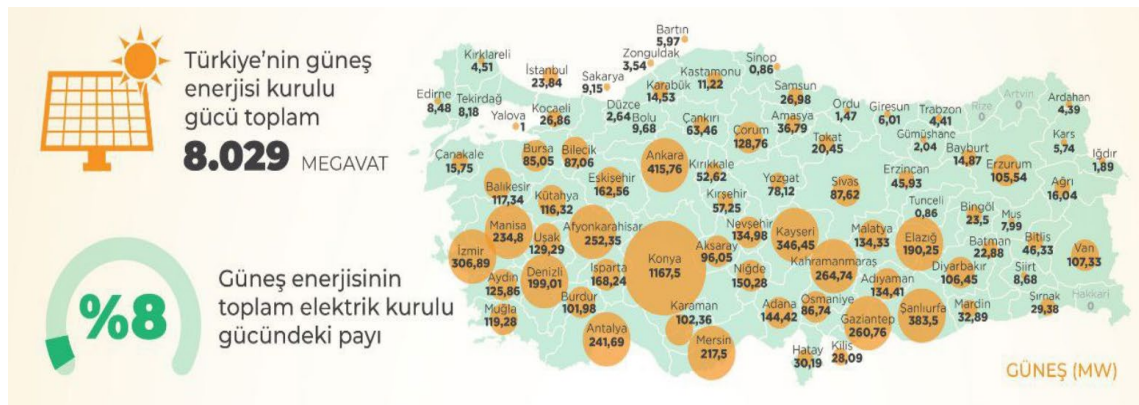
Şekil 1.18. Uşak güneş radyasyon haritası (GEPA, 2022)

Şekil 1.19’da yer aldığı üzere Uşak ilinin güneşlenme süreleri incelendiğinde en fazla güneşlenme süresi 11,42 saat ile Temmuz ayında olup, en düşük güneşlenme süresine 3,98 saat ile Aralık ayıdır. Güneşlenme süresi üretilecek olan elektrik enerjisi verimini ve miktarını etkileyen en önemli unsurlarından biri olduğu için en fazla üretim Temmuz ayında olacağı görülmektedir.



Şekil 1.19. Uşak ili güneşlenme süreleri (GEPA, 2022)

Şekil 1.20’de yer aldığı üzere 1167,5 MW ile Konya en fazla kurulu güce ile sahiptir. Kayseri ilinde kurulu güç 346,45 MW iken bu değer Uşak’ta 129,29 MW olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 1.20. İllere göre kurulu güç dağılımı (ETKB, 2022)

Çizelge 1.7. Kayseri’de bulunan güneş enerji santralleri

Tesis Adı	Şehir	Durumu	Güç(MW)
Kayseri OSB Güneş Enerjisi Santrali	Kayseri	İşletmede	50,0
Edikli GES	Kayseri	İşletmede	10,0
Kayseri Çiftlik Güneş Enerjisi Santrali	Kayseri	İşletmede	8,4
Entar Enerji Güneş Enerjisi Santrali	Kayseri	İşletmede	8,0
Ventis Solar Park	Kayseri	İşletmede	7,9
Asunim Solarpower Güneş Enerji Santrali	Kayseri	İşletmede	6,0
Özkoyuncu Madencilik Güneş Santrali	Kayseri	İşletmede	5,4
Has Çelik Güneş Santrali	Kayseri	İşletmede	4,4
Erciyes Enerji Üretim Güneş Enerjisi Santrali	Kayseri	İşletmede	4,0
Tomarza Söğütlü Köyü Güneş Enerji Santrali	Kayseri	İşletmede	3,0
Başyazıcıoğlu Güneş Enerji Santrali	Kayseri	İşletmede	3,0
Arkopa Enerji Güneş Enerji Santrali	Kayseri	İşletmede	3,0
Ataken ve Nadir Güneş Enerji Santrali	Kayseri	İşletmede	3,0
Turkuaz Seramik Güneş Enerjisi Santrali	Kayseri	İşletmede	3,0
Uğur Trafo Güneş Enerjisi Santrali	Kayseri	İşletmede	3,0
Elmeks Maden ve Dekel Güneş Enerji Santrali	Kayseri	İşletmede	2,0
Kayges ve HSY Enerji Güneş Enerjisi Santrali	Kayseri	İşletmede	2,0
Konak MHT Enerji Güneş Enerji Santrali	Kayseri	İşletmede	2,0
Türkan ve Mehmet Altun GES	Kayseri	İşletmede	2,0
Türkoğlu Enerji Güneş Enerji Santrali	Kayseri	İşletmede	2,0
Kamanlıoğlu Enerji Güneş Enerjisi Santrali	Kayseri	İşletmede	2,0
Özkardeş Enerji Köprübaşı GES	Kayseri	İşletmede	2,0
Kayseri Şeker Fabrikası GES	Kayseri	İşletmede	1,4
Seferoğlu Elektrik Güneş Enerjisi Santrali	Kayseri	İşletmede	1,0
Süksün GES	Kayseri	İşletmede	1,0

Çizelge 1.8. Uşak’da bulunan güneş enerji santralleri

Tesis Adı	Şehir	Durumu	Güç(MW)
Akım, Anadolu ve Molino Güneş Enerji Santrali	Uşak	İşletmede	2,85
Uşak'taki Diğer Lisanssız GES'ler	Uşak	İşletmede	102,0
T Dinamik Enerji Uşak Aktaş GES	Uşak	Yapım Aşamasında	7,0
Masfen 558 ve 585 Güneş Enerji Santrali	Uşak	Yapım Aşamasında	1,7
Uşak Karma OSB Güneş Enerji Santrali	Uşak	Yapım Aşamasında	0,4

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

(Perez, Stewart, Seal, & Guertin, 1988) tarafından yapılan çalışmada, ABD’de temiz enerji ticareti ve yenilenebilir enerji teknolojileri üretimi alanında faaliyet gösteren SMUD şirketinin oluşturduğu yenilenebilir enerji üretim tahmini yapan CPE (Clean Power Estimator) programının tahmin verilerini, altı farklı bölge için SNL tarafından geliştirilen simülasyon programı olan PVFORM tahminleriyle kıyaslamışlardır. Çalışmalar sonucunda CPE ve PVFORM verilerinin birbirine yakın olduğunu tespit etmişlerdir.

(Clavadetscher & Nordmann, 1993) tarafından yapılan çalışmada, İsviçre’de 100 kW’lık kurulu güce sahip N13 adlı güneş enerjisi santralinin 1990 ve 1991 yıllarında gerçekleşen üretim değerleri, Meteonorm yazılımına ait meteorolojik veriler ve hesaplama modeli hesaplanan üretim değerlerini kıyaslamışlardır. Yapılan bu çalışmada; 1990 yılında gerçekleşen üretim değerlerin, yazılım aracılığıyla tahmin edilen değerlerden %6 daha az olduğu, 1991 yılında gerçekleşen üretim değerlerinin ise tahmin edilen değerlerden ise %8 daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir.

(Sidrach-de-Cardona & Lopez, 1999) tarafından yapılan çalışmada, Malaga Üniversitesi kampüsü içerisinde yer alan 2 kW büyüklüğündeki güneş enerji santrali için 1997 yılı boyunca sistem performans testleri yapmışlardır. Üreticiler tarafından öngörülen veriler üzerinden yapılan matematiksel hesaplamaları ile santralin bir yıl boyunca gerçekleşen üretim değerlerini kıyasladıklarında; panellerin güç değerlerinin üreticiler tarafından verilen değerlerden %9,4 daha az olduğu görülmüştür. Ayrıca üreticilerin öngördüğü değerler ile yapılan kWh/kWp değerinin gerçekte %4,4 daha az olduğu görülmüştür.

(Eke, 2000) tarafından yapılan çalışmada, PVSYST 3.02 sürüm simülasyon programı kullanarak Aydın’ın Didim ilçesinde kurulu olan 3,8 kWp kurulu güce sahip şebekeye bağlı bir fotovoltaik güç sistemi için Pvsyst yazılımı ile yapılan simülasyon verileri ile gerçekleşen üretim verileri karşılaştırmıştır. Sabit eğim açılı ve tracker sistemi olmak üzere iki farklı kurulum tipi için aynı kurulu güçte gerçekleştirilen simülasyonda 3,8 kWp gücündeki fotovoltaik santralin, sabit eğim açılı durumda yıllık %1,25 ve tracker sistem uygulaması gerçekleştirildiğinde %6,7 oranında daha fazla elektrik enerjisi elde edilebileceği görülmüştür.

(Hove, 2000) tarafından yapılan çalışmada, fotovoltaik sistemlerin tasarımı için uzun vadeli sistem performansı tahmini yapabilen programlardan biri olan TRNSYS

simülasyon programının verileri ile kendilerinin üzerine çalışarak geliştirdiği basitleştirilmiş hesaplamalara dayalı modeli kıyaslamışlardır. TRNSYS yazılımının kullandığı model ile çalışmada geliştirilen model, sistemin akülü/aküsüz durumlarda kayıpları, PV sistemin aylık ortalama ürettiği elektrik enerjisi gibi yönlerden kıyaslaması yapılmıştır. Yapılan kıyaslamalarda santral tarafından üretilen enerjide modeller arasında %1 fark olduğu, sistem kayıplarında akülü durumlarda %40, aküsüz durumlarda %5 fark olduğu, PV sisteminin ürettiği aylık elektrik enerjisinde de %10 fark olduğu tespit edilmiştir.

(Ahmad, Hussein, & El-Ghetany, 2003) tarafından yapılan çalışmada, fotovoltaiik santral simülasyon programlarından biri olan TRNSYS programında geliştirilen matematiksel tahmin yöntemini kullanarak altı adet 50 Wp gücünde mono kristal güneş panelin fabrika üretim verileri ve simülasyon verilerinin panellerin farklı konumlandırma durumlarında doğruluğu tespit edilmeye çalışılmıştır. Deney düzeneğinde kullanılan paneller, gerçek hava koşullarında ilk üçü yatay formda diğerleri de sırasıyla 30, 60 ve 90 derecelerde olacak şekilde elektriksel karakteristik verileri ölçüldü. Yapılan değerlendirmede, simülasyon programı aracılığıyla tahmin edilen verilerin, deney sonuçlarında elde edilen verilere yakın olduğu görüldü. Yapılan kıyaslamada açık devre voltajının %1,43 hata payıyla, kısa devre akımlarının %2,67 hata payıyla ve yüzey sıcaklıklarının %2,02 hata payı olduğu gözlemlendi.

(Pietruszko & Gradzki, 2003) tarafından yapılan çalışmada, 2000 yılı içinde 12 ay boyunca 1 kW'lık kurulu güce sahip şebeke bağlantılı fotovoltaiik sistemin performans değerlerini IEC 61724 standartlarına göre takip etmişlerdir. 12 ay sonunda sistemin kurulan sistemin 830 kWh enerji ürettiğini, IEC 61724 standartına göre tahmin edilen verilerin üstünde bir enerji üretildiğini, sistem performans oranının 0,8'lere kadar çıktığını ve sistem verimliliğinin %4-5 seviyelerinde olduğunu gözlemlenmiştir.

(Jahn & Nasse, 2004) tarafından yapılan çalışmada, 2004 yılında Uluslararası Enerji Ajansı tarafından fotovoltaiik sektörünün güçlendirilmesi amacıyla uyguladığı Fotovoltaiik Güç Sistemleri Programı (PVPS) kapsamında Almanya'da 235, diğer Avrupa ülkelerinde 133 kurulu güneş enerjisi santrali verileri alınmıştır. 368 adet santral PVSOL simülasyon programı ile simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon verileri ile gerçek veriler karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmada simülasyon programından yıllık 793 kWh/kWp enerji üretimi ve %73,6 sistem performans oranı verisi elde edilirken, gerçek değerlerin yıllık 820 kWh/kWp enerji üretimi ve %76,5 sistem performans oranı olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda gerçek veriler ile Pvsol

programı arasında elde edilen veriler arasında %3-4 arasında farklılık olduğu tespit edilmiştir.

(Labad & Lorenzo, 2004) tarafından yapılan çalışmada, birden fazla meteorolojik veri kaynaklarını kullanarak gerçekleşen enerji üretimlerine yakınlığı incelemişlerdir. Yirmi iki farklı noktadan alınan meteorolojik veriler ile Censolar, Meteororm ve NASA kaynaklarından alınan meteorolojik verileri kıyaslanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda üç farklı veri tabanı kaynağı da değerlendirilerek gerçek veriler ile NASA, Meteororm ve Censolar tarafından elde edilen veriler arasında %10 farklı olduğunu ve bu durumun kurulacak santral fizibilite çalışmasını etkileyeceğini tespit etmişlerdir.

(Sözen, Arcaklioğlu, & Özalp, 2004) tarafından yapılan çalışmada, Sözen ve arkadaşları bir yapay sinir ağları modeli geliştirerek Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelini tahmin etmeyi amaçlamışlardır. Geliştirdikleri yapay sinir ağları modeli ile buldukları tahminleri, 17 farklı ilde kurdukları ölçüm istasyonlarından alınan gerçek veriler ile kıyaslamışlardır. Meteorolojik ve coğrafik veriler (enlem, boylam, rakım, ay, ortalama güneşlenme saati ve ortalama sıcaklık) geliştirilen yapay sinir ağları modelinin giriş kısmını oluşturdu. Test istasyonları ile yapay sinir ağ modeli arasında en fazla %6,735 fark bulduklarını belirtmişlerdir.

(Detrick, Kimber, & Mitchell, 2005) tarafından yapılan çalışmada, güneş enerji santralleri tasarımında kullanılan simülasyon programlarından elden edilen veriler ile gerçek üretim değerleri arasında fark oluşmasının sebeplerini ortaya koymaya çalışmışlardır. Çalışmalarında PVWatts, PVGrid, PVDDesignPro gibi simülasyon programlarında kullanılan bazı kabullerin, simülasyon çıktıları hangi ölçüde değiştirebildiğini, panel yüzeyinde oluşan tozlanmanın simülasyon sonucu elde edilen veri ile gerçek veri arasındaki farkı ne ölçüde etkileyebileceğini teorik olarak belirtmişlerdir.

(Eicker, Pietruschka, Schumacher, Fernandes, & Bollin, 2005) tarafından yapılan çalışmada, hem santral tasarımı esnasında hem de santral kurulduktan sonra online olarak anlık izleme yapılabilen bir simülasyon programı olan INSEL yazılımının anlık verilerini, sahada gerçekte ölçülen verilerle karşılaştırmıştır. Karşılaştırma sonucunda anlık izleme yeteneğine sahip INSEL yazılımının 1 dakika aralıklar ile aktardığı verilerin, gerçek verilerle arasında %2 hata oranı olduğunu tespit etmişlerdir.

(Marion et al., 2005) tarafından yapılan çalışmada, şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemlerde performans değerlendirme çalışmalarında kullanılacak parametrelerin

standartlaştırılması konusunda Uluslararası Enerji Ajansının yaptığı ve IEC 61724 numarası ile tamamlanan çalışmalar hakkında bilgi vermişlerdir.

(Mondol, Yohanis, & Norton, 2005) tarafından yapılan çalışmada, fotovoltaik bir santralin elektriksel ve termal karakteristiklerini TRNSYS yazılımı ile simüle etmişlerdir. Modül sıcaklığını tahmin etmek için, modül ile ortam arasındaki sıcaklık farkını güneşlenmeye bağlayan doğrusal bir korelasyon denklemi geliştirmişlerdir. Sonuçlar, küresel difüzyon korelasyon modeli ve modül sıcaklık tahmininin gerçek verilerle güncellenmesinin simülasyon modelinin genel doğruluğunu geliştirdiğini göstermiştir. Analizlerin incelendiği dönem boyunca, ölçülen ve tahmin edilen fotovoltaik panel çıkışı arasındaki aylık ortalama hata % 6.79 iken ölçülen ve tahmin edilen evirici çıkışı arasındaki aylık ortalama hata ise % 4.74 olarak hesaplamışlardır.

(Ransome & Funtan, 2005) tarafından yapılan çalışmada, simülasyon programlarının veri tabanında bulunan hava sıcaklıkları ve sıcaklık istatistiklerinin saatlik ve dakikalık değerlerini almışlardır. Verileri aldıkları noktalardan 15 saniyelik periyotlar ile gerekli ölçümler yaparak veriler toplamışlardır. Alınan verileri incelediklerinde geliştirdikleri model ile hava durumları sıklıkla değişen Avrupa ülkelerinde daha doğru tahminlerin oluştuğunu gözlemlediler.

(Mondol, Yohanis, & Norton, 2007) tarafından yapılan çalışmada, simülasyon programları sonucunda elde edilen verilerin gerçeğe yakınlık oranını arttırmak için TRNSYS programında yeni bir model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri yeni model ile elde ettikleri verileri, gerçek değerler ile karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında, Global yatay yayılma modelinin ışıınım ve yayılma bileşenlerini hesaplamak için bir bölgeye özgü yatay yayılma korelasyon modeli geliştirildi ve kullanıldı. Yine aynı çalışmada, bölgeden ölçülen veriler kullanılarak PV modülü sıcaklık denklemi ile bir eviricinin giriş ve çıkış gücü ile ilgili bir korelasyon modeli geliştirildi. TRNSYS kullanılarak gerçekleştirilen simülasyonlarda, eğik yüzey radyasyon modelinin farklı kombinasyonları, global yayılma korelasyon modeli ve PV modülü sıcaklık denklemi kullanıldı. Her kombinasyonun sonuçlarını karşılaştırmak için istatistiksel hata analizi yapıldı. Ölçülen fotovoltaik sistem verimliliği, inverter performans oranı vb. parametreler beklenen sonuçlarla karşılaştırıldı. Yazılım aracılığıyla elde edilen performans parametrelerine ve gerçek verilere bakıldığında doğruluk oranının yaz aylarında diğer aylara göre daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

(Suri et al., 2007) tarafından yapılan çalışmada, güneş enerjisi sektöründe yaygın olarak kullanılan programlardan biri olan PVGIS tarafından veri tabanı olarak

kullanılan HelioClim-1 adı verilen veri tabanında, Karadeniz ve Akdeniz bölgelerine yönelik 18 yıllık verileri alarak değişkenlikleri incelemişlerdir. Santral enerji üretimini etkileyen en önemli unsurlardan biri olan radyasyon değerlerinin az farklılık göstererek %4-%6 arasında bir standart sapmanın olduğunu tespit etmişlerdir. Bu çalışma sonucunda simülasyon programları tarafından kullanılan veri tabanlarındaki verilerde meydana gelen sapmalar sonuçları etkileyebileceğini ortaya koymuştur.

(Becker et al., 2008) tarafından yapılan çalışmada, santral tasarlanmadan önce fizibilite çalışmalarında en fazla kullanılan PVSyst ve PVsol simülasyon programlarının simülasyon değerleri ve gerçek değerler arasındaki farkları incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada, 1 kWp büyüklüğünde üç sistemin ölçülen değerleri ile 1016 kWp güce sahip Münih Ticaret Merkezinde bulunan santrallerin ölçülen değerlerini, Pvsol ve Pvsyst yazılımları kullanılarak karşılaştırılmıştır. Simülasyon çalışmaları meteonorm veri tabanını kullanarak gerçekleştirilmiştir. Simülasyon programları ve gerçek veriler kıyaslandığında toplam yıllık sapma oranı % +5,2 olarak bulunmuştur.

(Chow, Chan, Fong, Lin, & Ji, 2008) tarafından yapılan çalışmada, fotovoltaik sistemler için bir simülasyon modeli geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri simülasyon model denklemlerin doğruluğunu, gerçek veriler ile kıyaslamışlardır. Geliştirdikleri model ile fotovoltaik sistemin elektriksel verimliliği %13 hata payı ile tahmin edebildiklerini gözlemlemişlerdir.

(Hasimah, Khalid, & Mohammad, 2009) tarafından yapılan çalışmada, şebekeye bağlı bir fotovoltaik santral için monokristalin, polikristalin, amorf silikon ve kadmiyum türünde dört panel teknolojisi için Pvsyst ve Retscreen simülasyon yazılımları ile çalışmalar yapılarak programlarının doğruluğunu tespit etmeye çalışmışlardır. Çalışmalar sonucunda simülasyon programları ile gerçek veriler arasında %13,6 farkla monokristalin modüllerde ortaya çıkmıştır. Diğer panel teknolojilerinde ise bu hata farkı polikristalin modüllerde %15.2, kadmiyum teknolojisine sahip modüllerde %60, amorf silikon modüllerde ise %18.9 olarak bulunmuştur.

(Ransome, 2009) tarafından yapılan çalışmada, fotovoltaik santral tasarımında kullanılan simülasyon yazılımlarının kullanmış olduğu meteorolojik veriler ile santral sonrası elde edilen gerçek veriler arasında farklılık olduğunu göstermeye çalışmışlardır. Yapmış olduğu deneysel çalışmalarda monokristal ve ince film teknolojileri ile üretilmiş yedi farklı panel kullanılmış olup ve gerçek veriler üç farklı simülasyon programından elde edilen veriler ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda simülasyon yazılımlarında bulunan kWh/kWp spesifik üretim değerinin Avrupa

genelinde %5 oranında hatalı olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca saatlik hava tahminlerinin alındığı yöntemlerde simülasyon programlarının saatlik hava koşullarını ortalama değer ile hesapladığını, gerçekte ortalama değer in altında veya üstünde yer alan sıcaklıkların olabildiğini gözlemlemişlerdir.

(Siraki & Pillay, 2010) tarafından yapılan çalışmada, Montral kent merkezinde bulunan bir binanın çatısında kurulacak 37 kWp gücü sahip bir fotovoltaik sistemi Pvsyst v5.05, Ecotect 2010 ve HOMER programlarını kullanarak simülasyonu yaparak elde edilen sonuçları kıyaslamışlardır. Ecotect programında bulunan radyasyon modellerinin Pvsyst programından farklı olmasından dolayı iki programın radyasyon değeri arasında %5,7'lik bir fark olduğunu tespit etmişlerdir. Ecotect programı ile yapılan çalışmalarda yer alan radyasyon değerinin fazla olmasına bağlı olarak yıllık elektrik üretimi tahmininde, Ecotect programının Pvsyst'e göre %17,3 daha fazla üretim yapacağı görülmüştür. Aynı simülasyon çalışmaları Homer programı yapıldığında, yıllık üretilen elektrik miktarı değerinin Ecotect programı ile elde edilen sonuca daha yakın hesapladığı tespit edilmiştir.

(Stein et al., 2010) tarafından yapılan çalışmada, 1 kW gücündeki deney seti ile 14 aylık ölçüm değerlerini, SAM simülasyon programı aracılığıyla tahmin modellemeleri için kullanılan "Sandia Dizi Performans Modeli" ve "Beş Parametrelili Model" adı verilen iki model ile simüle etmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, Beş Parametrelili Model ile gerçek değer arasında %3,3 lük fark ortaya çıkarken, Sandia Dizi Performans modelinde bu fark %5,6 oranında olduğu tespit edilmiştir.

(Çubukçu, 2011) tarafından yapılan çalışmada, dört farklı yerde yer alan (Gebze, İzmir, Gökçeada ve Kızılada) dört farklı güneş enerji santralinin gerçekleşen enerji üretim değerlerini, PVGIS adı verilen simülasyon yazılımı ile elde edilen sonuçları kıyaslamıştır. Kıyaslamalar sonucunda PVGIS programı ile elde edilen simülasyon sonuçlarından, radyasyon verilerinin gerçek verilere yakın olduğu gözlemlenirken ortam sıcaklığı verilerinde ise gerçek verilerle arasında farklılık olduğu gözlemlenmiştir.

(Kanters, 2011) tarafından yapılan çalışmada, Uluslararası Enerji Ajansı'nın 41inci eylemi çerçevesinde, güneş enerjisi santrali tasarım yapan mühendislerin simülasyon programlarını ne ölçüde kullandıklarını araştırmaya çalışmıştır. Söz konusu çalışmada, mühendislerin simülasyon programlarını yeterince kullanmadıkları tespit edilerek bu durumun nedenleri ortaya çıkarıldı. Katılımcılar, simülasyon programların karmaşık olması, programların lisans maliyetlerinin fazla olması gibi nedenlerden

dolayı kullanmadıklarını belirtmiştir. Katılımcıların çoğu, çalışmalarını gerçekleştirirken Pvsyst, Retscreen, Pvsol, Ecotech yerinde AutoCAD, SketchUp, 3d Max gibi programları daha fazla tercih ettikleri görülmüştür.

(Quesada, Sánchez, Cañada, Royo, & Payá, 2011) tarafından yapılan çalışmada, 7.2 kW güce sahip Valencia Politeknik Üniversitesinde bulunan şebeke bağlantılı bir fotovoltaiik sisteme ait gerçekleşen iki yıllık ölçüm değerleri ile TRNSYS programıyla yapılan simülasyon sonucu ile kıyaslamışlardır. Çalışmada modüllerin üreticiler tarafından verilen datasheet verileri ile santral sahasında ölçülen elektriksel değerleri arasında farklılık olduğunu tespit etmişlerdir. Simülasyon çalışmalarında kullanılacak olan meteorolojik veri tabanları arasında simülasyon sonuçlarında %11 oranında, sıcaklık değerlerinin ise %1 oranında farklılık olabileceğini tespit etmişlerdir.

(González-Peña et al., 2012) tarafından yapılan çalışmada, İspanyanın Palencia şehrinde bulunan üç farklı yerde olan, 33.88 kWp güce sahip çatı, 101.01 kWp ve 14,28 kWp güce sahip arazi tipinde toplam üç farklı şebeke bağlantılı santrallerin 2008-2010 yılları arasındaki performans değerleri ile PVGIS, PVSyst, RetScreen ve SAM simülasyon programları ile yapılan simülasyon sonuçlarını karşılaştırdılar. Çalışmalarında iki farklı karşılaştırma yapıldı. İlk karşılaştırmada, üç farklı santralde PVGIS programı ile simüle edilerek elde edilen değerler gerçek değerler ile kıyaslanmıştır. Bu kıyaslamada, PVGIS yazılımı ile elde edilen değer ile gerçek değer arasında fark en az 101,01 kWp gücündeki fotovoltaiik sistemde olurken, en fazla fark ise 14,28 kWp gücündeki sistem için bulunmuştur. İkinci karşılaştırmada, tüm simülasyon programları tarafından yapılan tahmin değerleri her PV sistem için gerçek ölçülen değerler ile karşılaştırıldı. Çalışma sonucunda gerçek değerler ile simülasyon sonuçları arasında 38,88 kWp gücündeki çatı üzeri sistem için PVSyst %20, diğer yazılımlar %15 hata ile, 101,01 kWp gücündeki ikinci sistem için SAM %5, RetScreen ise %6 hata ile PVGIS %12, PVSyst %20, 14,28 kWp gücündeki sistem içinse RetScreen %6 , SAM %14, PVGIS %14, PVSyst %18 hata olduğu tespit edilmiştir.

(Huld, Müller, & Gambardella, 2012) tarafından yapılan çalışmada, Avrupa Birliği tarafından geliştirilen internet tabanlı veri tabanı Coğrafik Fotovoltaiik Bilgi Sistemi'nin performans tahmini için kullandığı mevcut veri tabanı ile yeni versiyonuyla kullanmaya başladığı Uydu İklim İzleme ve Uygulama Tesisi (CM-SAF) veri tabanının tahmin değerlerini karşılaştırdılar. Avrupa'da 23 farklı bölgede yapılan karşılaştırmalarda PVGIS3 olarak adlandırılan ve yeni veri tabanını kullanan sürümün global radyasyon değerlerini tahmin etmede daha başarılı olduğu tespit edilmiştir.

(E. Keskin, 2012) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye' nin farklı bölgelerinden seçilen yedi il için Şebekeden Bağımsız Enerji Depolamalı Fotovoltaik sistem tasarımı farklı teknolojilerde seçilen FV modüllerle birlikte modellemeleri gerçekleştirilmiştir. FV sistem modellemelerinde Dünya'da yaygın olarak kullanılan PVSYST programı tercih edilmiştir. Programın şebekeden bağımsız FV sistemlerin modellemesinde kullanımı detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Yedi il için üç farklı FV teknoloji ile gerçekleştirilen sistemin tasarım ve modelleme aşamaları anlatılarak modellemelerin sonuçları irdelenmiştir. Gerçekleştirilen modellemelerde FV sistemin tasarım aşamasının karmaşık olduğu, çok fazla parametre içerdiği ve tasarımı gerçekleştirecek kişilerin bu konuda yeterli bilgi ve donanıma sahip olması gerektiği görülmüştür. Ayrıca modellenen sistemlerde, seçilen bölgenin enleminin, ikliminin ve meteorolojik verilerin sistem sonucuna etkisinin büyük olduğu, sistemde seçilecek modül teknolojilerinin bölgenin sıcaklık değerlerine, maliyetine, verim değerlerine ve kayıplarına bağlı olduğu sonucu ortaya konmuştur

(Oya Kılıcı, 2020) tarafından yapılan çalışmada, Kayseri ilinde; sabit sistem ile tek yüzeyli panel, mevsimsel olarak açısı değişebilen sistem ile tek yüzeyli panel, tek eksenli güneş takip sistemi ile tek yüzeyli panel, sabit sistem ile çift yüzeyli panel ve tek eksenli hareketli sistem ile çift yüzeyli panel olmak üzere 5 farklı fotovoltaik sisteminin tasarımları ve üretim analizleri gerçekleştirilmiştir. Her bir sistemin kurulu gücü eşit olup, 1,189.76 kWp'tir. Aynı zamanda Kayseri ilinde bulunan 500 kW kurulu gücündeki güneş enerji santralinin 6 yıllık üretim değerleri incelenmiştir. IEC 61724 standardında belirtilen performans değerleri baz alınarak PVsyst programında santralin üretim analizleri gerçekleştirilmiştir. Santralin coğrafi konumu PVsyst programında seçilerek; bölgenin meteorolojik verileri, programın sunduğu Metenorm veri tabanından alınmıştır. PVsyst sonuçları ile santralin gerçek üretim değerleri kıyaslanmıştır. PVsyst tarafından ilk yıl için ön görülen enerji üretimi 919 MWh iken tesisin gerçek üretim değeri 942.034 MWh dir. Gerçekteki üretim değeri %2 oranında fazla olduğu görülmüştür.

(Colak & Cubukcu, 2013) tarafından yapılan çalışmada, Gökçeada'da 2 kWp kurulu gücünde şebeke bağlantısı olmayan bir fotovoltaik sistemine ait 8 aylık gerçek verilerini PVGIS programında yapılan simülasyon ile kıyaslamışlardır. Çalışmalar sonucunda sistemin 8 aylık süreçte elektrik enerji 2098,5 kWh iken PVGIS programı ile yapılan simülasyon sonucu elde edilen değer 2520,7 kWh'tır. gerçek değerlerinde

sistem verimi %4, tahmin değerleri ise %5 olarak bulundu. PVGIS değerleri ile gerçek değerler arasında %20 olduğunu tespit etmişlerdir.

(Freeman, Whitmore, Kaffine, Blair, & Dobos, 2013) tarafından yapılan çalışmada, Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı'nın (NREL) fotovoltaik enerji alanı için hazırladığı SAM (System Advisor Model) modeli ve bu modeli kullanan simülasyon programlarından biri olan RetScreen'in doğruluğunu tespit etmeye çalışmışlardır. Yapılan çalışmada 75-750 kW güce sahip 6 farklı fotovoltaik santrale ait ölçüm verilerinin, Retscreen programı aracılığıyla elde edilen sonuç arasında %3 farklılık olduğunu ortaya koymuşlardır.

(Petrović, Šimić, & Vražić, 2013) tarafından yapılan çalışmada, Hırvatistan'ın Varazdin bölgesinde bulunan 20,64 kWp kurulu gücündeki şebeke bağlantılı bir fotovoltaik sistemin, alınan bir yıllık üretim, sıcaklık vb. performans değerleri santral tasarımı kullanılan Pvsyst, Homer ve PVGIS simülasyon programları ile elde edilen simülasyon sonuçları ile kıyaslamışlardır. İncelenen santralin bir yılda toplam 26.500 kWh enerji ürettiği tespit edilmiştir. Bu santral için Homer ile yapılan simülasyon programında 28.500 kWh/yıl, PVGIS ile yapılan simülasyon 17.300 kWh/yıl, PVSyst ile yapılan simülasyon ise 26.600 kWh/yıl enerji üretim yapılacağı bulunmuştur. Gerçekleşen üretim değeri ile simülasyon sonuçları incelendiğinde gerçek değere en yakın değer Pvsyst yazılımı ile elde edilmiştir. Pvsyst yazılımında hatayı 0,3, Homer yazılımında hata %7 iken PVGIS yazılımında %34,7 hata payı tespit edilmiştir.

(Sharma & Chandel, 2013) tarafından yapılan çalışmada, Hindistan'ın Khathar-Kalan bölgesinde bulunan 190 kWp kurulu güce sahip şebeke bağlı bir fotovoltaik sisteminin bir yıllık gerçek ölçüm verileri, santral tasarımı ve fizibilite amaçlı kullanılan Pvsyst yazılımı ile yapmış oldukları simülasyon sonuçlarını kıyaslamışlardır. Santralden alınan ölçümlerde yıllık enerji üretimini 812,76 kWh/kWp iken Pvsyst yazılımı ile yapılan simülasyon çalışmalarında bu değeri 823 kWh/kWp olarak bulmuşlardır. Çalışma sonucunda Pvsyst programı sonucu ile gerçek değer arasında %1,4 fark olduğu tespit edilmiştir.

(Axaopoulos, Fylladitakis, Gkarakis, & Engineering, 2014) tarafından yapılan çalışmada, 19,8 kWp güce sahip bir fotovoltaik sistemin gerçek elektrik enerjisi üretim değerlerini fotovoltaik sistem simülasyon programları olan Pvsyst, Pvsol, TRNSYS, Archelios, Polysun, ve PVGIS ile yaptıkları simülasyon sonuçları karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda, simülasyon programlarının ışıınım değerlerini doğru tahmin etme

oranının yüksek olduğunu, santral tarafından üretilen elektrik enerjisini tahmin etmede çok başarılı olmadığını tespit etmişlerdir.

(Olukan, 2014) tarafından yapılan çalışmada, güneş enerjisi santrali simülasyon programlarında kullanılan sıcaklığın enerji üretimine etkisine ilişkin modeller ile kendi geliştirdikleri sıcaklık etkisi modelini gerçek verilerle karşılaştırdı. Söz konusu çalışmada Ross sıcaklık modeli, Homers PV yazılımı tarafından kullanılan sıcaklık modeli, ticari modelleme PV yazılım paketi PVSYST tarafından kullanılan Faiman PV modülü sıcaklık modeli ve çalışmasında önerdiği üç boyutlu sıcaklık modeli karşılaştırıldı. Çalışmada önerilen sıcaklık modelinin diğer yazılımlarda kullanılan modellerden daha gerçekçi olduğu tespit edildi.

(Suresh & Thomas, 2014) tarafından yapılan çalışmada, santral ve modül verimliliğini etkileyen faktörlerden olan gölgelenmenin ve bulutlu havanın güneş panelleri üzerindeki etkisini; I-V karakteristiğinin gerçek verileri alınarak, bu koşullar altında değişimini Pvsyst simülasyon programı ile simüle edilerek kıyaslama yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda simülasyon programlarının da değişken gölgelenme veya hava koşullarında belirsizlikler içerdiğini tespit etmişlerdir.

(Tapia, 2014) tarafından yapılan çalışmada, Pvsyst modelleme sürecini anlamak ve doğruluğunu tespit etmeye çalışmışlardır. Çalışmalar kapsamında İspanya, İtalya ve Şili'de bulunan altı şebeke bağlantılı fotovoltaik sisteminin gerçek değerleri, Pvsyst programı ile elde edilen sonuçlar ile kıyaslanmıştır. Seçilen fotovoltaik santrallerin beş tanesi sabit sistem iken biri tracker sistemi olmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda gerçek üretim verileri ile Pvsyst simülasyon verileri arasında %1 fark olduğu tespit edilmiştir.

(Cura, 2015) tarafından yapılan çalışmada, Kocaeli'de bulunan 110 kW güce sahip çatı tipi fotovoltaik sistem ile Yunanistan'ın Kastoria şehrinde bulunan 500 kW gücünde arazi tipi iki fotovoltaik güneş santralinin teknik ve ekonomik incelemesini yapmıştır. Çalışmada, fotovoltaik sistemlerin gerçek üretim değerleri, iki farklı meteorolojik veri tabanı (PVGIS-CMSAF, NASA-SSE) kullanılarak Pvsyst programında simüle edilerek sonuçlar karşılaştırıldı. Çalışma sonucunda meteorolojik veri tabanına göre simülasyondaki elektrik üretim değerinin önemli ölçüde değiştiğini, veri tabanının ölçüm istasyonu fotovoltaik sistemin kurulu olduğu bölgeden çok uzakta ise veya meteorolojik verilerin alındığı veri tabanı çok eskiyse, simülasyon sonucunda elde edilen veriler ile gerçek veriler arasındaki farklılığın arttığı tespit edilmiştir.

(Gültuna, 2015) tarafından yapılan çalışmada, Bursa Bölgesinde bulunan bir fotovoltaik santrali için teknik, ekonomik ve çevresel açıdan matematiksel bir model oluşturarak bir simülasyon programı geliştirmiştir. Geliştirdiği simülasyon programıyla eğik düzleme gelen ışınlam, panel verimi, santralin yıllık elektrik üretim değeri, yıllık kazancı, engellenen karbondioksit salınım miktarı ve amortisman süresini hesaplamıştır. Geliştirdiği simülasyon programında elde edilen sonuçları, ticari bir yazılım olan Retscreen programı ile elde ettiği sonuçlarını kıyaslayarak çalışmalarını doğrulamıştır.

(Keskinel, 2015) tarafından yapılan çalışmada, Ankara'nın Kazan ilçesinde özel bir şirketin çatısında bulunan 495,88 kWp kurulu gücündeki GES'e ait gerçek ölçüm değerleri ile Pvsyst simülasyon yazılımı ile yapılan simülasyon sonucu elde edilen veriler ile karşılaştırmıştır. Çalışmada Aralık 2013 tarihinden Mart 2015 tarihleri arasında gerçekleşen üretim değeri, simülasyon sonucu ile karşılaştırılmıştır. Çalışmalar sonucunda, ölçülen radyasyon değerinin, Pvsyst'de yer alan radyasyon değerinden %9,72 oranında daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

(Palmero-Marrero, Matos, & Oliveira, 2015) tarafından yapılan çalışmada, Portekiz'in kuzeyinde yer alan ve 124.2 kWp kurulu gücü sahip şebeke bağlantılı bir fotovoltaik santralin gerçekleşen üç yıllık üretim değerlerini, Pvsyst ve TRNSYS yazılımları ile yaptıkları simülasyon ile kıyaslamışlardır. İncelenen santralde 60 Wp gücünde paneller ve 24 adet inverter yer almaktadır. Doğru bir çalışma yapılabilmesi için Pvsyst yazılımı ve TRNSYS yazılımında, aynı meteorolojik veriler kullanılarak simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Çalışma sonucunda hem Pvsyst hem de TRNSYS'nin bir fotovoltaik sistemin yıllık elektrik üretimini tahmin etmek için iyi yazılımlar olduğu ve simülasyon sonuçların gerçek değerlerle ortalama %2 civarında değiştiği görülmüştür.

(Roberts, Cassula, Junior, & Prado, 2015) tarafından yapılan çalışmada, farklı PV performans modellerine genel bir bakış sunan ve performanslarını deneysel verilerle karşılaştırmayı amaçlayan bir çalışma yaptılar. Karşılaştırma yapılırken fotovoltaik sistem simülasyon programlarından HOMER ve RETScreen kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalar gerçekleştirilirken 2,2 kWp güce sahip Almanya'da bulunan fotovoltaik sistemin gerçek değerleri, simülasyon sonucu elde edilen veriler ile karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, gerçekleşen elektrik üretim değerinin simülasyon ile elde edilen sonuçlara göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

(Yılmaz, Özcalık, & Dinçer, 2015) tarafından yapılan çalışmada, Muğla ve Münih de yer alan iki farklı santralin Mayıs 2014 ile Nisan 2015 tarihleri arasında

gerçek ölçüm değerlerini Pvsyst programı ile yaptıkları simülasyon ile kıyaslamışlardır. Çalışmalar sonucunda gerçekte ölçülen değer ile simülasyon sonucu elde edilen değer arasında kabul edilebilir bir hata payı ile simülasyon gerçekleştiğini tespit etmişlerdir. (Abbasoğlu & Babatunde, 2015) tarafından yapılan çalışmada, Kuzey Kıbrıs da 5,76 kW kurulu güce sahip bir fotovoltaik santralin gerçek ölçüm değerleri ve üç büyük simülasyon programı ile (pvPlanner, PVSyst ve Homer) elde edilen sonuçları karşılaştırmışlardır. Fotovoltaik sistemin gerçekleşen toplam yıllık gerçek enerji üretimi 12.216 kWh iken Pvsyst programında bu değer %9,3, Pvplanner programı %5,3 ve Homer programı %7,5 daha az hesaplanmıştır. Ayrıca sistemin gerçek performans oranı %80.8 olarak hesaplanırken, simülasyon programlarının bu değeri %78.6 olarak hesapladığı görülmüştür.

(Boughamrane, Boulaid, Tihane, Sdaq, & Bouabid, 2016) tarafından yapılan çalışmada, Güney Fas'ta Assa'da (28.63° N - 9.47°W) bulunan 806,52 kWp'lik kurulu güce sahip şebekeye bağlı fotovoltaik sistemin bir yıllık gerçek verileri ile ticari bir yazılım olan Pvsyst ile elde edilen simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Fotovoltaik sistemin 31 Aralık 2015 tarihine kadar 1331.29 MWh enerji ürettiği görülmüştür. Sisteme ait ölçülen verim, performans oranı ve toplam enerji kayıpları, 4,57 kWh/kWp /gün, %70,14 ve 2,053 kWh/kWp/gün dir. Ölçülen parameter simülasyon sonuçlarında sırasıyla, 1.384,01 MWh, 4,68 kWh/kWp /gün, %77,9 ve 1,331 kWh/kWp/gün olarak bulunmuştur. Çalışma sonucunda Pvsyst yazılımı ile elde edilen sonuçların, ölçülen gerçek değerlere yakın olduğu tespit edilmiştir.

(Haydaroglu & Gümüş, 2016) tarafından yapılan çalışmada, Dicle Üniversitesi bünyesinde kurulmuş olan 250 kWp kurulu güce sahip bir güneş enerji santralinin simülasyonunu Pvsyst V6.39 simülasyon programı ile yaparak, IEC 61724 standardında belirtilen performans kriterlerine uygun olarak performans analiz yapmışlardır. Yapılan çalışmada, santralin Aralık 2015 ile Nisan 2016 dönemi arasındaki üretim değerleri, elde edilen simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre santralin yılda 380.6 MWh enerji üreteceği beklenmektedir. Gerçek üretim değerleri ve simülasyon sonuçları ay bazında kıyaslandığında Aralık ve Ocak aylarında sonuçlar arasında farklılığın daha fazla olduğu görülmüştür. Ocak ayı dışında diğer aylarda gerçekleşen üretim değerlerinin, simülasyon sonucu elde edilen değerlerden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

(Kanyarusoke, Gryzagoridis, & Oliver, 2016) tarafından yapılan çalışmada, TRNSYS simülasyon programının alt tabanında kullandığı modellemenin doğruluğunu

araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada, Güney Afrika'nın Cape Town kentinde, TRNSYS tarafından listelenen hava istasyonuna 5 km uzaklığındaki bir test sahasında, 34 derecelik eğimde 90 Wp'lik bir panelden elde edilen verilerle, yazılımın kullandığı modelden elde edilen veriler karşılaştırıldı. Çalışmada yazılımın veri tabanında listelenen hava istasyonlarından birinin yakınında bulunan belirli bir panel için gerçek değerler ile program modellemesi arasındaki farklılık derecesi tespit edilmeye çalışılmıştır. Panele ait elektrik enerjisi verimi %90 iken, TRNSYS programı ile yapılan modellemede bu oran %80 olarak bulunmuştur. Çalışma sonucunda, TRNSYS modellemesinin, yazılımda listelenen istasyonlarından birinin yakınında kurulu olan fotovoltaik panel/sistemin enerji verimlerini güvenilir bir şekilde öngördüğü sonucuna varıldı.

(Knutsson, 2016) tarafından yapılan çalışmada, Nepal'de bir okulun elektrik enerjisini enerji depolamalı bir fotovoltaik santral ile karşılanıp karşılanamayacağını incelemiştir. Santral tasarımı hem Matlab Simulink hem de Pvsyst programı ile simüle edilerek her iki yazılım ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

(Mahachi, 2016) tarafından yapılan çalışmada, Güney Afrika'daki 75 MWp kurulu gücü sahip bir fotovoltaik santral için ölçülen ve Pvsyst yazılımı ile simüle edilen enerji veriminde mevsimsel farklılıkların nedenini araştırmıştır. Yaptığı çalışmada, 75 MWp kurulu güce sahip bir santralin, diğer aylara göre kış aylarında simülasyon sonucu elde edilen değerlerden önemli ölçüde daha iyi performans sağladığını gözlemledi. Pvsyst programındaki kayıp modelinin aşırı tahmin içerdiği ve bu modelin gerçek kayıp değerleri ile örtüşmediğini tespit etti. Pvsyst yazılımı ile yapılan simülasyon sonucunda gerçek üretim değerinden %5-%6,4 oranında daha az enerji üreteceği tespit edilmiştir.

(Okumuş, 2016) tarafından yapılan çalışmada, fotovoltaik sistemler için, maksimum güç takibi sistemi, batarya sistemi ve fotovoltaik panelden oluşan MATLAB/Simulink ortamında modelleme yapmıştır. Fotovoltaik panel ve yükten oluşan kurulu deney düzeneğinden alınan gerçek zamanlı veriler ile Matlab sonuçlarını kıyaslamıştır.

(Haydaroğlu, 2017) tarafından yapılan çalışmada, Dicle Üniversitesinde kurulu olan 250 kWp kurulu güce sahip GES'in simülasyonunu Pvsyst simülasyon programı ile IEC 61724 standardında belirtilen performans kriterlerine uygun olarak yaparak gerçek ölçüm değerleri ile karşılaştırmıştır. Çalışmalar santralin bir yıllık gerçekleşen ölçüm değerleri yapılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda santralin bir yıllık gerçekleşen

ürettiği enerji 385,86 MWh iken Pvsyst yazılımı ile elde edilen sonuçlarda bu değer 380,6 MWh olarak görülmüştür.

(O. Ceylan, 2017) tarafından yapılan çalışmada, Isparta’da bulunan 1 MW kurulu güce sahip bir fotovoltaik santralin gerçekleşen üretim verileri, ticari yazılımlar olan PVSOL, Helioscope, Polysun ve PVGIS yazılım programları ile yapılan simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile kıyaslamıştır. Çalışmalarda yer alan santralin yıllık 1.702,29 MWh enerji ürettiği tespit edilmiştir. Yapılan simülasyon sonuçları incelendiğinde gerçek verilere en yakın simülasyon sonucu 1.723,23 MWh ile Helioscope programı tarafından verildiği tespit edilmiştir. Gerçek verilere en yakın ikinci simülasyon sonucu ise 1. 724,30 MWh ile PVGIS programı ile bulunmuştur. Gerçek veriler ile simülasyon verileri arasında en büyük %7,5 ile PVSOL programında olduğu tespit edilmiştir.

(Shahrestani et al., 2017) tarafından yapılan çalışmada, doğal olarak havalandırılan bir fotovoltaik cephe sisteminin enerji performansını değerlendirdiler. Çalışmalarında, havalandırmalı bir fotovoltaik cephe sistemi uzun süre incelenerek sistemin gerçek enerji performansı değerlendirilmiştir. TRNSYS simülasyon yazılımı ile sistemin termal ve enerji performansını değerlendirmek için geliştirilen bir model, deneyden toplanan veriler kullanılarak bir dizi istatistiksel analiz ile doğrulandı. Doğrulan model, daha sonra İzmir’de Yaşar Üniversitesi kampüsünde bulunan 7.4 kWp prototip havalandırmalı fotovoltaik cephe sisteminin enerji ve termal performansını değerlendirmek için kullanıldı. Çalışma sonucunda, model ile gerçekleştirilen tahmin değerlerin gerçek veriler ile farkının %5,6 olduğu tespit edildi.

(Şençicek, 2017) tarafından yapılan çalışmada, Konya’da bulunan bir fotovoltaik sistemden aldığı gerçek verileri, Pvsyst yazılımı ile yaptığı simülasyon verileri ile karşılaştırmıştır. Karşılaştırma sonucunda simülasyon verilerini, gerçek verilere dönüştürme katsayısı bulmuştur. Bu katsayıyı daha sonra Mut ilçesinde bulunan yüzer fotovoltaik sistemden alınan veriler ile kıyaslamıştır. Tüm bu karşılaştırmalar sonucunda İçel’de bulunan yüzer fotovoltaik sistemin yıllık enerji üretim miktarının, benzer ışıınım ve ortam sıcaklığı koşullarındaki arazi tipi fotovoltaik sistemin yıllık enerji üretim miktarların yaklaşık olarak eşit olduğunu tespit etmiştir.

(Albudak, 2018) tarafından yapılan çalışmada, Malatya’da bulunan 1 MW kurulu güce sahip bir fotovoltaik sistemin Mart, Nisan ve Mayıs ayında gerçekleşen üretim verileri ile simülasyon verileri kıyaslanmıştır. Mart, Nisan ve Mayıs aylarındaki gerçek verileriyle karşılaştırmıştır. Karşılaştırma sonucunda Mart ayında gerçek

verilerin simülasyon sonucu elde edilen verilerden %4,4 daha az olduğu, Nisan ayında %10 daha fazla olduğu, Mayıs ayında ise %5,8 daha az olduğunu tespit edilmiştir.

(Sağlam, 2018) tarafından yapılan çalışmada, Konya, Adana, Osmaniye, Niğde ve Mersin illerinde bulunan altı farklı fotovoltaik sistemin bir yıllık gerçek üretim değerleri ile Pvsyst yazılım programı ile elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Pvsyst ile yapılan simülasyon çalışmalarında meteorolojik veri tabanı olarak PVGIS-Classic, CMSAF, Meteonorm 7.1, NASA, GEPA ve MGM kullanılmıştır. Farklı veri tabanları ile gerçekleştirilen simülasyon çalışmalarında gerçek verilere en yakın sonuçlara GEPA ve MGM verileri ile ulaşılmıştır. Çalışmalar sonucunda Pvsyst programı ile yapılan simülasyon sonuçları incelendiğinde çıkan sonuçlar gerçek verilere göre Konya ili için %0,4 daha az olduğu, Osmaniye için %1,4 daha az olduğu, Niğde ili için %1 daha fazla olduğu, Adana için %6 daha fazla olduğu ve Mersin için %12,5 daha fazla olduğu tespit etmiştir.

(Şimsek, 2018) tarafından yapılan çalışmada, Torbalıda bulunan 593 kWp gücündeki fotovoltaik sistem ile Gölbaşıda bulunan 200 kWp gücündeki fotovoltaik sistemin yıllık gerçekleşen enerji üretim değerleri ile Pvsyst programı aracılığıyla yapılan simülasyon sonucu elde edilen veriler karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda gerçekleşen sistem performans oranı ile simülasyon sonucu elde edilen sistem performans oranı arasında %1 fark olduğu tespit edilmiştir.

(Tekkale, 2018) tarafından yapılan çalışmada, Çankırı, Uşak ve Kahramanmaraş illerinde bulunan üç farklı fotovoltaik sistemlerin gerçekleşen üretim değerleri, Pvsyst programı ile yapılan simülasyon sonucu ile karşılaştırmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, gerçek veriler ile P50 belirsizlik ölçümü verileri arasında %0,31, P75 belirsizlik ölçümü arasında %3,73 ve P90 belirsizlik ölçümü arasında %7,04 fark bulunmuştur.

(A. Keskin, 2019) tarafından yapılan çalışmada, Dünya ve Türkiye'de enerji ile birlikte yenilenebilir enerji ve güneş enerjisi sektörünün gelişimi incelenmiştir. Fotovoltaik sistemlerin tasarımında kullanılan fotovoltaik simülasyon yazılımı olan Pvsyst'ten (Photovoltaic Systems) araştırma yapılmıştır. Niğde Güneş Enerjisi Santrali'nin 1 MW çıkış gücüne sahip simülasyonu PVsyst programının V6.78 deneme sürümü kullanılarak yapılmıştır. Santralin 2017 yılında mevcut enerji üretim değerleri ile simülasyonda üretilen değerler karşılaştırılmıştır. Bunlara ilaveten performans ve kayıp parametrelerinden bahsedilerek gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

(Tanış, 2019) tarafından yapılan çalışmada, Elazığ ilinde bulunan ve 1036.8 kWp kurulu gücündeki güneş enerji santralinin Pvsyst programı ile simülasyon çalışmalarını gerçekleştirmiştir. Gerçekleşen enerji üretimi ile simülasyon çalışmaları sonucu elde edilen enerji miktarı arasında %4.52'lik farkla gerçeğe yakın sonuçlar elde etmiştir.



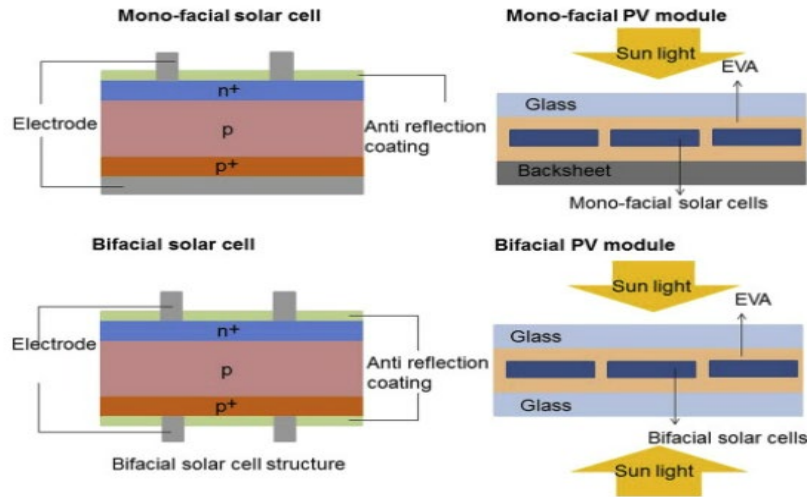
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Güneş Hücresinin Yapısı

Fotovoltaik hücreler Besquerel tarafından ilk kez 1839'da tanımlanan fotovoltaik enerjiye sahiptir. Fotovoltaik (PV) hücreler bir müdahale olmaksızın ısı motoru veya döner ekipmana ihtiyaç duymadan güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren elemanlardır. Güneş ışığı bu maddeler tarafından absorbe edildiği zaman, elektronlar bulundukları atomlardan ayrılarak madde içinde serbest kalırlar ve böylece bir elektrik akımı oluşur. Işğın (fotonların), elektriğe (voltaj) dönüşümüne fotovoltaik efekt adı verilmiştir(Çıtanak, 2014).

Fotovoltaik hücrelerin hareketli bir ekipmanı olmadığından kullanımı kolay ve bakım masrafları az, ömrü ve güç yoğunlukları fazladır. Elektrik üretiminde çevreye herhangi zararlı bir atık veya gaz vermezler ve çalışmaları tamamen sessizdir. (Kalogirou, 2009)

Fotovoltaik hücre Şekil 3.1'de yer aldığı üzere p ve n olmak üzere iki elektrottan meydana gelir. Işğık n-tipi malzeme üzerine düşmektedir. n-tipi malzeme üzerindeki madeni kısım, yüzeyi maksimum yüzey alanları iletkenliği ve minimum yüzey kaplaması sağlayan bir ince iletken örgüsüdür. Metalik arka levha p-tipi malzeme üzerinde temas yüzeyi olarak çalışır. Bu elektrotların biri üzerine güneş düştüğü zaman bir potansiyel fark oluşur. Elektrik bir elektron akımı olduğu için, güneş ışınları çarptığı elektronun potansiyelini ve elektron düzenini değiştirerek elektrik akımına neden olur. Milyonlarca foton pilin içine akarken, enerji kazanıp bir üst seviyeye çıkan elektronlar da, pil içindeki elektrostatik bölgeye ve oradan da pil dışına akarlar. İşte bu oluşan akış elektrik akımıdır.

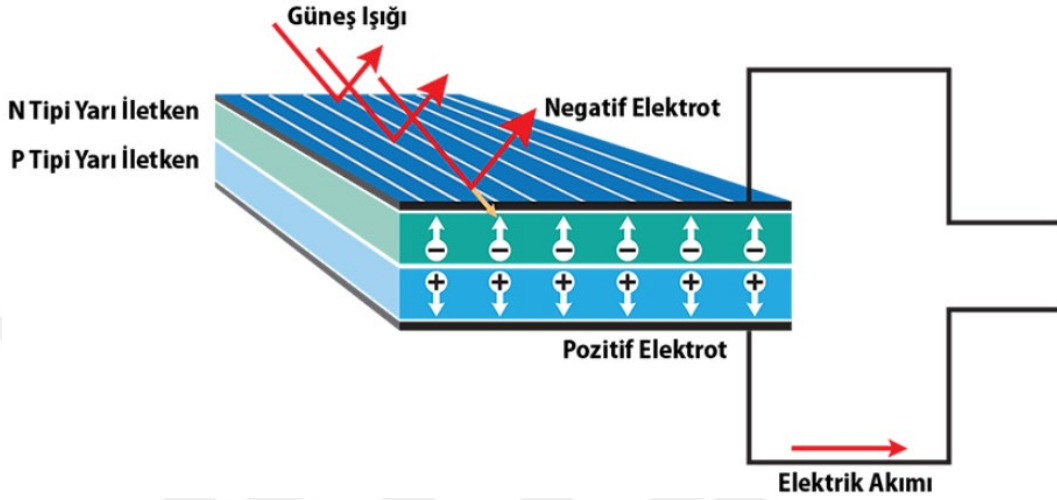


Şekil 3.1. Güneş hücresi iç yapısı (Çıtanak, 2014)

Yansıtıcı olmayan kaplamanın altında, pilin elektrik akımının ortaya çıktığı yapı bulunur. Bu yapı, iki farklı katman halindedir. N-katmanı, fosfor atomları eklenmiş silisyumdan oluşan ve pilin negatif tarafını oluşturan katmandır. P-katmanı ise, bor atomları eklenmiş silisyumdan oluşmuş, pilin pozitif tarafıdır. P ve N katmanları arasında geçiş bölgesi yer alır.

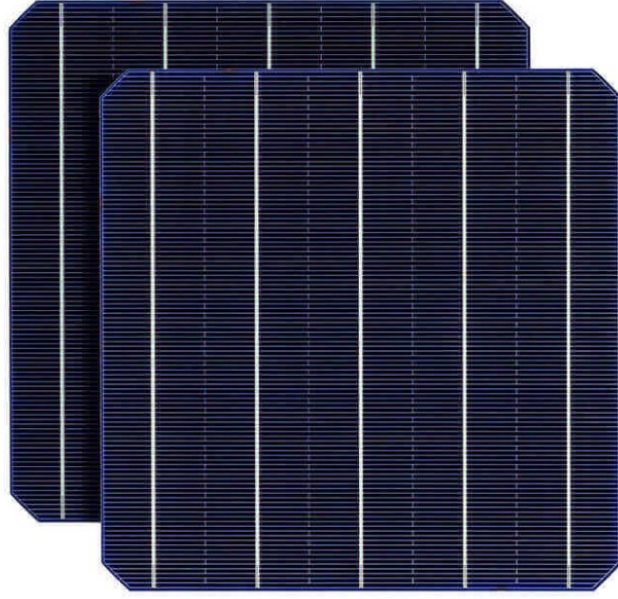
Geçiş bölgesi, bir mono kristal bir yarı iletkende elektronların P tipi malzemeden N tipi malzemeye geçişinin yapıldığı alandır(Karamanav, 2007). Bu alan kristalleşme sırasında oluşturulur. N bölgesinde, termik uyarımla azınlıkta olan boşluk ve çoğunlukta olan elektron yükleri ve (+) iyonize atomlar vardır. P bölgesinde ise, negatif iyonize atom, termik uyarımla bulunabilen azınlık elektron ve çoğunluk elektron boşlukları vardır. İki eleman temasa geçirildiğinde, N bölgesindeki çoğunlukta elektronlar tipi bölgeye hareket ederler. P bölgesindeki elektron boşlukları da N bölgesine hareket ederler. Böylece N tipi bölgedeki atomlar (+), P tipi bölgedeki atomlar (-) olarak iyonlaşmış olur. Bunlar, kristal içinde sabit yük merkezleri oluştururlar. Bu bölgenin her iki yüzünde iyonize olmuş atomlar, kristal içinde, yönü N'den P'ye doğru olan bir elektrik alan meydana getirirler. Bu bölge geçiş bölgesidir ve serbest yükler yoktur. Kavşaktaki bu potansiyel farkı, P'den N'ye geçecek boşluklar ve N'den P'ye geçecek elektronlar için bir potansiyel duvarı teşkil eder. N'den ayrılacak bir elektron, arkasında kendini geri çağıran bir boşluk bırakır ve önündeki P tipi bölgedeki (-) yükler elektronu püskürtür. (Çıtanak, 2014).

Şekil 3.2’de yer aldığı üzere fazla elektron bulunan n-tipi yarı iletken ile fazla boşluk bulunan p-tipi yarı iletken yan yana geldiği zaman tek bir kristal meydana getirmesi ve fazla elektronların boşluklara atlamasıyla doğru akım meydana gelir. (Çıtanak, 2014).



Şekil 3.2. p-n eklemi ve iç akım

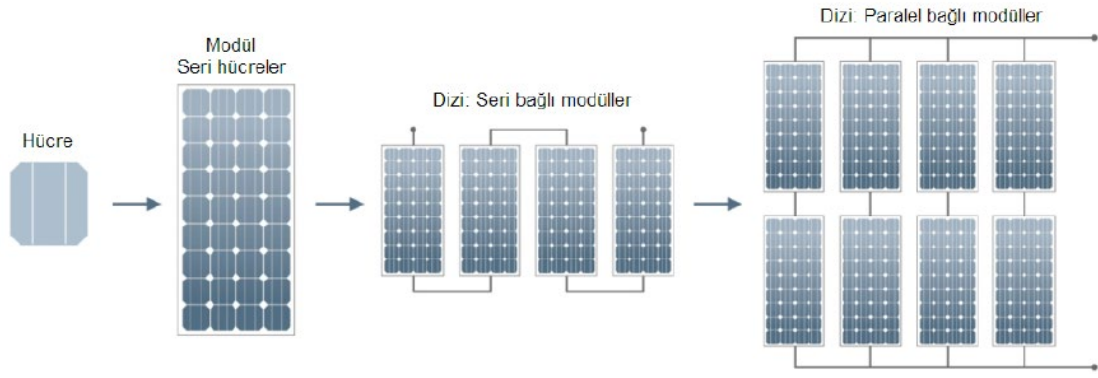
Şekil 3.3’de yer aldığı üzere görünüş olarak tek kristalli silisyum güneş hücresinin rengi koyu mavi olup, ağırlığı 10 gramdan azdır. Pilin üst yüzeyinde, pil tarafından üretilen akımı toplayacak ve malzemesi genellikle bakır olan ön kontaklar vardır. Bunlar negatif kontaklardır. Kontakların altında 150 nm kalınlığında, yansıma özelliği olmayan bir kaplama tabakası vardır. Bu tabaka olmazsa, silisyum, üzerine düşen ısınmının üçte birine yakın kısmını yansıtacaktır. Bu kaplama tabakası, hücre yüzeyinden olan yansımayı önler. Hücrenin ön yüzeyi, normal olarak yansıyan ışığın bir kısmını daha yakalayabilmek amacıyla, piramitler ve konikler şeklinde tasarlanmıştır. (Çıtanak, 2014).



Şekil 3.3. Güneş pilinin yapısı (Karamanav, 2007)

Üretilen hücreler, standart test koşullarında test edildikten sonra, tüketiciye sunulmaktadır. Ortam sıcaklığı $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ortalama ışınım şiddeti 1000 W/m^2 ve Hava-Kütle oranı 1,5 olarak test koşulları belirlenmiştir. Hava-kütle oranı, güneş ışınımının geçirilme oranını gösteren atmosfer kalınlığıdır. Işınım ve ortam sıcaklığına bağlı olarak, hücrenin üreteceği elektrik miktarı da değişmektedir (Çıtanak, 2014).

Fotovoltaik hücrelerden daha fazla elektriksel güç elde edilmek için çok sayıda fotovoltaik hücre birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir. Bu yapıya fotovoltaik modül adı verilir. Tüm düzenek şeffaf bir yapıştırıcı ile yüzeye tutturulan cam tabaka tarafından korunur. Şekil 3.4’de yer aldığı üzere Fotovoltaik modüller kendi aralarında seri, paralel kombinasyonlarıyla bağlanarak dizi adı verilen yapıları oluşturur. Diziler sayesinde Watt mertebesinde birkaç Megawatt'lara kadar sistem tasarımı oluşturulmaktadır.



Şekil 3.4. Güneş pillerinden dizi oluşumu (Karamanav, 2007)

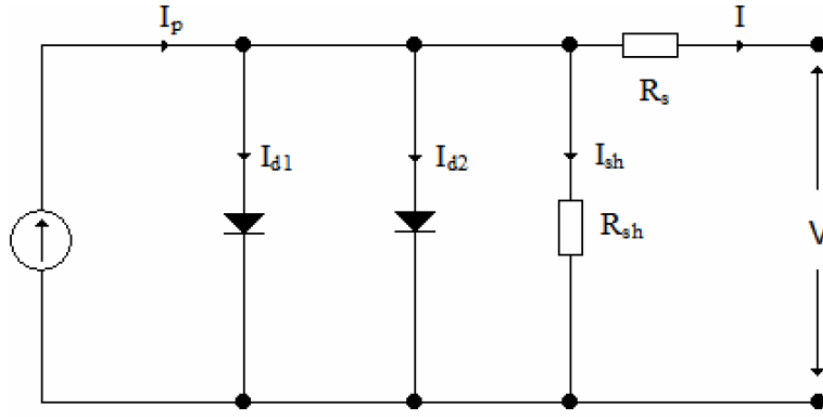
Fotovoltaik hücrenin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir. Güneş enerjisi, fotovoltaik hücrenin yapısına bağlı olarak % 12 ile % 21 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir.

Güneş pilleri ile enerji kazanımı için yapılması gerekenler şunlardır;

- Güneş pillerin elektriksel özellikleri iyi olmalıdır.
- Işığın güneş piline vurduğu açı, 90° 'dan büyük olan açıda vuran foton (ışık) elektrik kazanımı için en verimlisidir.
- Havanın nem oranı, düşük nem oranından büyük olması enerji kazanımı için daha verimlidir.

3.1.1. Fotovoltaik hücre elektriksel karakteristiği

Bir fotovoltaik modül temel olarak fotovoltaik hücreler, busbarlar ve junction box'tan oluşmaktadır. Bir fotovoltaik hücre bir yarı iletken malzeme olan silikondan yapılır. Güneşten gelen ışık hücre üzerine düşmesiyle emilen ışık enerjisi hücrenin elektron yapısına aktarılır ve burada iki farklı kutupta yük taşıyıcısının oluşmasıyla elektriksel potansiyel farkın oluşmasını sağlar. Şekil 3.5'de bir fotovoltaik hücrenin elektriksel modelinin yer almaktadır(Durusu, 2011).



Şekil 3.5. Fotovoltaik hücrenin elektriksel eşdeğer devresi

İdeal bir fotovoltaik hücrenin akım-gerilim karakteristiği denklem (3.1) ile belirlenir.

$$I = I_p - I_s \left[e^{qV/kT_c} - 1 \right] \quad (3.1)$$

Burada;

V: Gerilim düşümünü,

I_s : Doyma akımını,

q: Bir elektron yükünü,

k: Boltzmann sabitini,

T_c : Hücre sıcaklığını,

ifade eder. “ F_n ” ve “ F_p ” elektron ve deliklerin birleşme hızlarına bazlı katsayılar olmak üzere doyma akımı (I_s) denklem (3.2) ile verilir.

$$I_s = q \cdot A \cdot N_c \cdot N_v \left[\frac{D_n \cdot F_p}{L_n \cdot N_A} + \frac{D_p \cdot F_n}{L_p \cdot N_D} \right] e^{-E_s/kT_c} \quad (3.2)$$

Burada;

A: Aktif güneş hücresi alanını

N_c : İletim bandı yoğunluğunu

N_v : Valans bandı yoğunluğunu

D_n : Elektronların yayılma katsayısını
 D_p : Deliklerin yayılma katsayısını
 N_D : n bölgesindeki verici yoğunluğunu
 N_A : p bölgesindeki alıcı yoğunluğunu
 L_n : Elektronlar için yayılma genişliğini
 L_p : Delikler için yayılma genişliğini
 ifade eder.

Geçiş bölgesindeki birleşmeler göz önüne alınırsa, denklem (3.1)'deki yayılma akımına ilaveten birleşme akımı bileşenini de akım denklemine ilave etmek gerekir. Geçiş bölgesindeki elektron ve deliklerin birleşme hızlarının (R_0) sabit varsayımı ile birleşme akımı (I_{rec}); denklem (3.3) ile ifade edilir.

$$I_{rec} = I_{srec} \left[\left(e^{qV/2T_c} \right) - 1 \right] \quad (3.3)$$

Bu durumda güneş hücresinin akım gerilim karakteristiği (3.1) ve (3.3) denklemleri birleştirilerek elde edilir.

$$I = I_p - I_s \left[\left(e^{qV/kT_c} \right) - 1 \right] - I_{srec} \left[\left(e^{qV/2T_c} \right) - 1 \right] \quad (3.4)$$

Yarı iletkenin kütle direnci ile kontakların direncini ifade eden " R_s " seri direnci ve hücrenin uçları çevresindeki kaçak akımları ifade eden " R_{sh} " paralel direnci de hesaba katılırsa güneş hücresinin akım gerilim karakteristiğinin genel ifadesi olarak denklem (3.5) elde edilir.

$$I = I_p - I_s \left[\left(e^{q(V+I_{R_s})/kT_c} \right) - 1 \right] - I_{srec} \left(e^{\frac{q(V+I_{R_s})}{2kT_c}} - 1 \right) - \frac{(V+I_{R_s})}{R_{sh}} \quad (3.5)$$

3.1.2. Fotovoltaik hücrenin akım gerilim karakteristiğini etkileyen temel parametreler

Seri direnç (R_s): Güneş hücresinin gerilim üretici gibi davrandığı bölgede I-V karakteristik eğrisinin eğiminin düşmesine neden olur.

Paralel direnç (R_{sh}): Güneş hücresinin akım üretici gibi davrandığı bölgede I-V karakteristik eğrisinin eğiminin artmasına neden olur.

Doyma akımı (I_s): Açık devre gerilimini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Sıcaklığa bağlıdır. Silisyumda her 10°C 'lik artışta ikiye katlanır.

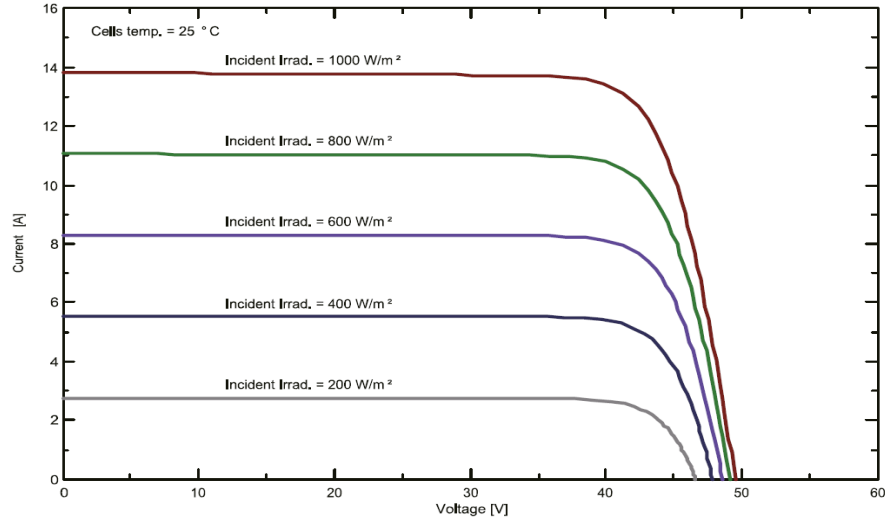
Işıma (insolation, irradiance): Kısa devre akımı, ışıma ile orantılı olarak değişmektedir. Açık devre gerilimi, artan ışıma ile birlikte küçük oranlarda artar. Modülün maksimum gücü ışıma ile orantılıdır. "K" sabit bir deger ve "Q" ışıma (kW/m^2) olmak üzere:

$$I_s = I = K \cdot Q \quad (3.6)$$

$$V_{oc} = \frac{a \cdot k \cdot T_c}{q \cdot \ln\left(\frac{K \cdot Q}{I_s}\right)} \quad (3.7)$$

Burada yer alan a kalite faktörüdür.

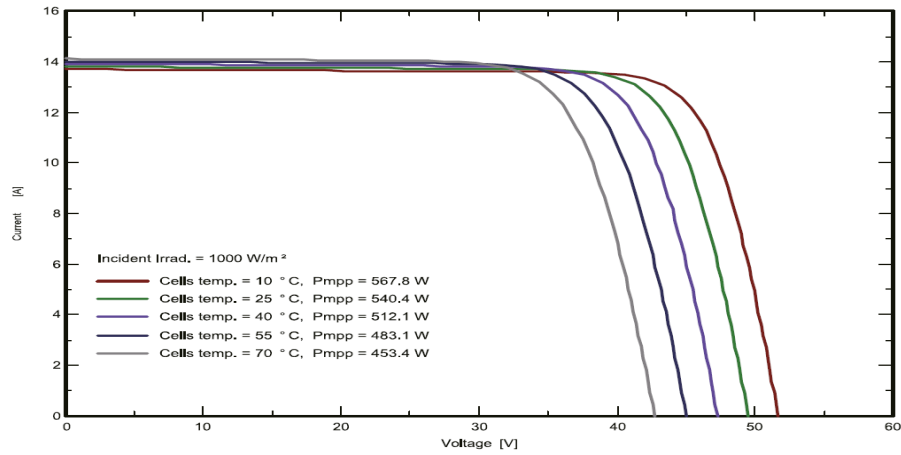
Fotovoltaik sistemlerin performansı üzerine etkili olan en önemli işletme parametreleri güneş ışınmı, hücre sıcaklığı ve yük profilidir. Bu üç faktöre bağlı olarak fotovoltaik sistemlerin maksimum güç noktası da değişkenlik göstermektedir (Fu-Sheng, Ru-Min, Hong, & Tai-Sheng, 2011). Güneş radyasyonuna bağlı olarak fotovoltaik panellerin akım gerilim eğrileri de farklılık göstermektedir (Salas, Olı'as, Barrado, & zaro, 2006). Şekil 3.6'da farklı ışınmı değerlerinde güneş panelinin akım-gerilim değerlerinin değişim eğrisi yer almaktadır.



Şekil 3.6. Işımanın fotovoltaik hücre üzerindeki etkisi (Elin 545 Wp panel kataloğundan)

Elin 545 Wp paneli için verilen Şekil 3.6’da yer alan grafiği incelediğimizde ışıınım değeri iki katına çıktığında akım değerinin yaklaşık iki arttığı, gerilimin ise ortalama olarak %2 arttığı görülmektedir.

Sıcaklık: Kısa devre akımı “Isc” sıcaklıkla artar. Açık devre gerilimi “Voc” ise güneş hücresi sıcaklığı ile dogrusal olarak azalır. Şekil 3.7’de akım gerilim eğrilerinde sıcaklığın bir güneş paneli üzerindeki etkisi farklı sıcaklıklar için yer almaktadır.

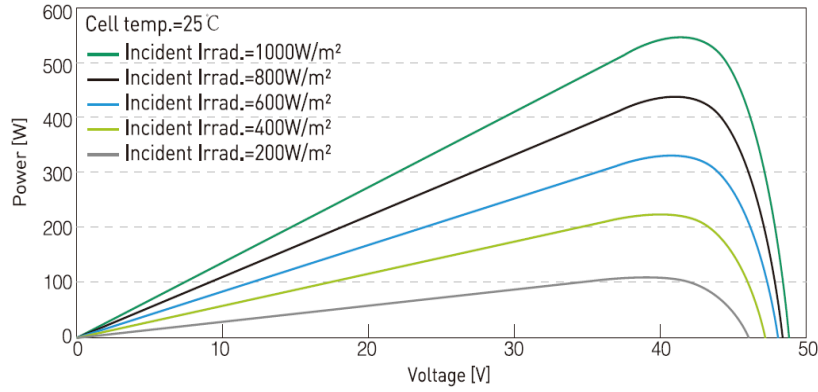


Şekil 3.7. Sıcaklığın fotovoltaik hücre üzerindeki etkisi (Elin 545 Wp panel kataloğundan)

Elin 545 Wp güneş paneli için verilen bu şekil incelendiğinde; PV hücre sıcaklığı yükseldikçe panel gerilimi azalmakta ve akım değerinde ise artma olmaktadır. PV panelden alınabilecek güç ise sıcaklık arttıkça azalmaktadır.

PV panelin üretebileceği güç;

$PPV = VPV \times IPV$ olduğundan PV panelin güç gerilim eğrisi Şekil 3.8 'deki gibi olmaktadır. Sıcaklık sabit kalması şartıyla, fotovoltaik panellerden belirli bir akım-gerilim noktasında maksimum güç alınabilmektedir. Işınımın artması panelin çıkış akımı ve gerilimini artırmakta ve çıkış gücünde de bir artış olmaktadır.



Şekil 3.8. Bir fotovoltaik hücrenin güç-gerilim grafiği (Phono 545 Wp panel kataloğundan)

3.2. Fotovoltaik Sistem Bileşenleri

Fotovoltaik sistemlerde, güneş panelleri haricinde sistemde yer alan birçok ekipman kullanılmaktadır. Güneş panelleri aracılığıyla elde edilen doğru akım, evirici yardımı ile alternatif akıma dönüştürülmesi gerekmektedir. Dönüşüm işlemlerinin gerçekleşmesinde birçok donanım kullanılmaktadır. Sistemde kullanılan ana bileşenler;

-Fotovoltaik hücreler,

-Evirici,

-Kablo,

-Konstrüksiyon (Taşıyıcı Sistem) olarak sıralanabilir.

3.2.1. Fotovoltaik modül

Sisteminin temel elemanı olan fotovoltaik modülleri üç ana başlık altında değerlendirebiliriz.

1.Monokristal Hücreler

2.Polikristal Hücreler

3.İnce Film Hücreler

3.2.1.1.Monokristal hücreler

Monokristal hücreler, yüksek saflıkta silisyum içerirler. Verimlilikleri polikristal hücrelere göre daha çöktür. Silisyum üretim aşamasındaki zorluklar nedeniyle polikristal hücrelere göre fiyatları daha pahalıdır. Gün içerisinde yaşanan sıcaklık artışıyla verimindeki azalma polikristal hücrelere göre daha düşüktür. Yapı bakımından özelliklerini daha uzun süre koruyabilmektedir.

3.2.1.2. Polikristal hücreler

Polikristal hücreler, monokristal hücreler gibi benzer üretim aşamalarından geçer. Fakat monokristal hücrelere kıyasla üretim aşaması daha kolay ve daha ucuzdur. Saf silisyum eritilerek istenilen incelikte olacak şekilde kalıplara alınır. Sonrasında özel tekniklerle kesilerek hücreler hazırlanır. Verimleri mono kristal hücrelerden düşüktür. Maliyetlerinin düşük olmasından dolayı tercih edilmektedir.

3.2.1.3. İnce film hücreler

İnce film hücrelerin üretimi kristal silisyum güneş hücrelerinin üretimine göre daha kolaydır. Bu sebeple üretim maliyetleri daha düşüktür. Diğer hücre tiplerine kıyasla birim alan başına ürettikleri elektrik enerjisi daha azdır. Sıcaklığa karşı direnci diğer hücre tiplerinden daha fazladır. Esnek yapısıyla kolay bir kurulumuna sahiptir.

3.2.2. Eviriciler

Güneş enerji sisteminde eviricilere ihtiyaç duyulmaktadır. Eviriciler, güneş panelleri ile üretilen doğru akımı istenilen gerilim, güç ve frekanstaki alternatif akıma çeviren ekipmandır. Eviricilerin dört ana görevi vardır.

- Panelden gelen doğru akımı, alternatif akıma çevirme,
- Alternatif akım gerilim ve frekansını düzenleme,
- Gerilim dalgalarını düzenleme,
- Alternatif akım dalgalarının yayılımını uygulamaya göre düzenler ve dalgaının yayılma yönünü şebeke bağlantısına göre ayarlamaktadırlar.

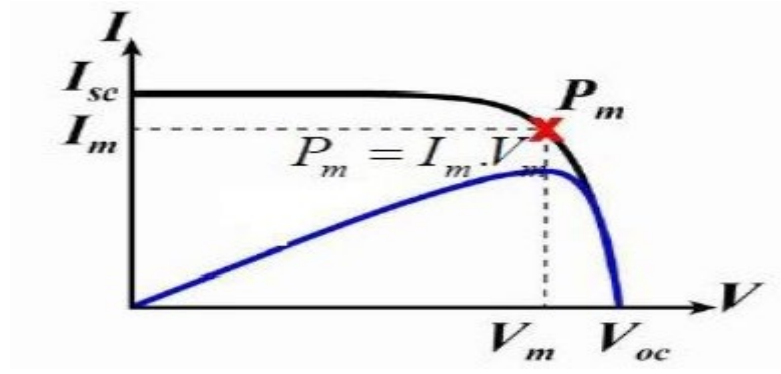
Eviriciler merkezi ve string inverter olarak iki farklı gruba ayrılır.

3.2.2.1. String(dizi) tipi inverterler

String(dizi) tipi inverterler, boyut olarak kullanışlı olması ile tercih sebebidir. Şekil 3.9'da String(dizi) tipi inverter yer almaktadır. String inverterlerin tercih edilmesindeki en önemli sebeplerden birisi MPPT (Maksimum Güç İzleme Noktası) özelliğidir. Güneşin geliş açısı, gölge faktörleri veya panel bazlı problemler nedeniyle elde edilen enerji sürekli dalgalanmalar gösterir. Bu dalgalanmaları önlemek için enerjinin evirilip düzenli ve verimli bir hale getirilmesi önemlidir. Bu görevi inverterlar da Mppt üstlenmektedir. Farklı saat ve zaman aralıklarında alınan gerilim ve akım değerlerinin çarpımını maksimum düzeyde tutarak çıkış gücünü en üst düzeye çıkarmaya çalışmaktadır. Şekil 3.10'da MPPT grafiği yer almaktadır.



Şekil 3.9. String(dizi) tipi inverter örneği



Şekil 3.10. MPPT I-V grafiği

3.2.2.2. Merkezi tip inverterler

Merkezi tip inverterler, string tipi inverterlere göre daha geniş aralıkta çalışma işlevine sahiptir. Merkezi inverterler çoğunlukla şebekeye yakın yerlere konumlandırılarak AC kablo kayıplarının azaltılması amaçlanır. Büyük ölçekli projelerde ve genellikle arazi tipi güneş enerji sistemlerinde kullanılmaktadır. Şekil 3.11’de merkezi inverter örneği yer almaktadır.



Şekil 3.11. Merkezi inverter örneği

3.2.3. Kablo

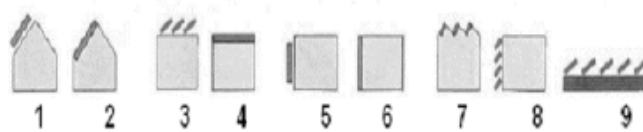
Fotovoltaik sistemlerinde tercih edilen kablolar, elde edilen enerjinin aktarımını sağlayan ekipmandır. Fotovoltaik modüllerden üretilen elektrik enerjisini taşıma görevi gören bu sistem elemanı, güneş ışınlarından ve sıcaklıktan etkilenirler. Etkilenme sonucunda kayıplar meydana gelebilmektedir. Fotovoltaik modülün ortalama çalışma ömrü olarak öngörülen süre 25-30 yıl civarında olduğu için kullanılacak kablolarında buna göre seçilmesi gerekmektedir. Çoğunlukla bu kabloların sıcaklık dayanımı -40°C - $+120^{\circ}\text{C}$ arasındadır. (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Solar kablo

3.2.4. Konstrüksiyon (Taşıyıcı sistem)

Konstrüksiyonlar, güneş paneli ve eviriciden sonra en önemli sistem elemanıdır. Güneş enerji santralleri bina, arazi, sanayi gibi çeşitli alanlar üzerine kurulumu gerçekleştiği için farklı tip konstrüksiyon ihtiyacı doğmaktadır. Konstrüksiyon kurulum yapılacak bölgenin coğrafi şartlarına, maksimum şekilde radyasyon alabileceği eğim açısına göre yerleştirilerek montajlanır. Şekil 3.13’de farklı şekillerde uygulama yapılabilecek konstrüksiyon montaj örneği yer almaktadır.



Şekil 3.13. Farklı tip konstrüksiyon montaj örneği

Yerleşim, kurulumu gerçekleşecek binanın çatı biçimi ve cephesi dikkate alınarak belirli mühendislik hesaplamaları ile tasarlanır. Araziler için de aynı durum geçerlidir. Arazi kurulumlarında paneller, arazi yapısı, arazinin alanı, kullanım durumu ve cephesi hesaba katılarak montajlanır. Şekil 3.14’de Arazi konstrüksiyon örneği yer almaktadır.



Şekil 3.14. Arazi konstrüksiyon örneği

3.3. Fotovoltaik Sistem Uygulamaları

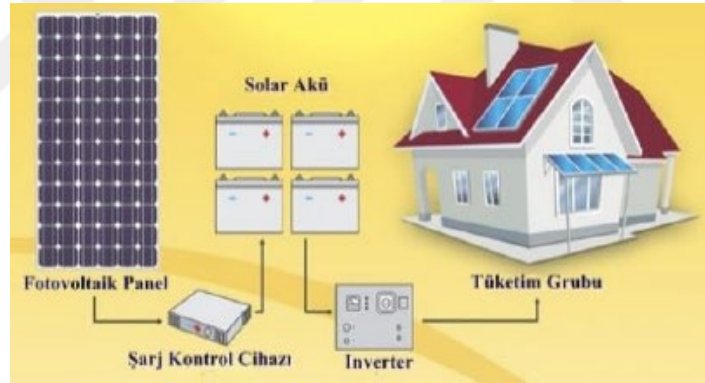
Günümüzde faturalarda yer alan elektrik birim maliyetinin artması, elektrik de dışa bağımlılığı azaltmak amacı insanların yenilenebilir enerjiye verdiği önemi arttırmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan fotovoltaik sistemlerde özellikle şehir içi binalar, endüstriyel fabrikalar, tarımsal sulama vb alanlarda enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla birçok çözüm sunmaktadır (Zaninelli & Leva, 2009) (Gürses, 2021) .

Fotovoltaik sistem çeşitleri içerdiği konfigürasyonlara göre 3 ana gruba ayrılır. Bunlar; Şebekeye bağlı (on-grid) sistemler, şebekeden bağımsız sistemler ve hibrit sistemlerdir. Bu üç sistem birbirlerinden içerdiği ekipmanlar vasıtasıyla ayrılır. Aşağıda bu sistemler detaylı olarak incelenmiştir.

3.3.1. Şebekeden bağımsız (off grid) sistemler

Şebekeden bağımsız sistemler, fotovoltaik sistemlerin yaygınlaşmaya başladığı zamanlarda kullanılan ilk sistemlerdir. Şebekeden bağımsız (Off-Grid) sistemler stand alone sistemler olarak da bilir. Bu sistemler şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemler şebekeye erişimin olmadığı veya şebeke bağlantısının mümkün olmadığı alanlarda kullanılmaktadır. Bu sistemlerin şebeke ile bir bağıntısı yoktur ve üretilen enerjinin fazlası depolama sistemlerinde depolanır. Bu depolama işlemi aküler vasıtası ile olmaktadır. Depolama sitemlerinde depolanan enerji ise güneş ışınımının olmadığı veya yetersiz olduğu durumlarda yükün ihtiyacı olan enerjiyi karşılamaktadır (Çayır, 2022).

Şekil 3.15’de yer aldığı üzere şebekeden bağımsız bir fotovoltaik sistemler temel olarak PV modül, batarya, şarj kontrol ünitesi ve inverterden oluşmaktadır. Bu cihazlar ve sistem tasarımı sayesinde elektrik enerjisinin olmadığı yerlerde sürdürülebilir, kesintisiz enerji sağlanmış olmaktadır (Tozkoparan, 2021).



Şekil 3.15. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemler (Tozkoparan, 2021)

Şebekeden bağımsız sistemler prensip olarak şu şekilde çalışırlar. Güneşten gelen radyasyon enerjisini elektrik enerjisine dönüştürerek DC kablolar aracılığıyla şarj kontrol cihazına gelir. Şarj kontrol cihazı akülere giden DC gücü düzenleyerek, akülerde enerjinin verimli bir şekilde depolanmasını sağlar. Bu akülerde depolanan enerji daha sonra bir inverter aracılığıyla panellerin ürettiği doğrudan akımı alternatif akıma dönüştürerek ev vb. yerlerde kullanılmak üzere şebekeye aktarır. Gündüz güneş ışınımının yeterli olduğu ve tüketimin üretimden az olduğu durumda aradaki fark miktarı kadar enerji akülerde depolanarak gece ev şebekesine aktarılmaktadır. Tüketimin üretimden fazla olma durumunda ise anlık üretilen enerji direkt olarak

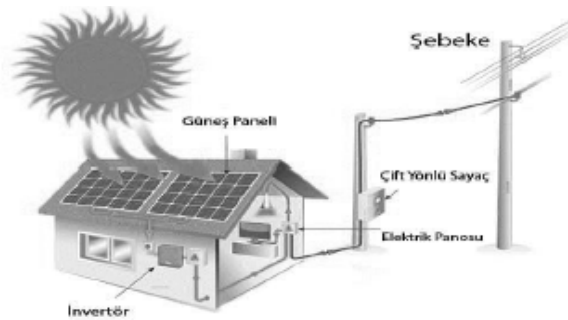
tüketimde kullanılmaktadır. Böylece enerjide devamlılık sağlanmış olmaktadır. Akülerde depolanan enerji, güç kaynağı talebi olduğunda veya güneş ışığının olmadığı gece saatlerinde kullanılabilir (Güneş, 2021) (Gürses, 2021).

Şebekeden bağımsız sistemlerin en büyük dezavantajı akülerin arızalanması, maliyetleri ve kayıplarıdır. Şebekeye bağlı sistemlerde akülere ihtiyaç duyulmadığından bir akü maliyeti oluşmamaktadır. Aynı zamanda aküler şarj-deşarj olurken kayıplar yaşandığından dolayı bu da sistem verimliliğini etkilemektedir (SARIYILDIZ, 2021).

3.3.2. Şebekeye bağlı (on grid) sistemler

Günümüzde kullanılan fotovoltaik sistemlerin büyük bir kısmını oluşturan şebeke bağlantılı sistemler pv modülleri kullanarak elektrik üreten ve ürettiği elektriği şebekede elektrik olması koşulu ile şebekeye veren sistemlerdir. Şekil 3.16'da yer aldığı üzere şebekeye bağlı bir güneş pv güç sisteminin temel bileşenleri, pv modüller, inverterler, AC dağıtım panosudur. Prensipte şebekeden bağımsız sistemlerden farklı olarak fotovoltaik panellerden gelen DC akım doğrudan inverterlere gelerek AC akıma çevrilir. On-grid sistemlerde akü veya benzeri depolama cihazlarına gerek yoktur. Üretilen elektrik anında kullanılır(SARIYILDIZ, 2021).

Üretilen enerjinin tüketilen enerjiden fazla olduğu durumda tüketim fazlası enerji şebekeye enjekte edilir, üretilen enerjinin tüketilen enerjiden düşük olması durumunda ise şebekeden alınmaktadır. 12.05.2019'da Resmi Gazetede yayımlanan Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği kapsamında fazla üretilen elektrik ve şebekeden çekilen elektrik çift yönlü sayaç vasıtasıyla aylık mahsuplaşıp, çıkan değere göre devletten alacaklı veya devlete verecekli duruma gelinebilmektedir (Gürses, 2021);



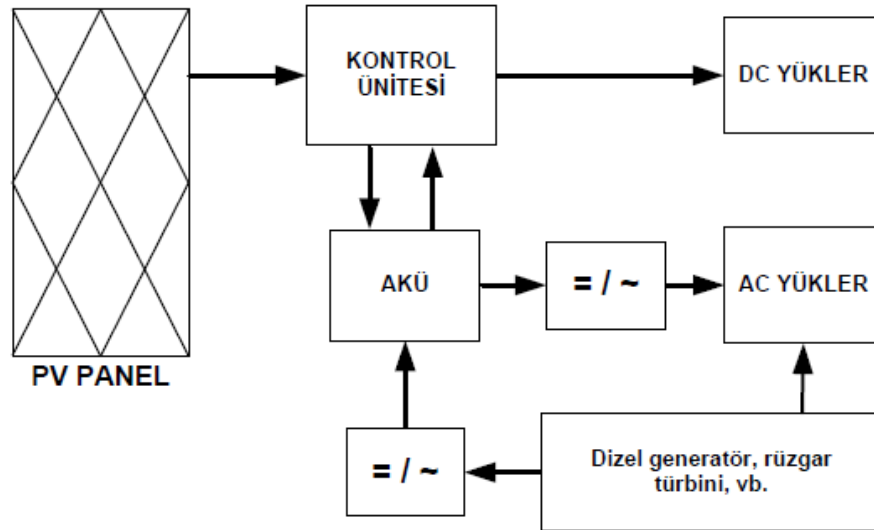
Şekil 3.16. Şebekeye bağlı (on grid) sistemler (Sarıyıldız, 2021)

Şebekeye bağlı sistemler şebekenin voltaj, frekans, harmonik gibi temel parametrelerine uygun şekilde çalıştırılması gerekmektedir. Bu sistemlerin en büyük dezavantajı, şebeke elektriği kesildiğinde sistemin elektrik üretimini durdurmasıdır.

PV sistemlerin şebekeye bağlantılı bir şekilde yapılması hem ülkemizde hem de dünyada endüstriyel ve evsel uygulamalar için büyük bir potansiyele sahiptir. Bu sistemler, küçük konut, ticari veya endüstriyel ile büyük ölçekli, MW düzeyinde şebekeye bağlı güneş pv güç sistemleri olabilmektedir (Nakir, 2007)

3.3.3. Hibrit bağlı (hybird- connected) sistemler

Fotovoltaik sistem uygulamalarının bir diğer türü olan hibrit sistemlerde birden fazla elektrik kaynağı bulunmaktadır. PV sistem dışında kaynak olarak rüzgâr türbini, dizel generatör vb. kaynaklar olabilmektedir. Bu tarz uygulamalarda hem DC hem de AC yükler beslenebilmektedir. İkinci kaynaktan elde edilen enerji direk olarak AC yükleri beslemede kullanılabildiği gibi bir doğrultucu üzerinden depolama ünitelerine aktarılabilmektedir. Şekil 3.17’de hibrit bir sistemin blok şeması yer almaktadır.



Şekil 3.17. Hibrit fotovoltaik sistem

3.4. Sistem Performans Parametreleri

Performans parametreleri Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından fotovoltaik sistemlerin performansını analiz etmek için geliştirilmiştir. Performans parametreleri enerji üretimine, ısıtım değerlerine ve sistem kayıplarının etkisine bağlı olarak genel sistem performansını belirlemek için kullanılmaktadır. Fotovoltaik sistem performansının belirlenmesinde kullanılan birçok parametre vardır. Bunlar;

3.4.1. Fotovoltaik dizi kazancı (Y_A)

Y_A dize verimi olarak tanımlanır. Dize verimi, belirli bir periyotta (gün/ay/yıl) dizelerden üretilen enerjinin kurulu güce oranıdır. Birimi kWh/kWp/gün'dür ve

$$Y_A = \frac{E_a}{P_o} \quad (3.8)$$

eşitliği ile ifade edilir. Bu eşitlikte E_a üretilen enerjiyi, P_o ise kurulu gücü ifade etmektedir.

3.4.2. Referans kazancı (Y_r)

Y_r (Referans verim), ideal şartlarda elde edebilecek enerjiyi, güneş radyasyonu kaynaklarını, yerini ve yönünü tanımlar. Eğer referans ısıtım değeri olan G parametresi 1 kW/m^2 ise, Y_r parametresi verimli güneşlenme saatine ya da belirli bir düzleme gelen toplam güneş ısıtım değerine kWh/m² eşittir. Fotovoltaik modül yüzeyine düşen ısıtım (Plane of Array Irradiance) olan POAI değerinin; fotovoltaik referans ısıtım değeri G 'ye bölünmesi ile elde edilir ve birimi (kWh/m²) / (1kW/m²) dir (A. Keskin, Martin, & Boran, 2019).

$$Y_R = \frac{POAI}{G} \quad (3.9)$$

3.4.3. Final kazancı (Y_f)

Belirli bir periyotta (gün/ay/yıl) elde edilen AC enerji değerinin, santralin standart test koşullarında kurulu güç değerine bölünmesiyle elde edilir. Birimi kWh/kWp/gün dür.

$$Y_F = \frac{E_{AC}}{P_o} \quad (3.10)$$

3.4.4. Performans ratio

IEC 61724 standardında tanımlanan performans kriterlerinden biri olan performans oranı final verimin, referans verime oranı olarak tanımlanır. Bu parametre farklı yerlere kurulumu yapılmış fotovoltaik sistemlerden elde edilen enerjinin karşılaştırılması için kullanılır. Bu parametre kurulu güç ve ışıınıma bağlı olmaması nedeniyle verim katsayısı değil, santralin başarı katsayısıdır. Optik kayıpları (gölgeleme, kirlenme), dizi kayıplarını (FV dönüştürme, yaşlanma, panel kalitesi, uyumsuzluk, kablolama vb.) ve sistem kayıplarını şebekeye bağlı evirici verimliliği içerir.

$$P_R = \frac{Y_F}{Y_R} \quad (3.11)$$

eşitliği ile ifade edilir.

3.4.5. Dize kaybı (L_c)

Dize kaybı, sistemin referans verim ile dize verimi arasındaki fark olarak ifade edilir.

$$L_c = Y_R - Y_A \quad (3.12)$$

3.4.6. Sistem kaybı (L_s)

Sistem kaybı, Dize verimi ile sistem verimi arasındaki fark olarak ifade edilir.

$$L_s = Y_A - Y_F \quad (3.13)$$

eşitliği ile ifade edilir.

3.4.7. Kapasite faktörü (CF)

Kapasite faktörü, bir santralin maksimum üretim kapasitesidir ve genellikle kW, MW veya GW olarak ölçülür. Kapasite Faktörü (CF) herhangi bir sahanın verimliliğini gösterir. Santralin bir yıl boyunca ürettiği toplam enerjinin, standart test koşullarında elde edilecek maksimum enerji değerine oranı olarak ifade edilir.

$$CF = \frac{E_{AC}}{(365 \times 24 \times P_O)} \quad (3.14)$$

eşitliği ile ifade edilir.

3.4.8. Evirici verimi (η_{inv})

Eviricinin çıkış gücü olan AC gücün, giriş gücü olan DC güce oranıdır.

$$\eta_{inv} = \frac{P_{AC}}{P_{DC}} \quad (3.15)$$

eşitliği ile ifade edilir.

3.4.9. Sistem verimi (η_{sys})

Anlık sistem verimi FV modül veriminin evirici verimi ile çarpımından elde edilen sonuçtur.

$$\eta_{sys} = \eta_{pv} \times \eta_{inv} \quad (3.16)$$

eşitliği ile ifade edilir.

3.4.10. Spesifik verimi

Spesifik verim, kWp başına üretilebilecek enerji miktarı olarak tanımlanır. Birimi saat veya kWh / kWp'dir.

$$\text{Spesifik Verim} = \frac{\text{Üretilen Enerji (kWh)}}{\text{DC Güç (kWp)}} \quad (3.17)$$

eşitliği ile ifade edilir.

3.5. Sistem Verimine Etki Eden Parametreler

Bu bölümde fotovoltaik sistemlerin performansını etkileyen kayıp faktörlerden olan LID, DC Omik Kayıp, Mppt Etkisi, Tozlanma ve Karlanma Kaybı, Sıcaklık, Panel Kalitesi, Degredasyon, Uyuşmazlık Kaybı, Rüzgar Yönü, Rüzgar Hızı, Yansıma Kaybı ve Gölge Kaybı incelenecektir.

3.5.1. Light induced degradation - LID loss

LID, güneş panelinin güneş ışınlarına ilk defa maruz kalmasından sonra meydana gelen kayıp olarak tanımlanabilir. 2008 yılında yayımlanan Photon International isimli dergide LID kaybı, üretim safhasında, p katkılı silisyumun kristalize yapıya sahip olması için eritilmesi esnasında havadaki oksijen atomlarının yarı iletken nüfus etmesi ve güneş ışınlarına maruz kalması ile birlikte yarı iletkenin verime olan katkısının azalması olarak tanımlanmıştır.

Dünyada kristal silisyum FV modül üretimi yapan ve büyük seviyelerde satış miktarlarına ulaşan firmaların katalogunda doğrusal performans eğrisinde güneşe ilk maruz kalma etkisi yer almaktadır. Bu oran %2 ile %3 arasında değişmektedir (Çizelge 3.1)(A. Keskin, 2019).

Çizelge 3.1. Örnek fotovoltaik panellerdeki LID kayıpları

Panel Adı	Jinko Solar 535 Wp	Elin 455 Wp	Phono Solar 455 Wp	Schmid Pekintaş 395Wp	Ödül Solar 400 Wp
LID Loss %	2	2,5	2	2,5	3

3.5.2. Dc omik kayıplar

Fotovoltaik sistemlerde yer alan panel ile inverter arasındaki enerji iletimini sağlayan DC kablolarda omik kayıplar meydana gelmektedir. DC akım, dizi gücü ve kablo mesafe değerleri ile güç kaybı hesabı formülleri kullanılarak, DC kablo kayıpları;

$$P_{DCkayıp} = I_{mpp}^2 \times R \quad (3.18)$$

$$R = \frac{L}{k \cdot q} \quad (3.19)$$

$$\%P_{loss} = P_{DCkayıp} / P_{dizi} \quad (3.20)$$

eşitlikleri ile hesaplamaktadır. Burada;

R: Ortalama Direnç,

I: Maksimum güç noktasındaki akım,

L: Kablo uzunluğu,

k: İletkenlik katsayısı,

q: İletken kesiti,

P_{DCkayıp}: DC güç kaybı,

%P_{loss}: Yüzde güç kaybı

olarak tanımlanmaktadır.

3.5.3. MPPT etkisi

İnverter verimleri AC çıkış gücünün, DC giriş gücüne bölünmesi olarak ifade edilir. İnverter üreticileri datasheetler de yer alan verimliliklerini hesaplarken fotovoltaik dizesinin Akım – Gerilim (I-V) eğrisinin Maksimum Güç Noktasında çalıştıklarını kabul etmektedirler. Santral devreye alındıktan sonra gerçek çalışma noktasının MPPT'den sapmasına neden olan bir çok faktör vardır . Örnek olarak, MPPT'yi tarayan cihazlar optimum noktasının etrafında sürekli salınım yapmaktadır. Bu durum MPPT hatalarının ve kayıpları meydana getirir. Bu durumda meydana gelen MPPT kayıpları inverterin çevrim veriminin düşmesine sebep olur. Bu verim kaybını minimize edebilmek için inverterlerin çok iyi bir MPPT izleyicisine sahip olması gerekmektedir. MPPT kayıpları iki kategoride incelenebilir(Deniz,2013) (Sülü, 2019).

1. Statik MPPT Kayıpları, stabil solar ışınım şartlarında bir MPPT devresinin verimiyle ilgili olan kayıplardır.
2. Dinamik MPPT Kayıpları: İki farklı sebepten kaynaklanabilirler. Birincisi; MPPT devresinin gerilim tanım kümesini tarayan algoritmasıyla ilgili kayıplardır. Diğer ise hızlı ve sürekli değişen ışınım koşullarından kaynaklanan kayıplardır.

3.5.4. Tozlanma ve karlanma kaybı

Fotovoltaik modüllerin yüzeylerinin tozlanmasından veya yüzeyde kar birikmesinden dolayı modüllere ulaşan güneş ışınım miktarının azalmasından dolayı oluşan kayıplardır. Tozlanma kayıpları Şekil 3.18'de yer alan FV güneş panellerin üst yüzeyinin kirlenmesinden ya da tozla kaplanmasından dolayı oluşan kayıplardır. Tozlanma etkisi kir, toz, bacalardan çıkan gaz, kuş pisliği ve güneş modülünün yüzeyini kaplayan diğer parçacıklar nedeniyle oluşan enerji kaybıdır. Tozlanma durumunda panel performansı azalmaktadır. Bunun nedeni; panel yüzeyinde bulunan tozlar güneş ışınımının panele ulaşma oranı azaltmasıdır. Bu nedenle panel tarafından daha az ışınım soğurulacağından dolayı güç değerinde düşüş meydana gelmektedir. Bu güç düşüşünü etkileyen faktörler ise tozun yoğunluğu, tozun cinsine, yağmur yağma oranına ve periyodik temizleme programına bağlıdır (A. Keskin, 2019).

Kar yağışının sık görüldüğü bölgelerde, fotovoltaik modül çıkışlarında karlanmadan dolayı kayıplar görülmektedir (Deniz, 2013).



Şekil 3.18. Temizlenmiş ve tozlu panellerin görüntüsü

3.5.5. Sıcaklık kaybı

Fotovoltaik modül çıkış güç değeri ile modül sıcaklığı arasında ters orantı vardır. Bunun nedeni sıcaklık arttıkça panellerin akım değeri artarken, gerilim değerinin azalmasıdır. Bu durum panel verimini olumsuz etkileyerek güç değerinin azalmasına neden olmaktadır. Sıcaklıktan kaynaklanan kayıplar, direkt olarak hücre sıcaklığı ile doğru orantılıdır. Eğer ortam sıcaklığı yükselirse, hücre sıcaklığı da yükseleceğinden dolayı üretilen enerjinin azalmasına neden olur.

Bir solar hücrenin, 800 W/m² ışınlam, 1m/s rüzgar ve 20°C ortam sıcaklığı koşullarındaki sıcaklığına Hücre Nominal Çalışma Sıcaklığı (Nominal Operating Cell Temperature - NOCT) adı verilir. Bu sıcaklık değeri fotovoltaik modüllerin datasheetlerinde belirtilmektedir. Herhangi bir ortam sıcaklığındaki bir hücrenin sıcaklığını bulmak için

$$T_c = T_a + \frac{T_{NOCT} - 20}{0,8} G(kw/m^2) \quad (3.21)$$

eşitliği kullanılır. Burada yer alan,

T_c : Güneş Paneli Hücre sıcaklığını,

T_a : İstenilen herhangi bir ortam sıcaklığını,

T_{NOCT} : Panel kataloğunda belirtilen NOCT değerini,

G : Işınım değerini ifade etmektedir.

Fotovoltaik panelin hücre sıcaklığı ile μ sıcaklık katsayısı birlikte kullanılarak panel çıkış gücü;

$$P_{\phi} = P_{stk} - P_{kayıp} \quad (3.22)$$

bağlantısı ile elde edilir.

$$P_{\phi} = P_{stk} \times (1 - \%P_{kayıp}) \quad (3.23)$$

$$\%P_{kayıp} = \mu \cdot \Delta t \quad (3.24)$$

$$\Delta t = T_c - T_{stk} \quad (3.25)$$

Burada;

P_{ϕ} =Güneş Paneli çıkış gücü,

μ = Panel gücünün sıcaklığa bağlı katsayısı

P_{stk} =Panelin standart test koşullarında sağlayacağı maksimum çıkış gücü,

T_{stk} = Standart test koşullarındaki sıcaklık değeri (25°C)

3.5.6. Panel kalitesi, degradasyon, uyumsuzluk (Mismatch) kaybı

Panel kalite kaybı, üretici firmalar tarafından sağlanan parametrelerdir. Panellerin fabrikadan çıkmadan önce yapılan en son flaş test değerlerine göre performansı belirlenir. Güneş panelleri ve inverter datasheet verileri üzerinden panel- inverter uyumluluk hesapları yapılarak inverter giriş gerilimi ve akımına uygun olarak string de yer alacak seri panel sayısı belirlenir. Bu durumda tek tek panellerin güçlerin toplamı, seri bağlanarak oluşturulan string gücünden daha fazladır. Bu durumun başlıca sebepleri gölgelenme etkisi, güneşin panel yüzeyine geliş açısındaki farklılık olması, statik uyumsuzluk, çevresel gerilimdir. Bu etkenler mismatch kayıplarını meydana getirir.

Statik uyumsuzluk üretim esnasındaki toleranslar ve string içindeki modüllerin yaşlanma faktörleridir. Çevresel gerilim, hava koşullarından dolayı modüllerin zarar görmesiyle ilgilidir. Yine aynı string içerisinde yer alan panel DC kabloları arasındaki mesafe uyumsuzluk kayıplarına neden olur.

Sistemdeki modüller arasındaki seri dizi ve paralel bağlantılar inverterler tarafından iyi yönetilmelidir. Stringde seri olarak birbirine bağlanan modüllerin güç toleransları arasındaki farklara bağlı olarak uyumsuzluk kayıplarının şiddeti artar ya da azalır. Paneller yıldan yıla bir degradasyon kaybına uğradığından dolayı yıllar geçtikçe mismatch kaynaklı kayıplar giderek artmaktadır (Deniz, 2013; O Kılıcı, 2020; Sülü, 2019)

3.5.7. Rüzgar yön ve hızı

Güneş panellerindeki güç çıkışı panel sıcaklığı ile ters orantılı olduğundan dolayı hava şartlarına bağlı olarak ortam ısısı ve panel sıcaklığı rüzgar hızına göre değişkenlik gösterir. Fotovoltaik panelleri hücre sıcaklığı rüzgar yönüne küçük ölçüde bağlıyken, rüzgar hızına ise büyük oranda bağlıdır.

3.5.8. Yansıma kaybı (IAM loss)

Panel yüzeyine düşen solar ışınımın bir kısmı hücreler tarafından emilirken bir kısmı Şekil 3.19’da yer aldığı üzere emilmeden panel yüzeyinden geri yansır. Bunun başlıca nedeni güneş ışınlarının panel düzlemine dik açıda ulaşmamasıdır. Gelen ışınımın geri yansıyan kısmından dolayı oluşan kayıplara yansıma kayıpları denir.

Katı bir cisme ulaşan ışınım genellikle aşağıdaki üç optik hareketi yerine getirir:

1. Yansıma: ışınım cismin yüzeyinden geri döner.
2. İletim: ışınım cismin içine nüfuz eder.
3. Emilme: ışınım cismin içine girer ve yakalanır; enerji farklı bir forma dönüştürülür.

Fotovoltaik malzemelerde, ışınımın bir kısmı emilir ve elektrik enerjisine dönüştürülür. Malzemenin kalitesi optik yansımaya, iletimdeki kayıpların azlığına, emilen ışınım yoğunluğuna bağlıdır. Panellerde kullanılan Kristal silisyum, amorf silisyumdan daha çok ışık emer ve yansımaları azaltır. Yansımaların önlenmesi ve emilmenin azami seviyeye çıkartılması için modüller farklı katmanlardan üretilir. Fotovoltaik panellerin yüzey kaplama camları emilmeyi en üst seviyeye, yansımayı en aza getirmek için tasarlanmış temperli bir yapıya sahiptir. Hücreler de aynı şekilde ışığın yansımalarını önleyecek Yansıma Önleyici Kaplama (Anti – reflective coating) malzeme ile kaplıdır. Işınları güneş gözesine ulaşana kadar en büyük yansıma kaybı havadan temperli cama geçişi esnasında olur. Bunun yanı sıra, yansıma kaybı güneş ışınlarının camdan EVA malzemesine ve EVA malzemesinden göze geçişi sırasında da meydana gelir. Yansıyan solar ışınımın şiddeti güneş ve PV modül arasındaki açıya ve modülün Kırılma İndeksine bağlıdır. Normal bir ışınımında solar modüller gelen ışığın %4’ünü yansıtırlar(Deniz, 2013) (A. Keskin, 2019; O Kılıcı, 2020).

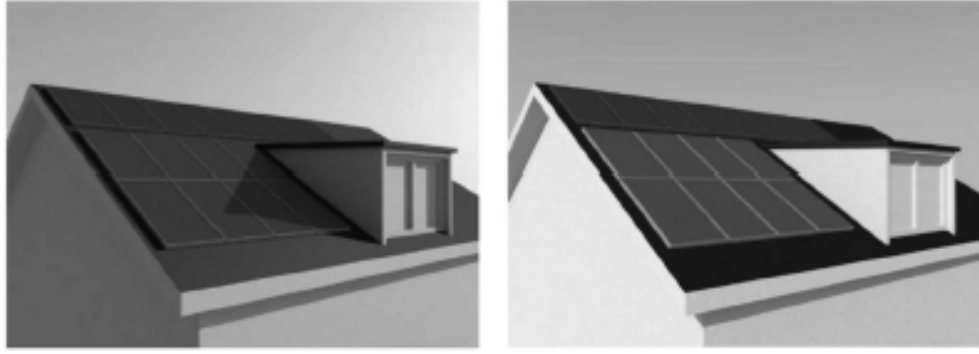


Şekil 3.19. Fotovoltaik panel yüzeyinden ışınların yansımaları (Karamanav, 2021)

3.5.9. Gölge kaybı

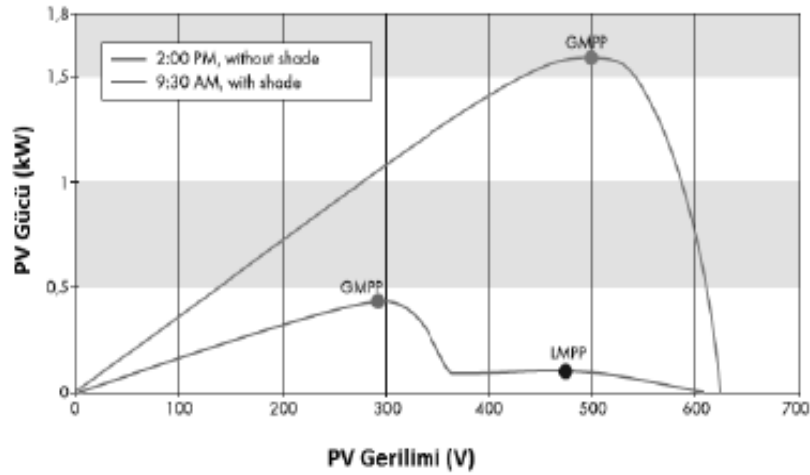
Fotovoltaik sistemlerin performansını etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Panel etrafında bulunan baca, parapet vb. yükseltiler veya panel sehpaları birbirleri üzerinde gölge kaybına yol açmaktadır. Güneşin pozisyonu yıl içinde, gün içinde, saatlik olarak değiştiği için cisimlerin gölge boy uzunlukları ve konumları yer değiştirir. Herhangi bir panel ya da panel grubu üzerine gölge gelmesi durumunda sistem çıkış gücü önemli ölçüde değişmektedir. Gölgeleme kaynaklı kayıpları azaltmak için fotovoltaik sistemlerin tasarımı yapılırken tasarımcı tarafından bu unsurlar simülasyon programları aracılığıyla modellenerek analizi yapılır.

Her bir fotovoltaik panelin mümkün olan en yüksek miktarda enerji ürettiği, Maksimum Güç Noktası (Maximum Power Point – MPP) olarak adlandırılan bir çalışma noktası vardır. Fotovoltaik sistemlerde üretilen enerji temel olarak solar ışıyıma bağlıdır. Herhangi bir panel ya da panel grubu üzerine gölge gelmesi durumunda panel veya stringin elektriksel özellikleri önemli ölçüde değişir.

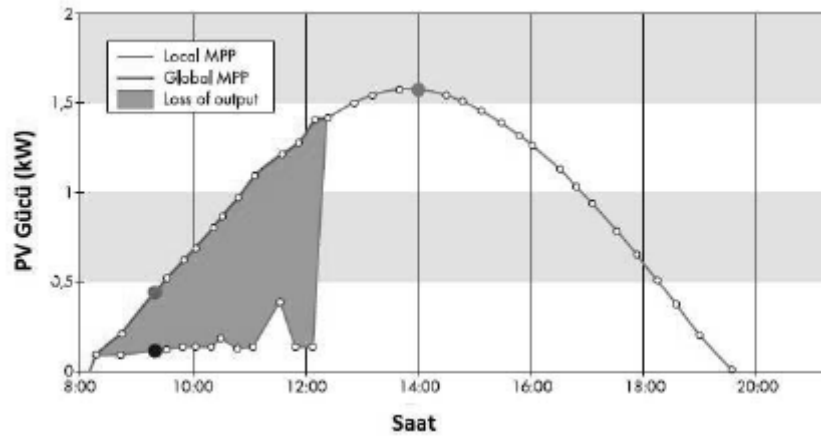


Şekil 3.20. Güneş paneli üzerine gölge düşme örneği (Deniz, 2013)

Fakat bir fotovoltaik panel üzerine gölgelenme meydana gelmesi durumunda Şekil 3.21’de yer aldığı üzere LMPP ve GMPP olarak iki farklı MPP noktasının ortaya çıkmasına sebep olur. Yerel MPP (LMPP) noktasındaki güç Global MPP (GMPP) noktasındaki güçten oldukça düşüktür. Şebeke bağlantılı her bir inverterde MPP noktasını takip etmekle görevli MPPT modülleri bulunmaktadır. Bu modüllerin görevi panellerden sürekli olarak optimum çalışma noktasında işletimine devam etmesinin sağlanmasıdır. Bu şekilde kontrol edilen bir panelden anlık solar ışıınımdan mümkün olan en yüksek gücü alır.



Şekil 3.21. Şekil 3.20’de gösterilen pv sistem için günün iki farklı anında (gölgelenmesiz ve kısmi gölgeli) güç / gerilim grafiği (Deniz, 2013)



Şekil 3.22. Sabahleyin gölgelenmeye maruz kalan bir panelin global ve lokal mpp'lerinin gün içindeki hareketleri (Deniz, 2013)

Şekil 3.22'deki gri alan inverterin Global MPP yerine Lokal MPP noktasında PV üretici çalıştırması sonucunda ortaya çıkan ekstra kaybı göstermektedir

3.6. Simülasyon Programları

Simülasyon programları, fotovoltaik santraller yapılmadan önce elektriksel açıdan en optimum sistem dizaynı yapılmasında, santralde kullanılacak ekipmanlara ve tasarıma göre meydana gelecek kayıp miktarlarını, santral devreye alındıktan sonra aylara göre beklenen üretim ve performans oranı miktarını, yıllık beklenen üretim ve performans oranı miktarını, engellenecek CO₂ salınımı hakkında bilgi edinme amaçlı kullanılmaktadır. Santral tasarımı yapılırken uygun DC/AC oranı ve eğim değerleri farklı durumlar için simülasyon programları ile simüle edilerek en optimum santral gücü ve eğim değeri belirlenir. Simülasyon programları aynı zamanda araştırma ve geliştirme alanında da kullanılmaktadır. Panel ve inverter üreticileri yeni tasarladıkları, iyileştirdikleri veya optimum hale getirdikleri ürünleri simülasyon programlarında test ederek hatalı geliştirmelerin önüne geçmektedir.

Fotovoltaik santrallerinin temel bileşenlerinden biri olan inverterlerde belirli bir akım ve gerilim sınır değerleri vardır. Bu değerler cihazın çalışma aralığını belirler. Santralde kullanılacak panel ve inverter özellikleri dikkate alınarak bir stringte yer alacak fotovoltaik modül sayısı belirlenmesi gerekir. Bu gibi sistem tasarımında etkin rol oynayan unsurlar simülasyon programları aracılığıyla kısa sürede yapılabilmektedir.

Simülasyon programları ile optimum santral tasarımı yapılmasının yanında fotovoltaiik santral yatırımcılar için enerji üretimi ile ilgili sonuçların yer aldığı teknik rapor desteği de bulunmaktadır. Yatırımcılar özellikle santral tarafından üretilecek ve şebekeye verilecek enerji miktarı hakkında bilgi almak istemektedirler. Simülasyon programları ile üretilecek enerji miktarı, santrale ait performans oranı, engellenen emisyon miktarı, santralde kullanılacak ekipmanların özellikleri ve adetlerinin de yer aldığı bir rapor elde edilmektedir.

Tasarım aşamasında yapılan simülasyon sonuçlarının, santral kurulduktan sonra elde edilen sonuçlar ile kıyaslandığında aradaki farkın azalmasını sağlamak, gerçekçi sonuçlar elde etmek için simülasyon programının yanında yazılımı kullanan mühendisin teknik bilgisi de önemli faktörlerden biridir. Simülasyon sonuçları ile gerçek değerler arasındaki farkı azaltmak için simülasyon çalışmaları esnasındaki parametrelerin doğru tanımlanması gerekmektedir.

Fotovoltaiik santrallerde en önemli kayıplardan biri gölgeleme faktörüdür. Fotovoltaiik tesislerin tasarlanmasında karşılaşılan en fazla zorluklar gölgelenme kaynaklı sorunlardır. Çatı üzeri fotovoltaiik santrallerde çatı üzerinde bulunan baca, parapet ve yükselteler, arazi tipi fotovoltaiik santrallerde ise sehpalar birbiri üzerine gölge yapması nedeniyle kayıplar meydana gelmektedir. Herhangi bir panel ya da panel grubunun üzerine gölge gelmesi durumunda panel ve string gerilimlerinde azalma meydana gelmektedir. Bu durum üretimde kayba yol açmaktadır. Simülasyon programı ile tasarlanan sistem dizaynı kontrol edilerek bu durumun önüne geçilebilmektedir. Fotovoltaiik sistemlerin simülasyonunda kullanılan ticari programlardan Pvsol, Pvsyst de 3d gölgelendirme sahnesi için giriş seçenekleri sunmaktadır. Pvsol'de bypas diyot devresi ve bunların akım ve gerilim eğrilerine olan etkileri göz önünde bulundurularak gölgelenmeler modül şeklinde dikkate alınır. Pvsyst ise gölgelenmeyi önceden tanımlı diziler üzerinde alan bazında veya fotovoltaiik modülünün tüm alanı bazında dikkate almaktadır.

Simülasyon sonuçlarını etkileyen en önemli faktörlerden biri de simülasyon çalışmasında kullanılan programa ait meteorolojik verilerdir. Bu nedenle fotovoltaiik sistemin kurulacağı bölgeye yakın konumdaki meteorolojik veriler üzerinden yapılan simülasyon çalışmaları daha etkin sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır.

Son yıllarda artan GES kurulu gücü, beraberinde fotovoltaik sistemlerinin tasarımı, simülasyonu, veri analizinde kullanılabilecek yazılımlara olan talebi de arttırmaktadır. Çizelge 3.2’de bu alanda kullanılan simülasyon programları ve programların öne çıkan çıkan avantajları yer almaktadır.

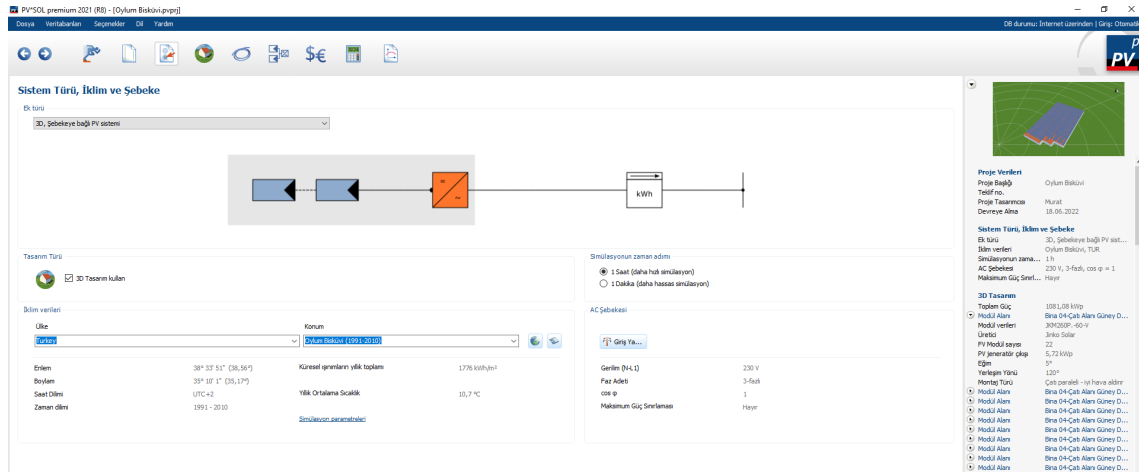
Çizelge 3.2. Ges alanında kullanılan simülasyon programları ve programların öne çıkan çıkan avantajları (Kınalı, 2019)

Yazılım Adı	Yazılım Geliştirici	Yazılımın Avantajı	Avantajı
Archelios	University of Savoie, France	GES sistemi boyutlandırma ve planlama, Güneş ışıını hesaplama	Kullanımı kolay
Calsol	INES, Lyon, France	GES sistemi boyutlandırma ve planlama	Resmi kaynaktan meteorolojik veriler elde etme
Homer	National Renewable Energy Laboratory, USA	GES sistemi boyutlandırma ve planlama, finansal çalışmalar	Hibrit sistem boyutlandırma
Pv f-chart	University of Wisconsin, USA	GES sistemi boyutlandırma ve planlama	Komple bir yazılım
PVGIS	European Commission	GES sistemi boyutlandırma ve planlama	Kullanımı kolay, iklim verisi haritalama
PVSOL	Valentin company, Germany	GES sistemi boyutlandırma ve planlama	Komple, grafiksel araçlar
PVSyst	University of Geneva, Switzerland	Komple GES sistemi boyutlandırma ve planlama	Esnek, grafiksel araçlar, gölgeleme
Pvwatts	National Renewable Energy Laboratory, USA	GES sistemi boyutlandırma ve planlama	Doğru hesaplamalar
Retscreen	Natural Resources, Canada	Çevresel ve finansal çalışmalar	NASA'nın meteorolojik veri tabanını kullanabilme
Sam	National Renewable Energy Laboratory, USA	GES sistemi boyutlandırma ve planlama, finansal çalışmalar	Tam ve doğru hesaplamalar

3.6.1. Pvsol

Pvsol simülasyon programı, şebekeye bağlı veya bağlı olmayan arazi ve çatı tipi güneş enerji santrallerinin gerçeğe uygun olarak tasarımının yapılması için bir yıllık simülasyonunu gerçekleştiren bir güneş enerji santrali tasarım programıdır. Programda 3d tasarım bölümü yer almaktadır. Bu bölüm arazi görünümü, nesne görünümü, modül kapsama alanı, modül montajı, modül konfigürasyonu ve kablo planı seçenekleri ile 6 bölümden oluşmaktadır. 3d nesnelere dayanan gölge hesaplama özelliği ile fotovoltaik sistemlerin gölgeleme kayıplarını hesaplamanın yanında görsel olarak da bir çalışma ortaya koymaktadır. 3d gölgeleme ekranında yılın herhangi bir gün ve saatinde meydana gelecek gölgeleri göstermektedir (İşler, 2020).

Pvsol programında bir fotovoltaik sistem tasarımı oluşturabilmek için sırasıyla; harita tabanı üzerinden istenilen enlem ve boylam parametreleri, fotovoltaik modülün teknik özellikleri, toplam kapasiteleri ve montaj bilgileri (montaj eğimi, yatay azimut açısı ve montaj sahası özellikleri), evirici sayısı, teknik özellikleri ve dizilişi gibi parametrelerin girilmesi gerekmektedir. Pvsol simülasyon programı meteorolojik veri tabanı olarak Meteonorm kullanılmaktadır. İstenmesi durumunda mevcut ölçülen değerleri ekleme yoluyla simülasyon çalışmaları gerçekleştirilebilmektedir.



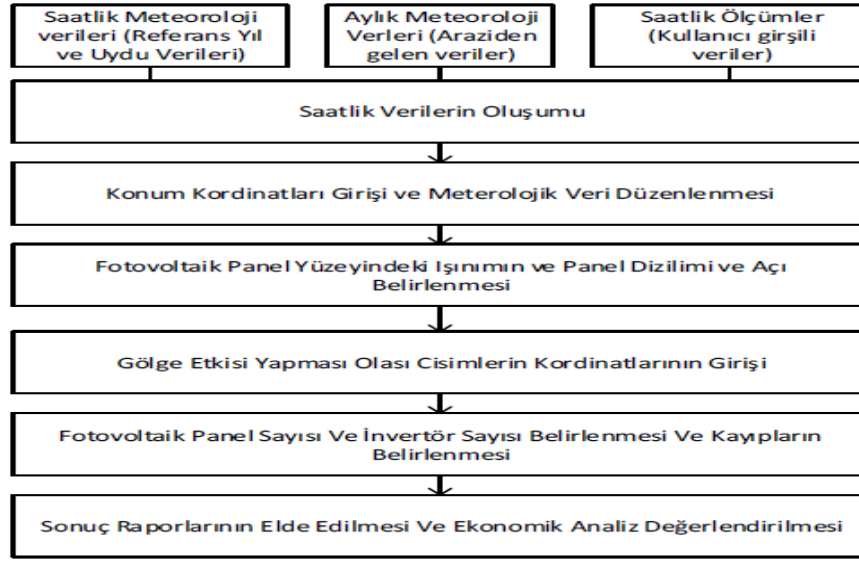
Şekil 3.23. Pvsol tasarım ekran menüsü

3.6.2. Pvsyst

Pvsyst yazılımı ilk olarak Cenevre Üniversitesinde İsviçreli fizikçi Andre Mermoud ve elektrik mühendisi Michel Villos tarafından geliştirilmiş olup kullanıcının fotovoltaik sistem tasarımı, veri analizi ve simülasyonu için kullanılmaktadır. Yazılım ile şebekeye bağlı, bağımsız, pompalama veya DC şebekeli gibi farklı santral tipleri için ön fizibilite, boyutlandırma ve finansal analizin değerlendirilmesiyle fotovoltaik sisteminin simülasyonunu gerçekleştirir (Umar, Bora, Banerjee, & Panwar, 2018).

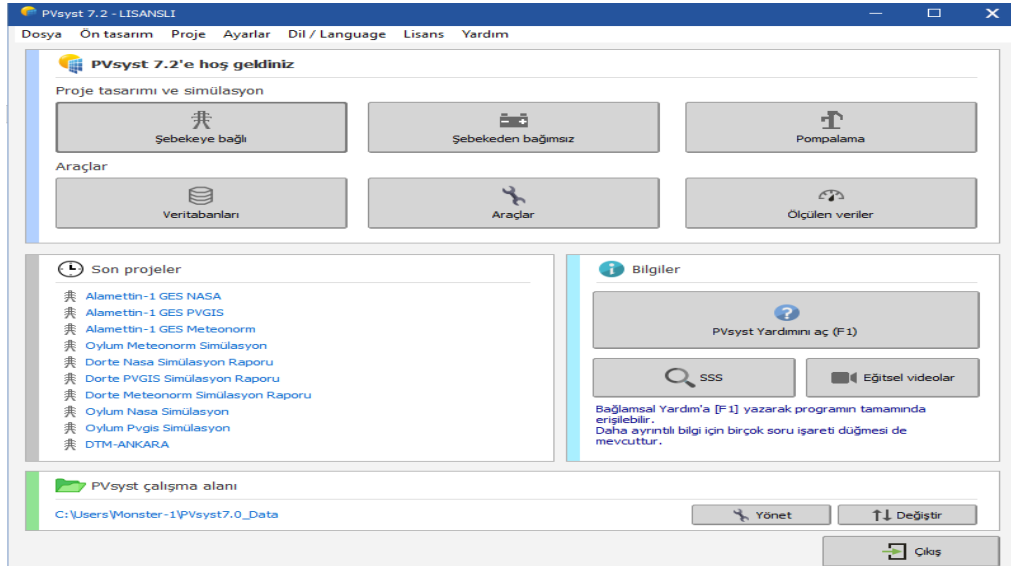
Pvsyst programı ile saatlik değerlerde elde edilebilmektedir. Program veritabanında yer alan meteorolojik kaynaklardan biri olan Meteonorm 7.1'den gelen aylık meteoroloji verileri, küresel ve dağınık ışınlama, sıcaklık ve rüzgar hızını içerir. Saatlik veri doğrudan Pvsyst'te başka bir veri kaynağı kullanılarak da oluşturulabilir, fakat Meteonorm veri tabanında sıcaklık ve rüzgar hızı değerleri de yer aldığı için daha güvenilir sonuçlar elde edilmektedir (Wittner & Mermoud, 2014)

Sistemin konfigürasyonu, sistem tasarımcısı tarafından proje lokasyonu kurulması planan güç üzerinden bir panel ve bir eviriciyi seçtiği anda yazılım tarafından otomatik olarak yapılır. Optimum santral tasarımı yapılırken farklı DC/AC oranlarında inverter aşırı yük kaybındaki değişime bakılarak yapılmaktadır. Yazılım sistem tasarımcısı tarafından kablolarda meydana gelecek gerilim düşümleri, aynı stringde yer alan paneller arasındaki uyumsuzluğun, sıcaklıktan kaynaklanan kayıpların, trafo kaybının, kirlilik, gölgelendirme gibi çeşitli faktörlerin tanımlamasına ve kontrol edilmesini sağlamaktadır. Bu kontrol ve tanımlamalar sonucunda daha verimli bir santral tasarımı yapılabilmektedir. Pvsyst programına ait çalışma diyagramı Şekil 3.24'de yer almaktadır.



Şekil 3.24. Pvsyst programının çalışma mantığı

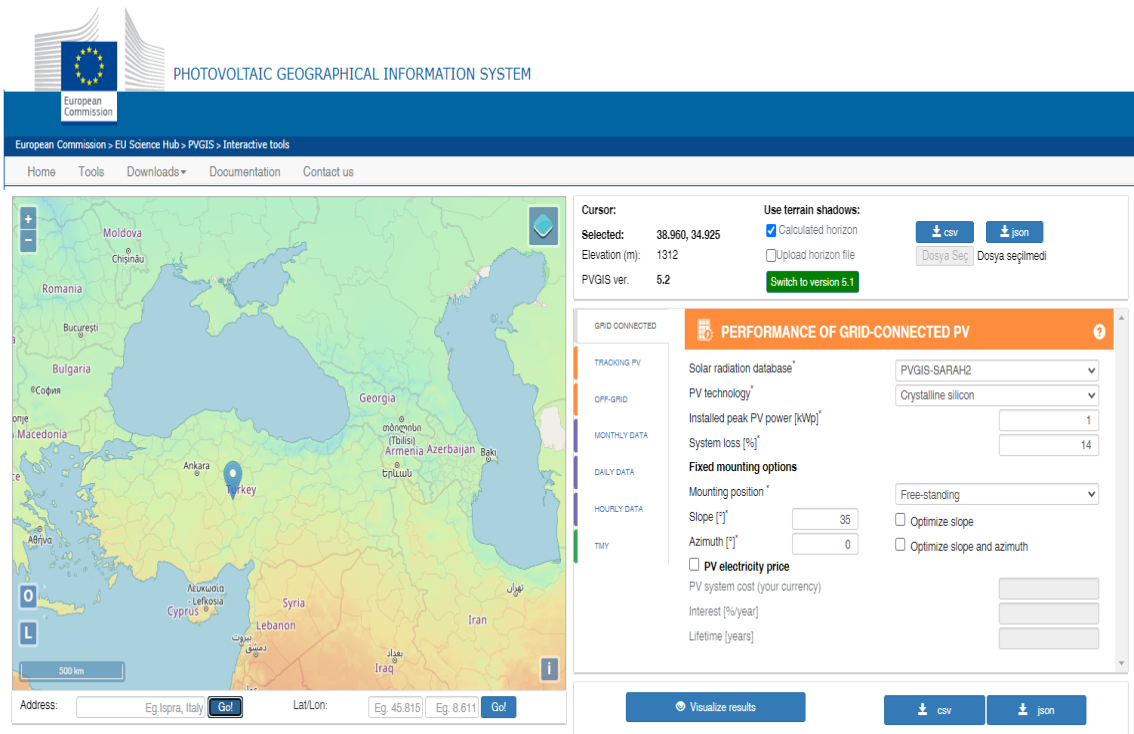
Gerekli ve istenen tüm parametreler yazılımda tanımlandıktan sonra santral simüle edilerek toplam enerji üretimi (MWh /yıl), performans oranı (%) ve spesifik verim (kWh/kWp) gibi değerleri tasarımcıya sağlamaktadır. Ayrıca yazılım içerisinde farklı sistem tasarımlarına ait simülasyonlar yapılarak birbiriyle karşılaştırılabilir.



Şekil 3.25. Pvsyst program arayüzü

3.6.3. Pvgis

PVGIS, Avrupa Komisyonu'nun kendi bünyesindeki bilim servislerinden Ortak Araştırma Merkezi tarafından geliştirilen ücretsiz online bir fotovoltaik enerji hesaplama programıdır (Şekil 3.26). PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) güneş radyasyon haritalarına göre Avrupa, Afrika ve Asya'daki PV sistem ve tesislerinin güneş enerjisi üretim değerlerini hesaplayan çevrimiçi online ücretsiz fotovoltaik enerji hesaplayıcı simülasyon programıdır. Bu uygulama kullanıcı tarafından, harita üzerinden istenilen enlem ve boylam parametreleri, toplam DC kurulu güç, panel açılışı gibi parametrelerin belirlenmesiyle bir fotovoltaik sistemin aylık ve yıllık, güneş ışıınım değerlerini kWh/m², yıllık beklenen elektrik üretimini kWh cinsinden hesaplayarak grafik ve çizelge olarak sunmaktadır (İşler, 2020).



Şekil 3.26. Pvgis sistem arayüzü

3.7. IEC 61724 Performans Analiz Standardı

1906'da İsviçre'nin Cenevre kentinde kurulan IEC (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu) 82 ülkenin ulusal komitelerinin olduğu, tüm elektrik, elektronik ve ilgili teknolojiler için Uluslararası Standartların hazırlanması ve yayınlanmasında dünyanın önde gelen kuruluşudur. IEC, ihtiyaç duydukları Uluslararası Standartları karşılamak, tartışmak ve geliştirmek için şirketlere, endüstrilere ve hükümetlere bir platform sağlar.

Fotovoltaik sistem performans takibi, ölçüm, veri değişimi ve analiz kuralları adındaki IEC 61724 standardı güneş enerji santrallerinin performansını incelemek için kullanılan bir standarttır. Bu standart, fotovoltaik sistemlerin elektriksel performansının izlenmesi ve analizi için genel kuralları tanımlamaktadır.

IEC 61724 standardı sistem parametreleri mevcuttur. Bu parametrelerden önemli bileşen ise şebeke çıkışında üretilen enerjinin mümkün olan en yüksek (referans) enerjiye oranına performans oranı (Performans Ratio- PR) denir. Performans oranı santralin AC çıkışında üretilen enerjinin standart test koşulları altında– (STC) (1,000 W/m² ışınım değeri, 25°C solar hücre sıcaklığı ve Air Mass - AM 1.5 güneş spektrumu) sistemdeki fotovoltaik panel tarafından üretilen enerjiye oranı olarak tanımlanır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Karşılaştırma Yapılan GES Bilgileri

Bu tez çalışmasında, bir yıldan fazla süredir devrede olarak enerji üretimi gerçekleştiren Uşak ve Kayseri illerinde yer alan ve bilgileri Çizelge 4.1’de yer alan 3 farklı fotovoltaik santralin gerçek verileri ile bu santrallerin simülasyon programları ile simüle edilmesinin ardından elde edilen simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışmada Uşak ve Kayseri ilinde kurulu güçleri 862 kWp ile 1148 kWp arasında değişen arazi ve çatı üzeri güneş enerji santralleri seçilerek çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.1. Karşılaştırma yapılan ges saha bilgileri

Güneş Enerji Santral Adı	Kurulu Güç(kWp)	Kurulu Güç(kWe)	Konum	Kurulum Tipi	Gerçek Veri Aralığı
Dorte Güneş Enerji Santrali	861,84	700	Uşak	Çatı	Haziran 2021-Mayıs 2022
Oylum Güneş Enerji Santrali	1081,08	945	Kayseri	Çatı	Ocak 2021-Aralık 2021
Alamettin-1 Güneş Enerji Santrali	1148,16	960	Kayseri	Arazi	Haziran 2021-Mayıs 2022

4.1.1. Dorte güneş enerji santrali

Dorte Güneş Enerji Santrali Uşak ilinin Merkez ilçesinde ve 38°40'55.73" Kuzey 29°11'37.12" Doğu koordinatlarında yer almaktadır. Santral kurulu güçleri 861,84 kWp / 700 kWe'dir.



Şekil 4.1. Dorte güneş enerji santrali uydu görüntüsü

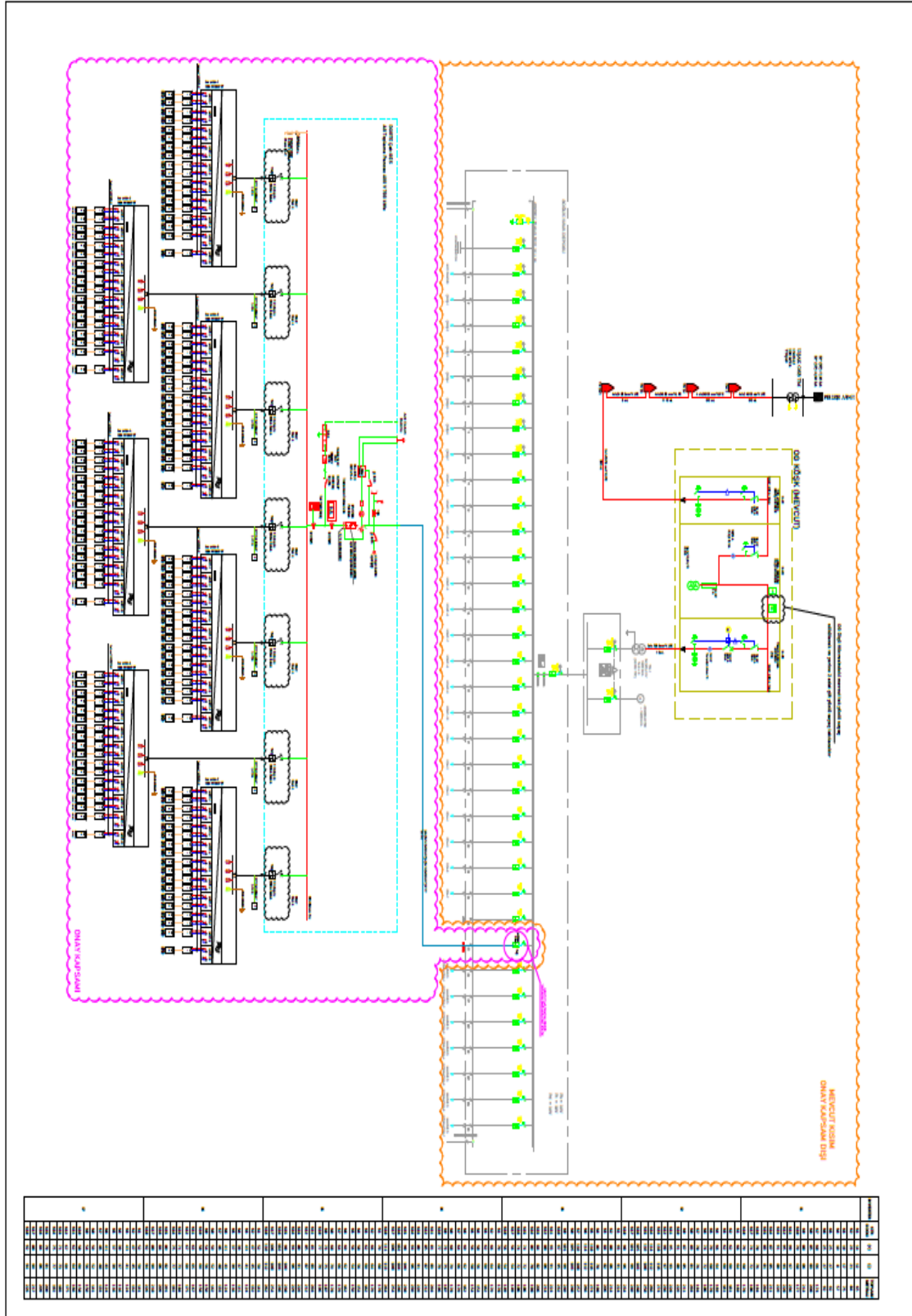
Şekil 4.2’de yer aldığı üzere Dorte Güneş Enerji santralinde çatı eğimi 6° ve üç farklı azimutta panel yerleşimi yer almaktadır. Panellerin azimut değerleri -112° , 68° ve -22° dir. Her bir azimut yönünde sırayla 1440, 756 ve 72 adet panel yer almaktadır. Santrale ait bilgiler Çizelge 4.2 de yer almaktadır.

Çizelge 4.2. Dorte güneş enerji santrali teknik bilgiler çizelgesi

Parametre	Açıklama
İli	Uşak
İlçesi	Merkez
Uygulama Tipi	Çatı
Kullanılan Panel Marka ve Modeli	Phono Solar PS380MH-24/T
Panel Gücü(Wp)	380
Panel Sayısı	2268
Inverter Marka ve Modeli	Huawei SUN2000-100KTL-M1
Inverter Gücü (kWe)	100
Inverter Sayısı	7
DC Güç (kWp)	861,84
AC Güç (kWe)	700



Şekil 4.3. Dorte güneş enerji santrali uygulama görseli



Şekil 4.4. Dorte güneş enerji santrali tek hat şeması

Çizelge 4.3. Dorte güneş enerji santrali güç bilgisi

Inverter Numarası	Dizi Sayısı	Dizideki Panel Sayısı	Panel Gücü(Wp)	Invertere Bağlı DC Güç(kWp)
Inverter-1	18	18	380	123,12
Inverter-2	18	18	380	123,12
Inverter-3	18	18	380	123,12
Inverter-4	18	18	380	123,12
Inverter-5	18	18	380	123,12
Inverter-6	18	18	380	123,12
Inverter-7	18	18	380	123,12

Şekil 4.4 ve Çizelge 4.3 de yer aldığı üzere Dorte Güneş Enerji Santralinde 7 adet 100 kW güce sahip string inverter ve 2268 adet 380 Wp gücünde güneş paneli kullanılmıştır. Her stringte 18 adet panel yer almaktadır. Her invertere 18 adet string (18x18=324 adet panel) bağlanmıştır. Invertere bağlı DC Güç 123,12 kWp iken DC/AC oversize oranı 1,2312'dir. Santralde kullanılan Fotovoltaik paneller ile ilgili teknik bilgiler Çizelge 4.4'de, inverter ile ilgili teknik bilgiler ise Çizelge 4.5'da yer almaktadır.

Çizelge 4.4. Dorte güneş enerji santralinde kullanılan panel datasheet verileri

Parametre	Açıklama
Kullanılan Panel Marka ve Modeli	Phono Solar PS380MH-24/T
Açık Devre Voltajı	39,38 V
Mpp Voltajı	48,36
Kısa Devre Akımı	10,03
Mpp Çalışma Akımı	9,65
Güç Toleransı	0+5W
Maksimum Seri Sigorta Değeri	20A
Çalışma Sıcaklığı	(-40)° ile +85°
Boyutlar	1956x992x40 mm
Ağırlık	22,5 kg
Maksimum Güç için Sıcaklık Katsayısı	(-0,39%/°C)
Açık Devre Voltajı için Sıcaklık değeri	(-0,31%/°C)
Kısa Devre Akımı için Sıcaklık değeri	(+0,05%/°C)

Çizelge 4.5. Dorte güneş enerji santralinde kullanılan inverter datasheet verileri

Parametre	Açıklama
Kullanılan Inverter Marka ve Modeli	Huawei SUN2000-100KTL-M1
Maksimum Giriş Voltajı	1100V
MPPT Voltaj Aralığı	200-1000V
Minimum Başlangıç Voltajı	200V
MPPT Sayısı	2
Maksimum Giriş Sayısı	20
Nominal AC Güç	100 kW
Maksimum AC Güç	110 kW
Nominal AC Çıkış Voltajı	400V
Nominal Çıkış Akımı	144,3 A
Maksimum Çıkış Akımı	158,77
AC Şebeke Frekansı	50
Boyutları	1035x700x365 mm
Çalışma Sıcaklığı	(-25°C ile 60°C)
Koruma Sınıfı	IP66
Haberleşme Sistemi	RS485

Fotovoltaik Santrallerin kurulum yapıldığı yerde görülen maksimum ve minimum sıcaklık değerleri hem cihazların çalışması hem de üretilecek enerji açısından önemlidir. Çünkü inverterler, üretici firma tarafından belirtilen belirli sıcaklık değerlerinden sonra degradasyona uğrayarak güç düşümü meydana getirmektedir. Ayrıca santralde kullanılan panel, inverter ve kablo çalışma sıcaklığı ortam sıcaklığından yüksek olması gerekmektedir. Çizelge 4.6 da yer aldığı üzere Uşak ilinde 1939-2021 yılları arasında görülen maksimum sıcaklık 40.2 °C iken minimum sıcaklık değeri -19.9 °C dir. Santralde kullanılacak ekipmanların çalışma aralığı bu değerleri kapsadığından dolayı herhangi bir sorun oluşmamaktadır.

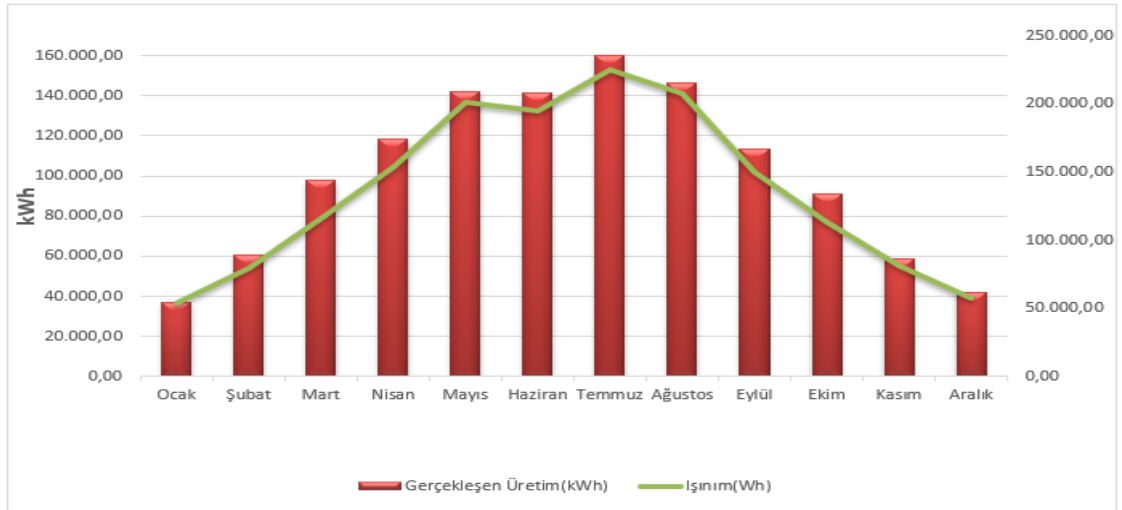
Çizelge 4.6. Uşak iline ait meteorolojik veriler

UŞAK	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ortalama Sıcaklık (°C)	2.3	3.3	6.2	10.9	15.6	19.9	23.4	23.5	19.1	13.7	8.3	4.2	12.5
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	6.8	8.3	11.8	16.8	21.9	26.5	30.3	30.6	26.3	20.3	14.1	8.8	18.5
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-1.2	-0.6	1.3	5.2	9.2	12.6	15.5	15.6	11.9	7.9	3.8	0.7	6.8
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.9	4.6	5.5	6.8	8.8	10.9	11.8	11.3	9.7	7.3	5.3	3.8	7.5
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.41	11.35	12.47	10.29	11.65	8.35	2.71	3.06	4.59	7.53	7.18	11.65	103.2
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	73.4	66.7	58.0	50.9	48.0	27.2	16.5	12.6	18.6	42.2	58.9	84.6	557.6
En Yüksek Sıcaklık (°C)	18.3	23.6	27.0	30.0	34.5	36.6	40.2	38.2	36.6	32.6	26.0	21.8	40.2
En Düşük Sıcaklık (°C)	-19.9	-15.0	-12.5	-6.2	-1.0	2.9	7.4	6.8	2.0	-4.8	-11.8	-18.9	-19.9

Çalışma kapsamında, Uşak Dorte Güneş Enerji Santraline ait Haziran 2021-Mayıs 2022 tarihleri arasında santral tarafından üretilen aylık üretilen enerji, spesifik üretim, ısınım ve performans oranı değerleri Çizelge 4.7 ve Şekil 4.5’de yer almaktadır.

Çizelge 4.7. Dorte güneş enerji gerçekleşen değerler

Ay	Net Üretim(kWh)	Spesifik Üretim(kWh/kWp)	Işınım (Wh)	PR	Gerçekleşen Üretim(kWh)
Ocak	36.667,21	42,55	54.230,00	78,45%	36.667,21
Şubat	60.560,91	70,27	79.044,00	88,90%	60.560,91
Mart	97.846,31	113,53	115.788,00	98,05%	97.846,31
Nisan	118.232,64	137,19	153.120,00	89,59%	118.232,64
Mayıs	142.311,59	165,13	201.278,00	82,04%	142.311,59
Haziran	141.342,60	164,00	194.856,00	84,17%	141.342,60
Temmuz	160.423,90	186,14	225.164,00	82,67%	160.423,90
Ağustos	146.654,60	170,16	207.547,00	81,99%	146.654,60
Eylül	113.328,40	131,50	149.553,00	87,93%	113.328,40
Ekim	91.258,93	105,89	112.937,00	93,76%	91.258,93
Kasım	58.375,75	67,73	81.305,64	83,31%	58.375,75
Aralık	42.072,31	48,82	57.729,00	84,56%	42.072,31
Toplam	1.209.075,15	1.402,90	1.632.551,64	85,93%	1.209.075,15



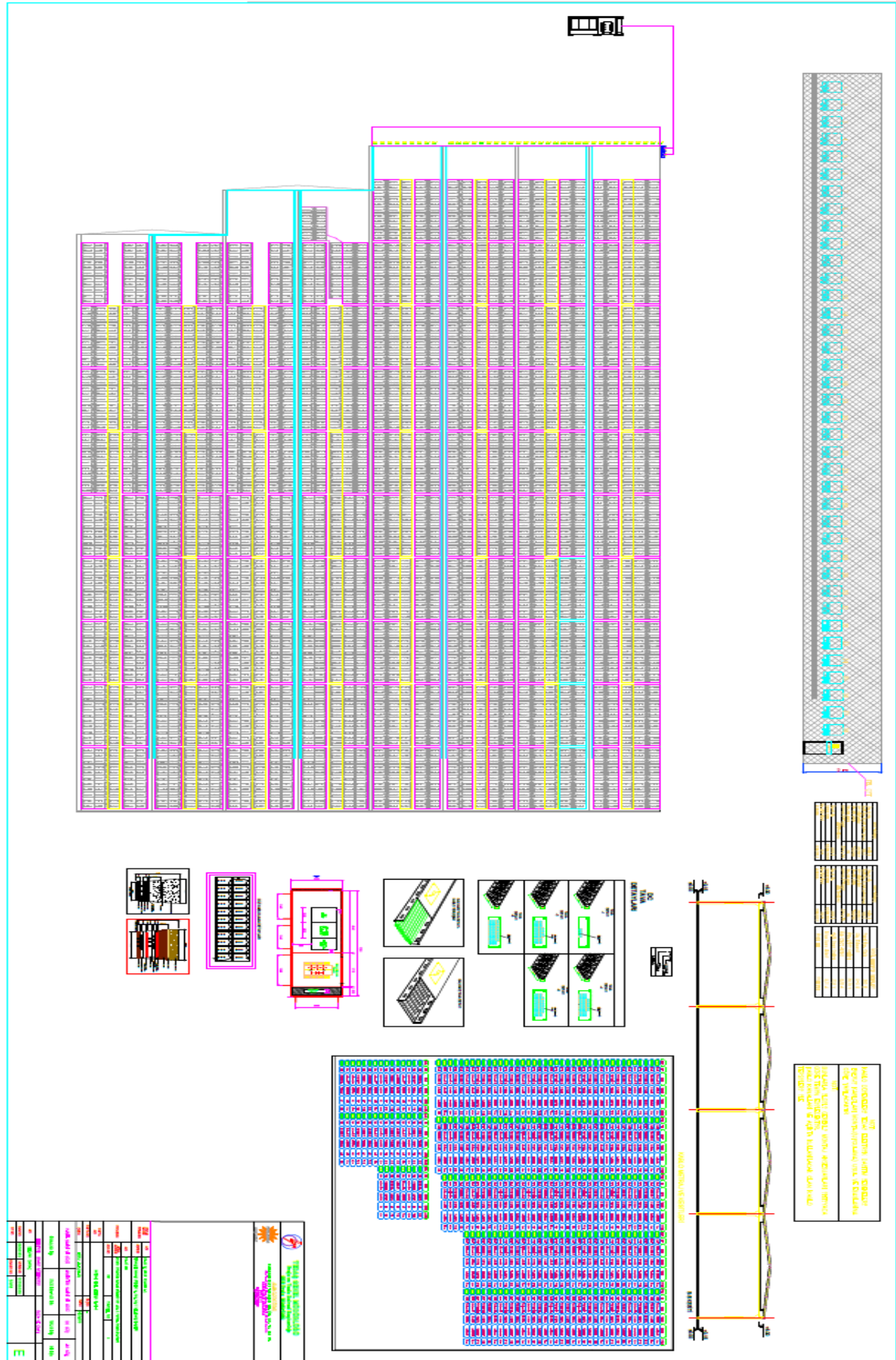
Şekil 4.5. Dorte güneş enerji gerçekleşen değerler

4.1.2. Oylum güneş enerji santrali

Oylum Güneş Enerji Santrali Kayseri ilinin Melikgazi ilçesinde ve 38°33'51.08"Kuzey ve 35°10'1.32"Doğu koordinatlarında yer almaktadır. Santral kurulu güçleri 1081,08 kWp / 945 kWe'dir.



Şekil 4.6. Oylum güneş enerji santrali uydu görüntüsü



Şekil 4.7. Oylum güneş enerji santrali genel yerleşim planı

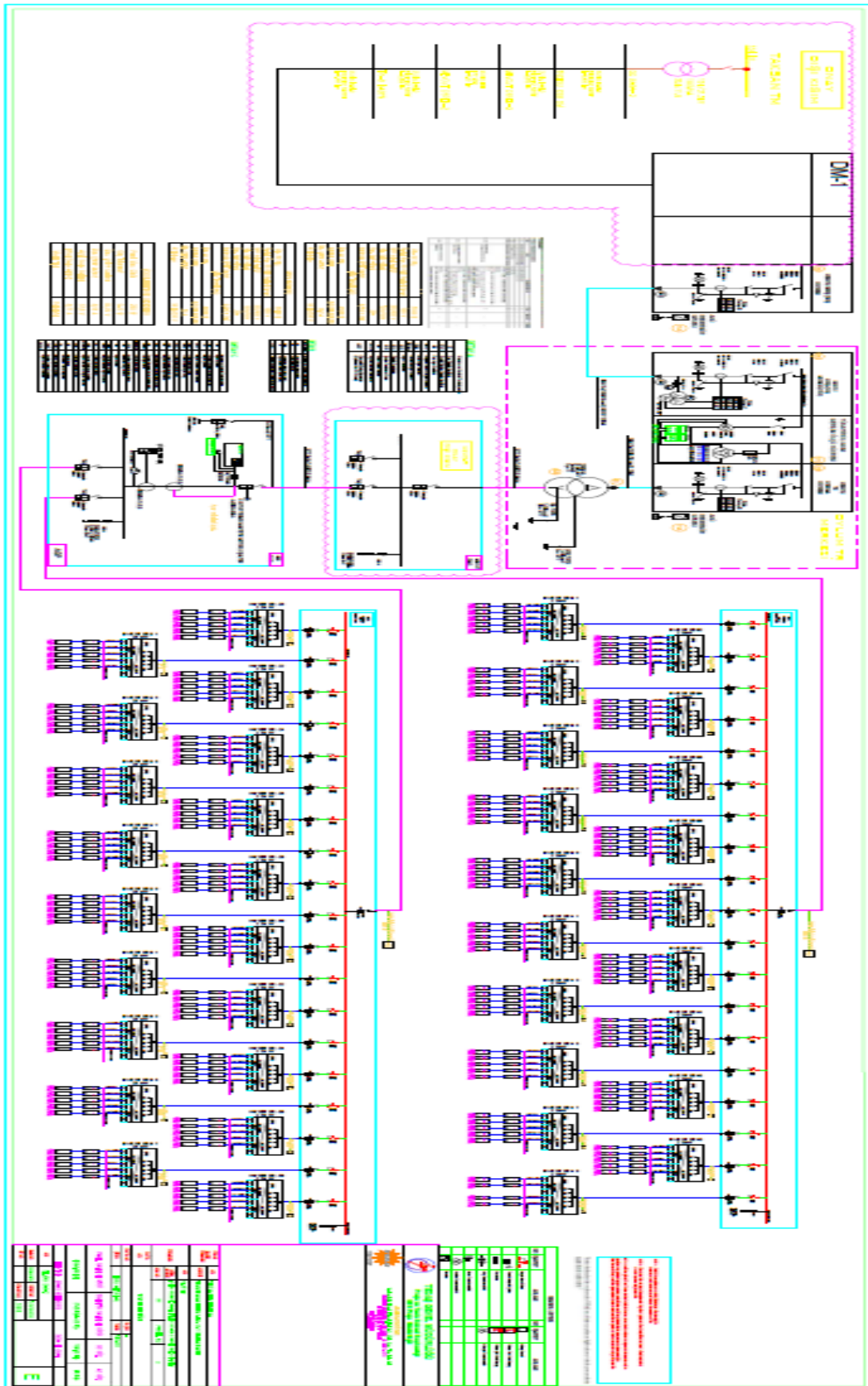
Şekil 4.7’de yer aldığı üzere Oylum Güneş Enerji santralinde çatı eğimi 5° ve iki farklı azimutta panel yerleşimi yer almaktadır. Panellerin azimut değerleri -60° ve 120° dir. Her bir azimut yönünde sırayla 2068 ve 2090 adet panel yer almaktadır. Santrale ait bilgiler Çizelge 4.8 de yer almaktadır.

Çizelge 4.8. Oylum güneş enerji santrali teknik bilgiler çizelgesi

Parametre	Açıklama
İli	Kayseri
İlçesi	Melikgazi
Uygulama Tipi	Çatı
Kullanılan Panel Marka ve Modeli	Jinko Solar JKM260PP-DV
Panel Gücü(Wp)	260
Panel Sayısı	4158
Inverter Marka ve Modeli	SMA SUNNY TRIPOWER 25 kW SMA SUNNY TRIPOWER 20kW
Inverter Gücü (kWe)	25kW/20kW
Inverter Sayısı	38 adet (37+1)
DC Güç (kWp)	1081,08
AC Güç (kWe)	945



Şekil 4.8. Oylum güneş enerji santrali uygulama görseli



Çizelge 4.9. Oylum güneş enerji santrali güç bilgisi

Inverter Numarası	Dizi Sayısı	Dizideki Panel Sayısı	Panel Gücü(Wp)	Invertere Bağlı DC Güç(kWp)
Inverter-1	5	22	260	28,6
Inverter-2	5	22	260	28,6
Inverter-3	5	22	260	28,6
Inverter-4	5	22	260	28,6
Inverter-5	5	22	260	28,6
Inverter-6	5	22	260	28,6
Inverter-7	5	22	260	28,6
Inverter-8	5	22	260	28,6
Inverter-9	5	22	260	28,6
Inverter-10	5	22	260	28,6
Inverter-11	5	22	260	28,6
Inverter-12	5	22	260	28,6
Inverter-13	5	22	260	28,6
Inverter-14	5	22	260	28,6
Inverter-15	5	22	260	28,6
Inverter-16	5	22	260	28,6
Inverter-17	5	22	260	28,6
Inverter-18	5	22	260	28,6
Inverter-19	4	22	260	22,8
Inverter-20	5	22	260	28,6
Inverter-21	5	22	260	28,6
Inverter-22	5	22	260	28,6
Inverter-23	5	22	260	28,6
Inverter-24	5	22	260	28,6
Inverter-25	5	22	260	28,6
Inverter-26	5	22	260	28,6
Inverter-27	5	22	260	28,6
Inverter-28	5	22	260	28,6
Inverter-29	5	22	260	28,6
Inverter-30	5	22	260	28,6
Inverter-31	5	22	260	28,6
Inverter-32	5	22	260	28,6
Inverter-33	5	22	260	28,6
Inverter-34	5	22	260	28,6
Inverter-35	5	22	260	28,6
Inverter-36	5	22	260	28,6
Inverter-37	5	22	260	28,6
Inverter-38	5	22	260	28,6

Şekil 4.9 ve Çizelge 4.9 de yer aldığı üzere Oylum Güneş Enerji Santralinde 37 adet 25kW güce sahip 1 adet 20 kW güce sahip toplam 38 adet string inverter ve 4158 adet 260 Wp gücünde güneş paneli kullanılmıştır. Her stringte 22 adet panel yer almaktadır. Her invertere 5 adet string (5x22=110 adet panel) bağlanmıştır. 25 kW gücündeki invertere bağlı DC Güç 28,6 kWp iken DC/AC oversize oranı 1,144'dir. 20 kW gücündeki invertere bağlı DC Güç 22,88 kWp iken oversize oranı 1,144'dir. Santralde kullanılan Fotovoltaik paneller ile ilgili teknik bilgiler Çizelge 4.10'de, inverter ile ilgili teknik bilgiler ise Çizelge 4.11'de yer almaktadır.

Çizelge 4.10. Oylum güneş enerji santralinde kullanılan panel datasheet verileri

Parametre	Açıklama
Kullanılan Panel Marka ve Modeli	Jıngo Solar JKM260PP-V
Açık Devre Voltajı	38,1 V
Mpp Voltajı	31,1 V
Kısa Devre Akımı	8,37
Mpp Çalışma Akımı	8,98
Güç Toleransı	0+3W
Maksimum Seri Sigorta Değeri	15A
Çalışma Sıcaklığı	(-40)° ile +85°
Boyutlar	1646x992x40 mm
Ağırlık	22,5 kg
Maksimum Güç için Sıcaklık Katsayısı	(-0,40%/°C)
Açık Devre Voltajı için Sıcaklık değeri	(-0,30%/°C)
Kısa Devre Akımı için Sıcaklık değeri	(+0,06%/°C)

Çizelge 4.11. Oylum güneş enerji santralinde kullanılan inverter datasheet verileri

Parametre	Açıklama	
Kullanılan Inverter Marka ve Modeli	SMA Sunny Tripower 20000TL	SMA Sunny Tripower 25000TL
Maksimum Giriş Voltajı	1000V	1000V
MPPT Voltaj Aralığı	320-800V	390-800V
Minimum Başlangıç Voltajı	150V	150V
MPPT Sayısı	2	2
Maksimum Giriş Sayısı	6	6
Nominal AC Güç	20 kW	25 kW
Nominal AC Çıkış Voltajı	400V	400V
Nominal Çıkış Akımı	28,86 A	36,08 A
AC Şebeke Frekansı	50	50
Boyutları	661x682x264 mm	661x682x264 mm
Çalışma Sıcaklığı	(-25°C ile 60°C)	(-25°C ile 60°C)
Koruma Sınıfı	IP65	IP65
Haberleşme Sistemi	SMA Modbus	SMA Modbus

Fotovoltaik Santrallerin kurulum yapıldığı yerde görülen maksimum ve minimum sıcaklık değerleri hem cihazların çalışması hem de üretilecek enerji açısından önemlidir. Çünkü inverterler, üretici firma tarafından belirtilen belirli sıcaklık değerlerinden sonra degradasyona uğrayarak güç düşümü meydana getirmektedir. Ayrıca santralde kullanılan panel, inverter ve kablo çalışma sıcaklığı ortam sıcaklığından yüksek olması gerekmektedir. Çizelge 4.12 de yer aldığı üzere Kayseri ilinde 1939-2021 yılları arasındaki meteorolojik veriler yer almaktadır.

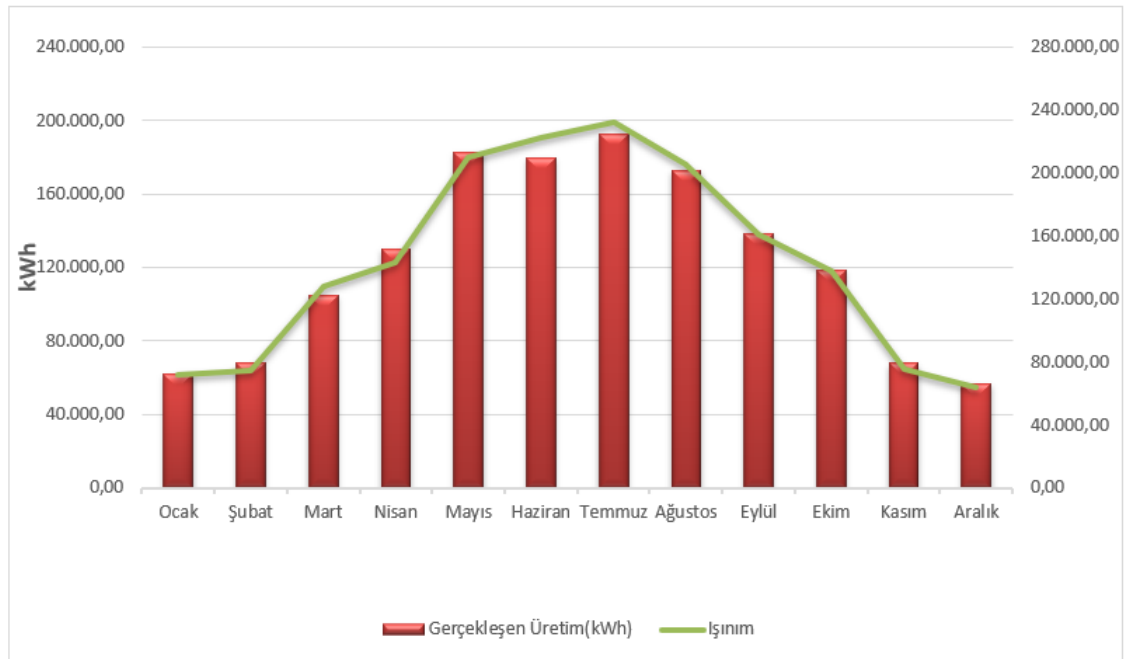
Çizelge 4.12. Kayseri iline ait meteorolojik veriler

KAYSERİ	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ortalama Sıcaklık (°C)	-1.6	0.3	4.9	10.6	15.1	19.0	22.3	22.0	17.4	11.9	5.5	0.7	10.7
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	4.2	6.3	11.5	17.7	22.6	26.9	30.7	30.8	26.6	20.5	13.1	6.5	18.1
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-6.8	-5.1	-1.3	3.2	6.9	9.8	12.1	11.5	7.4	3.6	-0.9	-4.4	3.0
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.0	4.0	4.9	6.2	8.3	10.3	11.9	11.4	9.1	6.7	4.9	2.9	7.0
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	10.38	7.77	11.00	8.85	9.54	8.77	1.23	1.54	2.92	6.77	4.77	8.46	82.0
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	36.2	36.3	43.1	51.3	51.5	40.5	10.5	8.9	14.6	27.5	31.9	37.3	389.6
En Yüksek Sıcaklık (°C)	19.3	22.6	28.6	31.2	34.2	37.6	40.7	40.6	38.4	33.6	26.0	21.0	40.7
En Düşük Sıcaklık (°C)	-32.5	-31.2	-28.1	-11.6	-6.9	-0.6	2.9	1.4	-3.8	-12.2	-20.7	-28.4	-32.5

Çalışma kapsamında, Kayseri’de bulunan Oylum Güneş Enerji Santraline ait Ocak 2021-Aralık 2021 tarihleri arasında santral tarafından üretilen aylık üretilen enerji, spesifik üretim, ısıtım ve performans oranı değerleri Çizelge 4.13 ve Şekil 4.10’da yer almaktadır.

Çizelge 4.13. Oylum güneş enerji gerçekleşen değerler

Ay	Net Üretim(kWh)	Spesifik Üretim(kWh/kWp)	Işınım (Wh)	PR	Gerçekleşen Üretim(kWh)
Ocak	62.048,12	57,39	71.399,76	80,38%	62.048,12
Şubat	67.888,77	62,80	74.358,96	84,45%	67.888,77
Mart	104.854,44	96,99	128.412,48	75,53%	104.854,44
Nisan	130.070,17	120,32	142.897,20	84,20%	130.070,17
Mayıs	183.064,64	169,33	210.030,00	80,62%	183.064,64
Haziran	180.043,03	166,54	222.599,52	74,82%	180.043,03
Temmuz	192.645,36	178,20	231.968,40	76,82%	192.645,36
Ağustos	173.132,85	160,15	205.947,36	77,76%	173.132,85
Eylül	138.446,38	128,06	161.373,84	79,36%	138.446,38
Ekim	118.569,47	109,68	137.580,48	79,72%	118.569,47
Kasım	67.739,90	62,66	75.496,08	83,00%	67.739,90
Aralık	56.683,62	52,43	63.620,88	82,41%	56.683,62
Toplam	1.475.186,75	1.364,55	1.725.684,96	79,07%	1.475.186,75



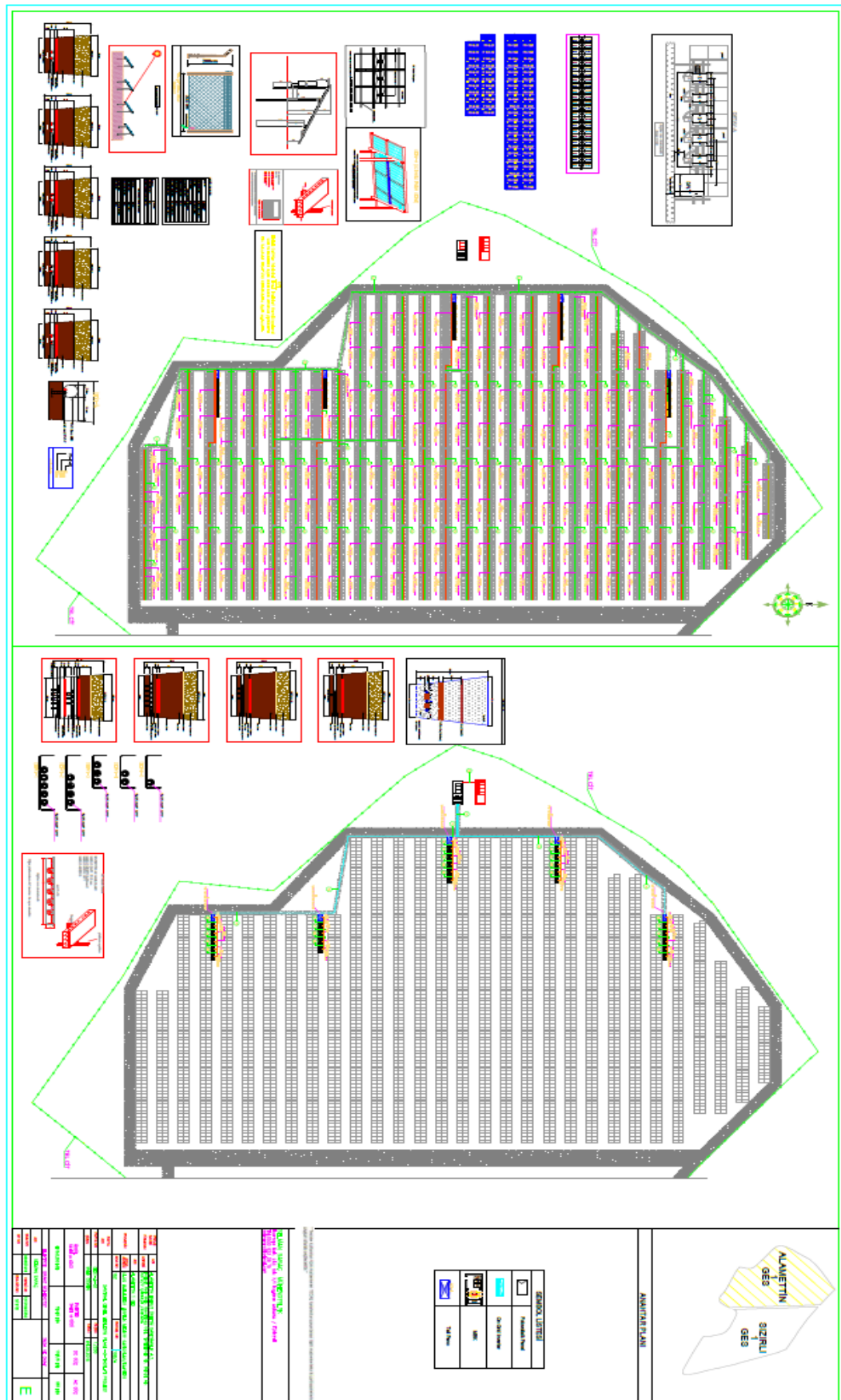
Şekil 4.10. Oylum güneş enerji gerçekleşen değerler

4.1.3. Alamettin-1 güneş enerji santrali

Alamettin-1 Güneş Enerji Santrali Kayseri ilinin Sarıoğlan ilçesinde ve $39^{\circ}15'59.91''$ Kuzey, $35^{\circ}53'41.74''$ Doğu koordinatlarında yer almaktadır. Santral kurulu güçleri 1148,16 kWp / 960 kWe'dir.



Şekil 4.11. Alamettin-1 güneş enerji santrali uydu görüntüsü



Şekil 4.12. Alamettin-1 güneş enerji santrali genel yerleşim planı

Şekil 4.12’de yer aldığı üzere Alamettin-1 Güneş Enerji santralinde panel eğimi 25° ve panel azimut değeri 0° C’dir. Santrale ait bilgiler Çizelge 4.14 de yer almaktadır.

Çizelge 4.14. Alamettin-1 güneş enerji santrali teknik bilgiler çizelgesi

Parametre	Açıklama
İli	Kayseri
İlçesi	Sarıoğlan
Uygulama Tipi	Arazi
Kullanılan Panel Marka ve Modeli	Jinko Solar JKM260PP-DV
Panel Gücü(Wp)	260
Panel Sayısı	4416
Inverter Marka ve Modeli	Refusol 40 kW
Inverter Gücü (kWe)	40 kW
Inverter Sayısı	24 adet
DC Güç (kWp)	1148,16
AC Güç (kWe)	960



Şekil 4.13. Alamettin-1 güneş enerji santrali uygulama görseli

Şekil 4.14. Alamettin-1 güneş enerji santrali tek hat şeması

Çizelge 4.15. Alamettin-1 güneş enerji santrali güç bilgisi

Inverter Numarası	Dizi Sayısı	Dizideki Panel Sayısı	Panel Gücü(Wp)	Invertere Bağlı DC Güç(kWp)
Inverter-1	8	23	260	47,84
Inverter-2	8	23	260	47,84
Inverter-3	8	23	260	47,84
Inverter-4	8	23	260	47,84
Inverter-5	8	23	260	47,84
Inverter-6	8	23	260	47,84
Inverter-7	8	23	260	47,84
Inverter-8	8	23	260	47,84
Inverter-9	8	23	260	47,84
Inverter-10	8	23	260	47,84
Inverter-11	8	23	260	47,84
Inverter-12	8	23	260	47,84
Inverter-13	8	23	260	47,84
Inverter-14	8	23	260	47,84
Inverter-15	8	23	260	47,84
Inverter-16	8	23	260	47,84
Inverter-17	8	23	260	47,84
Inverter-18	8	23	260	47,84
Inverter-19	8	23	260	47,84
Inverter-20	8	23	260	47,84
Inverter-21	8	23	260	47,84
Inverter-22	8	23	260	47,84
Inverter-23	8	23	260	47,84
Inverter-24	8	23	260	47,84

Şekil 4.14 ve Çizelge 4.15 de yer aldığı üzere Alamettin-1 Güneş Enerji Santralinde 24 adet 40 kW güce string inverter ve 4416 adet 260 Wp gücünde güneş paneli kullanılmıştır. Her stringte 23 adet panel yer almaktadır. Her invertere 8 adet string (8x23=184 adet panel) bağlanmıştır. Her bir invertere bağlı DC Güç 47,84 kWp iken DC/AC oversize oranı 1,196'dır. Santralde kullanılan Fotovoltaik paneller ile ilgili teknik bilgiler Çizelge 4.16'de, inverter ile ilgili teknik bilgiler ise Çizelge 4.17'da yer almaktadır.

Çizelge 4.16. Alamettin-1 güneş enerji santralinde kullanılan panel datasheet verileri

Parametre	Açıklama
Kullanılan Panel Marka ve Modeli	Jinko Solar JKM260PP-V
Açık Devre Voltajı	38,1 V
Mpp Voltajı	31,1 V
Kısa Devre Akımı	8,37
Mpp Çalışma Akımı	8,98
Güç Toleransı	0+,%3W
Maksimum Seri Sigorta Değeri	15A
Çalışma Sıcaklığı	(-40)° ile +85°
Boyutlar	1646x992x40 mm
Ağırlık	22,5 kg
Maksimum Güç için Sıcaklık Katsayısı	(-0,40%/°C)
Açık Devre Voltajı için Sıcaklık değeri	(-0,30%/°C)
Kısa Devre Akımı için Sıcaklık değeri	(+0,06%/°C)

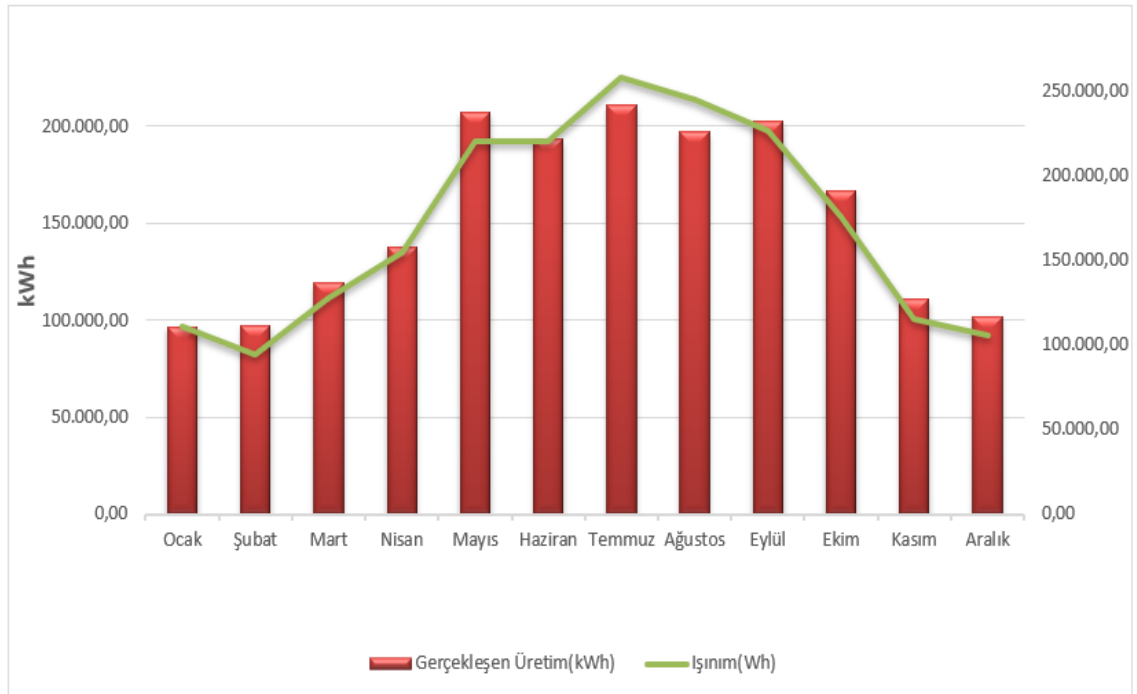
Çizelge 4.17. Alamettin-1 güneş enerji santralinde kullanılan inverter datasheet verileri

Parametre	Açıklama
Kullanılan Inverter Marka ve Modeli	REFUso1 40K
Maksimum Giriş Voltajı	1000V
MPPT Voltaj Aralığı	490-850V
Minimum Başlangıç Voltajı	350V
MPPT Sayısı	1
Nominal AC Güç	40 kW
Nominal AC Çıkış Voltajı	400V
Nominal Çıkış Akımı	57,73A
AC Şebeke Frekansı	50
Boyutları	760x820x300 mm
Çalışma Sıcaklığı	(-25°C ile 55°C)
Koruma Sınıfı	IP65
Haberleşme Sistemi	RS485

Çalışma kapsamında, Kayseri’de bulunan Alamettin-1 Güneş Enerji Santraline ait Haziran 2021-Mayıs 2022 tarihleri arasında santral tarafından üretilen aylık üretilen enerji, spesifik üretim, ısıtım ve performans oranı değerleri Çizelge 4.18 ve Şekil 4.15’de yer almaktadır.

Çizelge 4.18. Alametlin-1 güneş enerji gerçekleşen değerler

Ay	Net Üretim(kWh)	Spesifik Üretim(kWh/kWp)	Işınım (Wh)	PR	Gerçekleşen Üretim(kWh)
Ocak	96.506,55	84,05	111.170,00	75,61%	96.506,55
Şubat	97.326,96	84,77	94.485,00	89,72%	97.326,96
Mart	119.013,93	103,66	127.641,70	81,21%	119.013,93
Nisan	137.803,36	120,02	155.046,30	77,41%	137.803,36
Mayıs	207.119,90	180,39	219.988,60	82,00%	207.119,90
Haziran	193.214,38	168,28	220.209,20	76,42%	193.214,38
Temmuz	210.754,69	183,56	257.622,65	71,25%	210.754,69
Ağustos	197.222,91	171,77	244.945,75	70,13%	197.222,91
Eylül	202.548,62	176,41	226.659,75	77,83%	202.548,62
Ekim	166.484,75	145,00	175.722,10	82,52%	166.484,75
Kasım	110.849,76	96,55	115.074,30	83,90%	110.849,76
Aralık	101.942,19	88,79	105.785,80	83,93%	101.942,19
Toplam	1.840.788,00	1.603,25	2.054.351,15	78,04%	1.840.788,00



Şekil 4.15. Alametlin-1 güneş enerji gerçekleşen değerler

4.2. Karşılaştırma Yapılan GES Simülasyonları

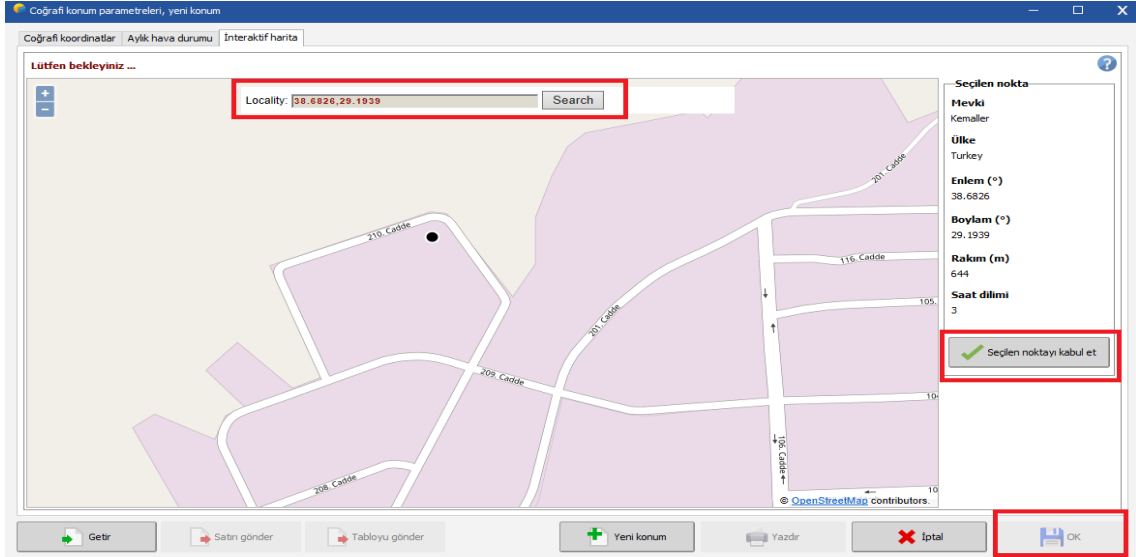
Tezin bu bölümünde fotovoltaik santrallerin onaylı elektrik projeleri (genel yerleşim planı, tek hat şeması) üzerinden santral tasarımları yapılarak, simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan simülasyon sonuçlarında en önemli rolü oynayan unsurlardan biri meteorolojik veritabanlarıdır. Pvsyst yazılımında Meteonorm, Nasa ve PVGIS olmak üzere üç farklı meteorolojik veritabanı yer almaktadır. Pvsyst programında üç veritabanı ayrı ayrı kullanılarak her santral için üç simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. PVSOL yazılımında ise veritabanı olarak Meteonorm yer almaktadır. İki program arasında doğru bir karşılaştırma yapılabilmesi için aynı veritabanının kullanıldığı simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. PVGIS kendi veri tabanını kullanmaktadır. Farklı bir veritabanını kullanmaya imkan tanımamaktadır. Bu nedenle PVGIS ile Pvsyst yazılımlarının sonuçlarının karşılaştırılmasında Pvsyst’de PVGIS meteorolojik veritabanıyla yapılan simülasyonlar sonuçları karşılaştırılarak ölçülmeye çalışılmıştır.

Pvsyst ve PVSOL yazılımları sistem kayıpları ile ilgili detaylı bilgi girişine imkan tanıdığından bu programlarda sistem kayıpları ayrıntılı olarak simülasyona eklenmiştir. PVGIS yazılımında detaylı bir kayıp diyagramı olmadığından dolayı Pvsyst programında PVGIS veritabanı kullanılarak yapılan simülasyon çalışmaları sonucu elde edilen toplam sistem kaybı, PVGIS yazılımında elde edilmeye çalışılarak karşılaştırma yapılmaya çalışılmıştır.

4.2.1. Pvsyst simülasyonları

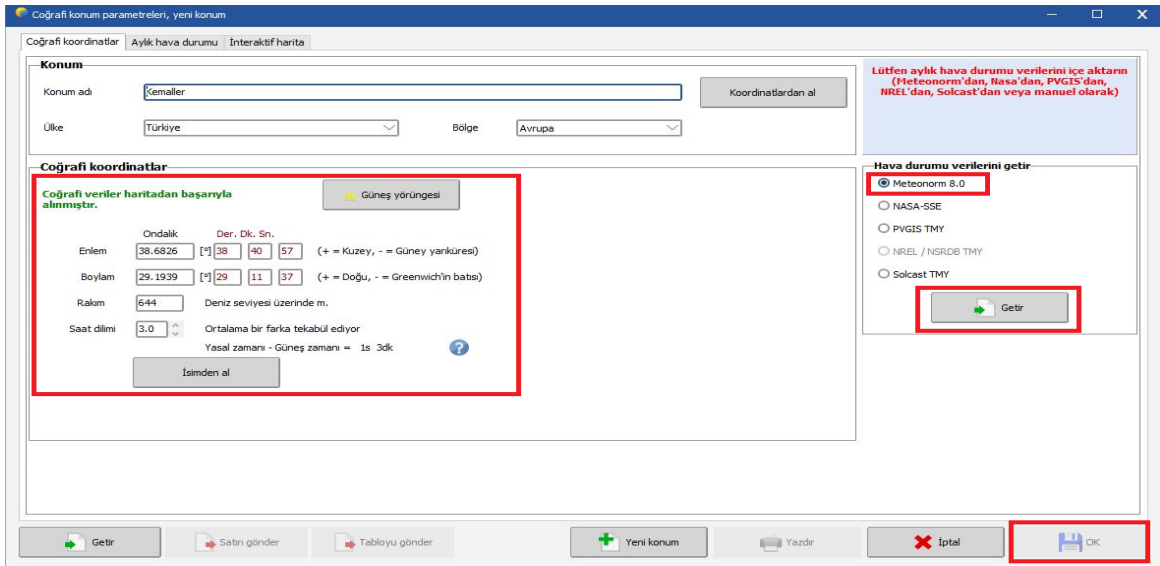
4.2.1.1. Dorte güneş enerji santrali pvsyst simülasyonları

Güneş enerji santrali kurulumu yapılacak tesisin Şekil 4.16’da konumu manuel veya enlem-boylam verileri girilerek santral lokasyonu simülasyon programında tanımlanır.



Şekil 4.16. Dorte güneş enerji santrali pvsyst'ten konumunun seçilmesi

Şekil 4.17'de yer aldığı üzere Çevrimiçi haritadan konum bilgisi girişi yapıldıktan sonra konum adı yazılır. Coğrafi koordinatların olduğu bölümde konum enlemi, boylamı, yükseltisi ve saat dilimi program tarafından belirlenmiştir. Programın sağ tarafında hangi meteorolojik veritabanı kullanılacağı seçilir. Pvsyst yazılımı ile PVSOL yazılımının sonuçları arasında karşılaştırma yapmak için Meteonorm, PVGIS yazılımı ile karşılaştırmak için PVGIS meteorolojik veritabanı seçilmiştir.



Şekil 4.17. Dorte güneş enerji santrali meteonorm veri tabanı seçimi

Konum

Konum adı: Koordinatlardan al

Ülke: Bölge:

Coğrafi koordinatlar

Güneş yörüngesi

Enlem: Der. Dk. Sn. (+ = Kuzey, - = Güney yarıküresi)

Boylam: (+ = Doğu, - = Greenwich'in batısı)

Rakım: Deniz seviyesi üzerinde m.

Saat dilimi: Ortalama bir farka tekabül ediyor

Yasal zamanı - Güneş zamanı = 1s 3dk

İsmiden al

Hava durumu verilerini getir

☐ Meteonorm 8.0

☐ NASA-SSE

☒ PVGIS TMY

☐ NREL / NSRDB TMY

☐ Solcast TMY

Getir

Getir Satın gönder Tabloyu gönder Yeni konum Yazdır İptal OK

Şekil 4.18. Dorte güneş enerji santrali pvgis veri tabanı seçimi

Konum

Konum adı: Koordinatlardan al

Ülke: Bölge:

Coğrafi koordinatlar

Güneş yörüngesi

Enlem: Der. Dk. Sn. (+ = Kuzey, - = Güney yarıküresi)

Boylam: (+ = Doğu, - = Greenwich'in batısı)

Rakım: Deniz seviyesi üzerinde m.

Saat dilimi: Ortalama bir farka tekabül ediyor

Yasal zamanı - Güneş zamanı = 1s 3dk

İsmiden al

Hava durumu verilerini getir

☐ Meteonorm 8.0

☒ NASA-SSE

☐ PVGIS TMY

☐ NREL / NSRDB TMY

☐ Solcast TMY

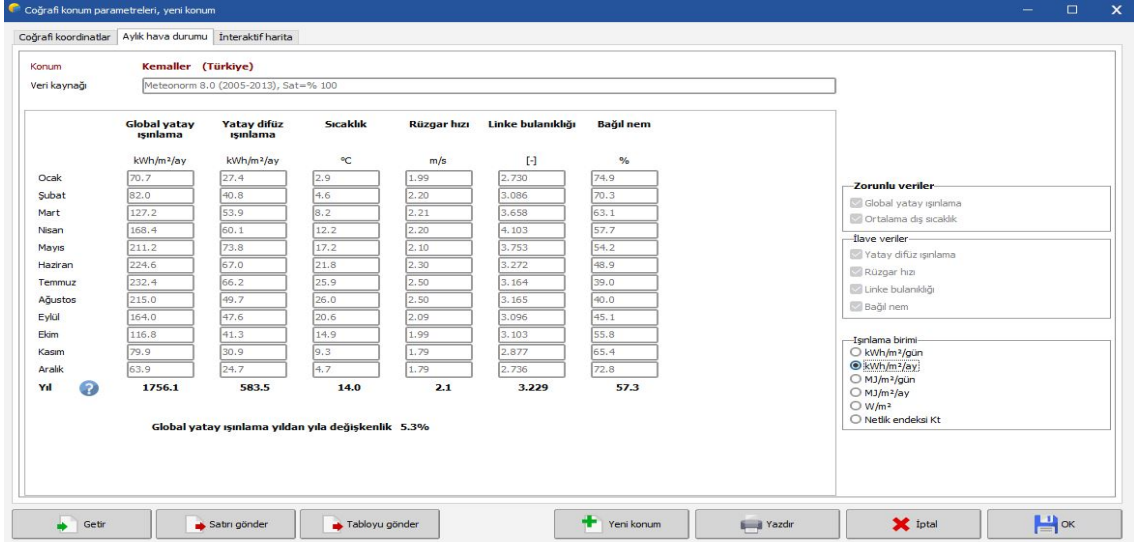
Getir

Getir Satın gönder Tabloyu gönder Yeni konum Yazdır İptal OK

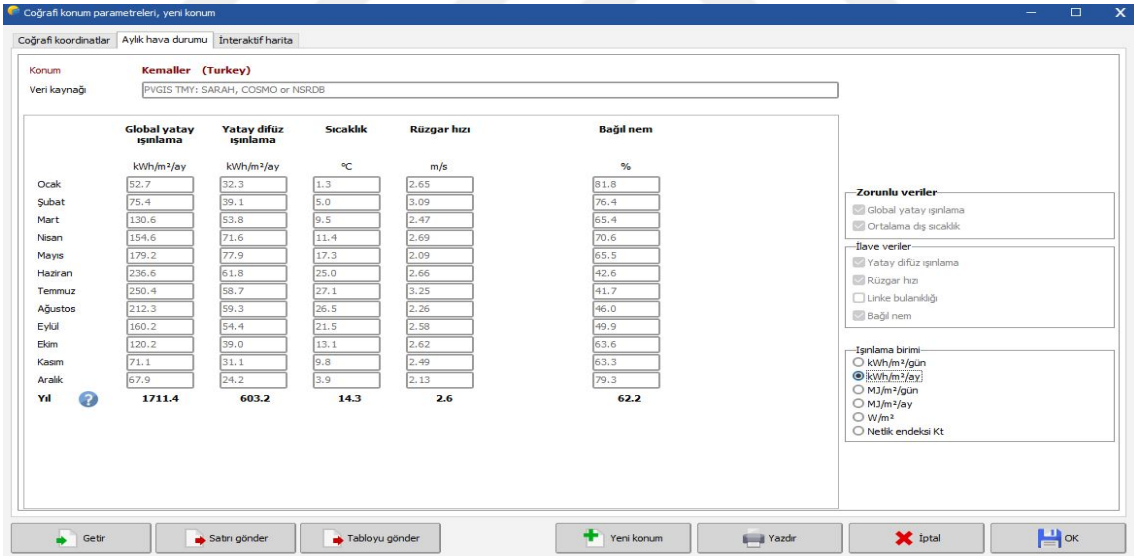
Şekil 4.19. Dorte güneş enerji santrali NASA veri tabanı seçimi

Meteonorm 8.0 santralin yer aldığı konumdaki 2005-2013 yıllarında ortalama aldığı meteoroloji verileri, NASA 1983-2005 yılları arasında aylara göre ortalama değerleri veri tablosu oluşturmuştur. Şekil 4.20, Şekil 4.21 ve Şekil 4.22’de yer aldığı üzere Meteonorm ve PVGIS veri tabanları ile global yatay ışıma, yatay difüz ışınlama,

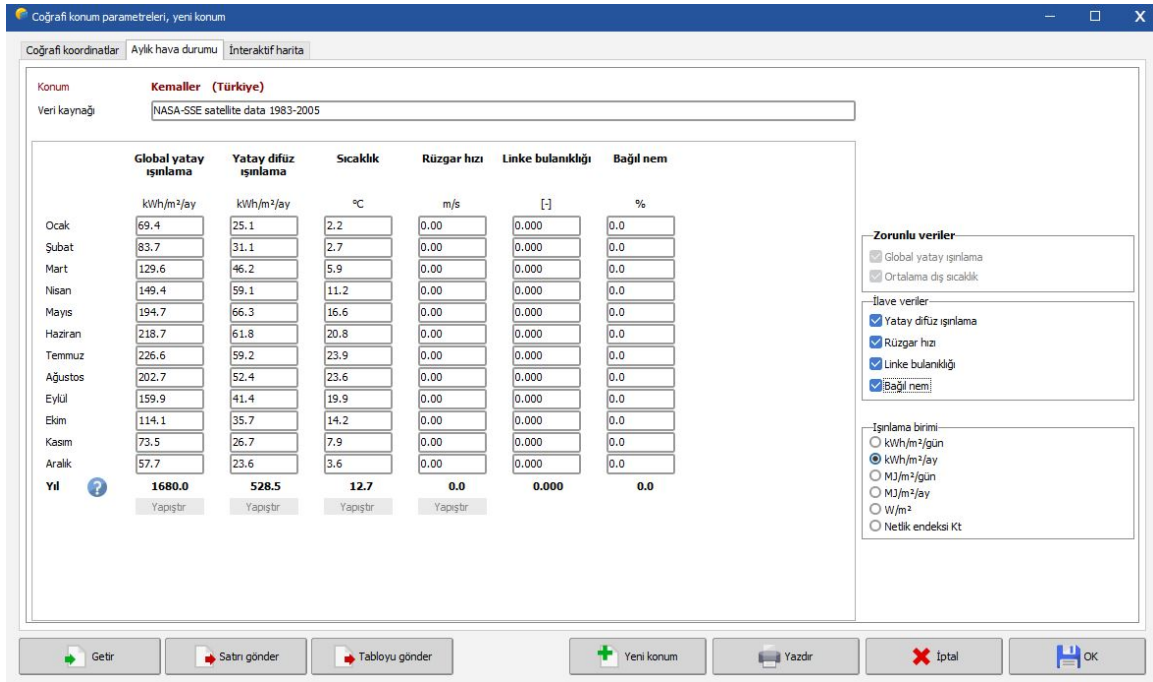
sıcaklık, rüzgar hızı, bağıl nem değerleri alınabilirken NASA veritabanında rüzgar hızı ve bağıl nem değerleri alınamamaktadır.



Şekil 4.20. Dorte güneş enerji santrali meteonorm aylık meteorolojik veriler

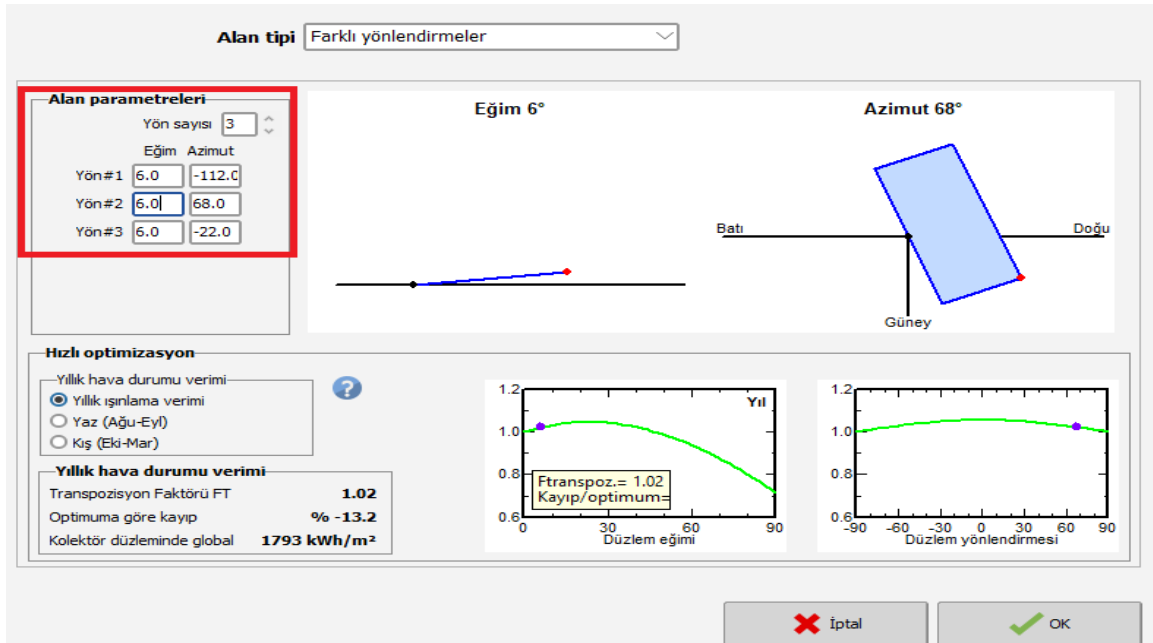


Şekil 4.21. Dorte güneş enerji santrali pvgis aylık meteorolojik veriler



Şekil 4.22. Dorte Güneş enerji santrali NASA aylık meteorolojik veriler

Pvsyst yazılımında santralde panel yerleşiminin bulunduğu yönlerin azimut açısı değerleri ve panel eğimi Şekil 4.23’de ki gibi belirtilir.



Şekil 4.23. Dorte güneş enerji santrali yönlendirme ekranı

Sistem seçiminde tesiste kullanılan panel, inverter marka ve güçleri, her azimut yönünde bulunan string sayıları tanımlanır (Şekil 4.24, Şekil 4.25, Şekil 4.26).

Alt alan

Alt dizinin ismi ve yönü
İsim: Alt alan #1
Yön: Karşık #1 ve #2
Sıra: 1
Eğim: 6° / 6°
Azimut: -112° / 68°

Ön boyutlandırma yardımı
Boyutlandırılmaz
Planlanan gücü giriniz: 0.0 kWp
... veya mevcut alan(modül): 0 m²

PV modül seçimi
Mevcut: Filtre: Tüm PV modüller
Phono Solar: 380 Wp 33V Si-mono PS380M-24/T -perc 2013 yılından beri Manufacturer 2018
Optimizör kullan: ☐

Gerilim boyutlama: Vmpp (60°C) 34.3 V
Voc (-10°C) 53.8 V

İnvertör seçimi
Mevcut: Çıkış gerilimi 400 V Tr 50Hz
Huawei Technologies: 100 kW 200 - 1000 V TL 50/60 Hz SUN2000-100KTL-M1-400Vac 2021 yılından beri
İnvertör sayısı: 6
Çalışma gerilimi: 200-1000 V İnvertör global gücü: 600 kWac
Multi-MPPT kullanımı: ☒ Maksimum giriş gerilimi: 1100 V 10 MPPT ile invertör

Dizi boyutlandırması
Modül ve zincir sayısı
Seri mod. sayısı: 18 6 ile 18 arasında
Zincir sayısı: 108
Aşırı yük kaybı: 0.0 %
Nom. güç oranı: 1.23
Boyutlandırma

İşletme koşulları
Vmpp (60°C) 617 V
Vmpp (20°C) 735 V
Voc (-10°C) 968 V
Yüzey ışınlm: 1000 W/m²
İmpp (STC) 1030 A
Isc (STC) 1083 A
Isc (STC'de) 1083 A

Alan nominal gücü (STC) 739 kWp

Alt alanlar listesi

İsim	#Mod #Inv.	#Zincir #MPPT
Alt alan #1		
Phono Solar - PS380M-24/T_p...	18	108
Huawei Technologies - SUN200...	6	1
Alt alan #2		
Phono Solar - PS380M-24/T_p...	18	14
Huawei Technologies - SUN200...	1	8
Alt alan #3		
Phono Solar - PS380M-24/T_p...	18	4
Huawei Technologies - SUN200...	1	2

Global sistem özeti

Panel sayısı	2268
Panel yüzeyi	4401 m²
İnvertör sayısı	7
PV nominal gücü	862 kWp
Maksimum PV gücü	782 kWDC
Nominal AC gücü	700 kWAC
Nom. güç oranı	1.231

Sistem özeti

Basit taslak İptal OK

Şekil 4.24. Dorte güneş enerji santrali sistem tasarım ekranı-1

Alt alan

Alt dizinin ismi ve yönü
İsim: Alt alan #2
Yön: Karşık #1 ve #2
Sıra: 2
Eğim: 6° / 6°
Azimut: -112° / 68°

Ön boyutlandırma yardımı
Boyutlandırılmaz
Planlanan gücü giriniz: 0.0 kWp
... veya mevcut alan(modül): 0 m²

PV modül seçimi
Mevcut: Filtre: Tüm PV modüller
Phono Solar: 380 Wp 33V Si-mono PS380M-24/T -perc 2013 yılından beri Manufacturer 2018
Optimizör kullan: ☐

Gerilim boyutlama: Vmpp (60°C) 34.3 V
Voc (-10°C) 53.8 V

İnvertör seçimi
Mevcut: Çıkış gerilimi 400 V Tr 50Hz
Huawei Technologies: 100 kW 200 - 1000 V TL 50/60 Hz SUN2000-100KTL-M1-400Vac 2021 yılından beri
MPPT giriş sayısı: 8
Çalışma gerilimi: 200-1000 V Kullanılan invertör gücü: 80.0 kWac
Multi-MPPT kullanımı: ☒ Maksimum giriş gerilimi: 1100 V 10 MPPT ile invertör

Dizi boyutlandırması
Modül ve zincir sayısı
Seri mod. sayısı: 18 6 ile 18 arasında
Zincir sayısı: 14
Aşırı yük kaybı: 0.0 %
Nom. güç oranı: 1.20
Boyutlandırma

İşletme koşulları
Vmpp (60°C) 617 V
Vmpp (20°C) 735 V
Voc (-10°C) 968 V
Yüzey ışınlm: 1000 W/m²
İmpp (STC) 134 A
Isc (STC) 140 A
Isc (STC'de) 140 A

Dizi 8 MPPT girişleri'ne dağılacak 14 zincir'ye sahiptir

Alan nominal gücü (STC) 95.8 kWp

Alt alanlar listesi

İsim	#Mod #Inv.	#Zincir #MPPT
Alt alan #1		
Phono Solar - PS380M-24/T_p...	18	108
Huawei Technologies - SUN200...	6	1
Alt alan #2		
Phono Solar - PS380M-24/T_p...	18	14
Huawei Technologies - SUN200...	1	8
Alt alan #3		
Phono Solar - PS380M-24/T_p...	18	4
Huawei Technologies - SUN200...	1	2

Global sistem özeti

Panel sayısı	2268
Panel yüzeyi	1746 m²
İnvertör sayısı	7
PV nominal gücü	862 kWp
Maksimum PV gücü	782 kWDC
Nominal AC gücü	700 kWAC
Nom. güç oranı	1.231

Sistem özeti

Basit taslak İptal OK

Şekil 4.25. Dorte güneş enerji santrali sistem tasarım ekranı-2

Alt alan

Alt dizinin ismi ve yönü
İsim: Alt alan #3 Sıra: 3 Eğim: 6° Yön: Yönlendirme #3 Azimut: -22°

Ön boyutlandırma yardımı
Boyutlandırmasız Planlanan gücü giriniz: 0.0 kWp ... veya mevcut alan(modül): 0 m²

PV modül seçimi
Mevcut: Filtre: Tüm PV modüller
Phono Solar 380 Wp 33V Si-mono PS380M-24/T -perc 2013 yılından beri Manufacturer 2018 Q Aç
☐ Optimizer kullan
Gerilim boyutlama: Vmpp (60°C) 34.3 V Voc (-10°C) 53.8 V

İnvertör seçimi
Mevcut: Çıkış gerilimi 400 V Tri 50Hz 50 Hz 60 Hz
Huawei Technologies 100 kW 200 - 1000 V TL 50/60 Hz SUN2000-100KTL-M1-400Vac 2021 yılından beri Q Aç
MPPT giriş sayısı: 2 Çalışma gerilimi: 200-1000 V Kullanılan invertör gücü: 20.0 kWac Güç paylaşımı
☒ Multi-MPPT kullanımı Maksimum giriş gerilimi: 1100 V 10 MPPT ile invertör

Dizi boyutlandırması
Modül ve zincir sayısı
Seri mod. sayısı: 18 6 ile 18 arasında ?
Zincir sayısı: 4
Aşın yük kaybı: 0.2 %
Nom. güç oranı: 1.37 Boyutlandırma ?
Panel sayısı: 72 Yüzey: 140 m²

İşletme koşulları
Vmpp (60°C) 617 V Vmpp (20°C) 735 V Voc (-10°C) 968 V
Yüzey ışınm: 1000 W/m² İmpp (STC) 38.1 A İsc (STC) 40.1 A
Maksimum işletme gücü (1000 W/m² ışınm ve 50°C) 24.7 kW
Alan nominal gücü (STC) 27.4 kWp

Alt alanlar listesi

İsim	#Mod #Inv.	#Zincir #MPPT
Alt alan #1		
Phono Solar - PS380M-24/T_p...	18	108
Huawei Technologies - SUN200...	6	1
Alt alan #2		
Phono Solar - PS380M-24/T_p...	18	14
Huawei Technologies - SUN200...	1	8
Alt alan #3		
Phono Solar - PS380M-24/T_p...	18	4
Huawei Technologies - SUN200...	1	2

Global sistem özeti

Panel sayısı	2268
Panel yüzeyi	1607 m²
İnvertör sayısı	7
PV nominal gücü	862 kWp
Maksimum PV gücü	807 kWDC
Nominal AC gücü	700 kWAC
Nom. güç oranı	1.231

Sistem özeti Basit taslak İptal OK

Şekil 4.26. Dorte güneş enerji santrali sistem tasarım ekranı-3

Termal parametreler tüm sistem için tanımlanır

Termal parametre Omik kayıplar Modüllerin kalitesi - LID - Uyumsuzluk Kirlenme kaybı IAM kayıplar Yardımcılar Yaşlanma Kullanılabilirlik Spektral düzeltme

Alan termal kayıp faktörünü veya standart NOCT katsayısını tanımlayabilirsiniz: program dengeli verir!

Alan termal kayıp faktörü

Termal kayıp faktörü $U = U_c + U_v \cdot \text{Rüzgar hızı}$
Sabit kayıp faktörü U_c : 20.0 W/m²K
Rüzgar kayıp faktörü U_v : 0.0 W/m²K m/s

Yapıya göre varsayılan değer

☐ Hava sirkülasyonlu "Serbest" modüller
☒ Arka hava kanallı yarı entegre
☐ Arka yalıtımlı entegre

NOCT eşdeğer faktörü

NOCT (Çalışan hücrenin nominal sıcaklığı) genellikle modülün kendisi için üreticiler tarafından belirlenir. İşletim dizisine uygulandığında bir anlam ifade etmeyen, U-değeri tanımına alternatif bir bilgidir.

NOCT yaklaşımını kullanmayınız. Diziye uygulandığında karşılık getirir !

NOCT'u yine de göster

Kayıp grafiği İptal OK

Şekil 4.27. Termal kayıpların tanımlanması

Şekil 4.28'de yer aldığı üzere ortalama DC gerilim düşümü değeri, inverter ile GES AGP arasında kullanılan kablo türü (Bakır/Alüminyum), kablo kesiti ve ortalama metraj değerleri girilerek kablo kayıpları tanımlanır. Paneller ile inverter arasında enerji taşımada kullanılan DC kablolarında gerilim düşümü meydana gelmektedir ve bu değer

ortalama %1,5 olarak tanımlanmıştır. Paneller etrafında bulunan baca, parapet vb. engellerden kaynaklı panel yüzeyine gölge düşmesi durumunda panel junction box içerisinde bulunan bypass diyotlar devreye girerek gölge düşen bölümü devre dışı bırakır. Bu esnada 0,7 V'luk diyot gerilimi düşümü meydana gelir. Santrale ait tek hat şemasında yer aldığı üzere inverter ile GES AGP arasında 3x1x95 mm² kesitinde bakır kablo kullanıldığı ve ortalama metrajın 11 metre olduğu Şekil 4.28'de yer aldığı gibi tanımlanmaktadır.

Şekil 4.28. Dc ve ac kablo gerilim düşümü tanımlaması

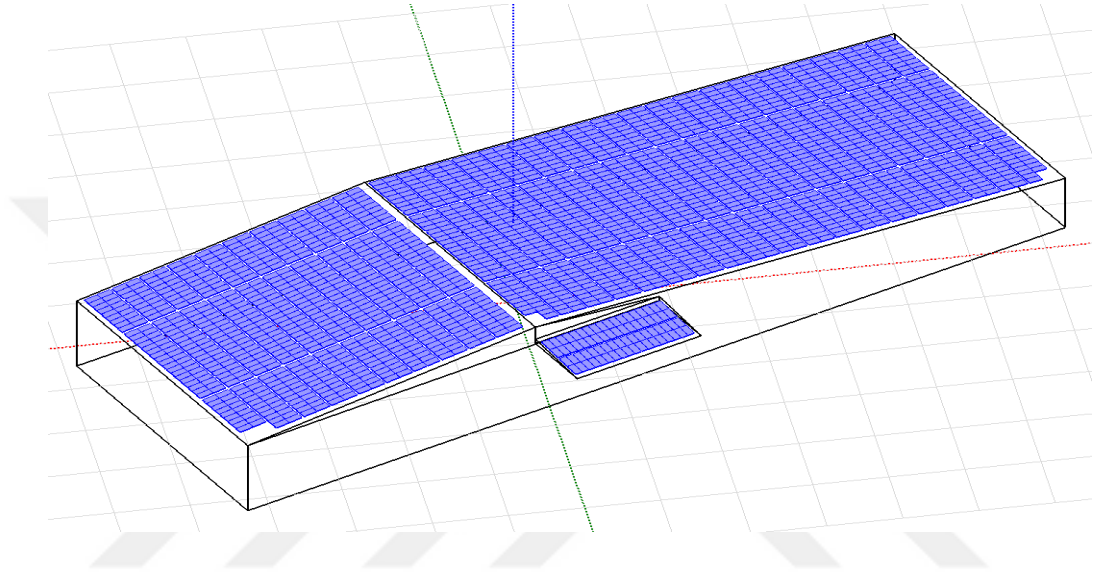
Stringde yer alan panellerin birbirleri arasındaki gerilim, akım vb nedenlerden kaynaklı meydana gelen uyumsuzluk kayıpları %1, panelin ilk güneş ışığına maruz kaldığı anda meydana gelen LID kayıpları panel datasheet verisinden bakılarak %3 olarak tanımlanmıştır (Şekil 4.29).

Şekil 4.29. Dorte güneş enerji santrali lıd, mistmach kayıplarının tanımlanması

Fotovoltaik santralde yer alan paneller etrafında bulunan bacalar, kuş pisliği, egzoz gazları vb çevresel etkenler panel yüzeyine ulaşan ışınlm miktarını etkilemektedir. Işınlm miktarının azalması, santralden elde edilecek enerji miktarında düşmesine neden olmaktadır. Bunun etkisi yazılım üzerinde yıllık %3 olarak tanımlanmıştır (Şekil 4.30).

Şekil 4.30. Dorte güneş enerji santrali kirlenme kayıplarının tanımlanması

Fotovoltaik sistemlerde herhangi bir panel yada panel grubunun üzerine gölge gelmesi durumunda panel ve string çıkış elektriksel parametrelerinde azalma meydana gelir. Bu durum üretilen enerji miktarını önemli ölçüde etkilemektedir. Gölgelemenin kaynaklı meydana gelecek kaybın belirlenmesi için Şekil 4.31’de yer aldığı gibi fotovoltaik paneller ve gölgeleme meydana getirebilecek unsurların çizimi gerçekleştirilmelidir.



Şekil 4.31. Dorte güneş enerji santrali pvsyst 3d gölgeleme sahnesi

Simülasyon programındaki tüm veriler ve kayıplar tanımlandıktan sonra program tarafından gerekli hesaplamalar yapılarak santrale ait aylık, yıllık üretim ve performans oranı değerleri, santralde meydana gelecek kayıplar rapor olarak sunulmaktadır.

4.2.1.1.1. Meteonorm veri tabanına göre simülasyon sonuçları

Sistem üretim analizi Pvsyst programı tarafından gerçekleştirildiğinde simülasyon sonuçlarından parametreler değerlendirilmiştir. İlk parametre, 861,84 kWp fotovoltaik sistemden yıllık olarak üretilen enerji, 1204,1 MWh/yıl olarak üretilen toplam enerji miktarıdır. Meteonorm veri tabanına göre Uşak ili için yatay düzlemde yıllık küresel ışıınım değeri Şekil 4.32’de yer aldığı gibi 1756,1 kWh/m²’dir. Optik

düzeltilmeler olmadan toplayıcıda yıllık bazda küresel yüzey ışıınımı ve optik kayıplardan sonra etkin küresel ışıınım, 1746,7 kWh/m² ve 1627,7 kWh/m²'dir. Bu etkili ışıınımla birlikte, FV dizisinden üretilen yıllık toplam DC enerji ve şebekeye aktarılan yıllık toplam AC enerji sırasıyla 1238,8 MWh ve 1204,1 MWh'dir. Santral performans oranı %80 olarak hesaplanmıştır. Şebekeye aktarılan maksimum aylık enerji 152. 0 MWh ile Temmuz ayında gerçekleşeceği görölmektedir.

Bilanço ve genel sonuçlar

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR oran
Ocak	70.7	27.45	2.92	69.7	62.9	52.4	51.4	0.856
Şubat	82.0	40.81	4.58	81.1	74.4	61.6	60.5	0.865
Mart	127.2	53.88	8.21	126.0	117.1	93.8	92.1	0.848
Nisan	168.4	60.10	12.22	167.7	157.1	122.3	117.7	0.814
Mayıs	211.2	73.83	17.21	211.0	198.5	149.9	144.7	0.796
Haziran	224.6	66.98	21.75	224.7	211.6	155.5	150.2	0.776
Temmuz	232.4	66.16	25.93	231.9	218.5	157.1	152.0	0.760
Ağustos	215.0	49.75	25.96	214.1	201.5	144.8	139.3	0.755
Eylül	164.0	47.65	20.62	163.1	152.1	113.8	111.8	0.795
Ekim	116.8	41.26	14.92	115.6	106.6	83.2	81.8	0.821
Kasım	79.9	30.89	9.30	78.9	71.4	57.8	56.8	0.836
Aralık	63.9	24.74	4.73	63.0	56.2	46.7	45.9	0.845
Yıl	1756.1	583.49	14.09	1746.7	1627.7	1238.8	1204.1	0.800

Açıklama

GlobHor Global yatay ışıınlama

DiffHor Yatay difüz ışıınlama

T_Amb Çevre sıcaklığı

GlobInc Kolektöre yansıyan global

GlobEff IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global

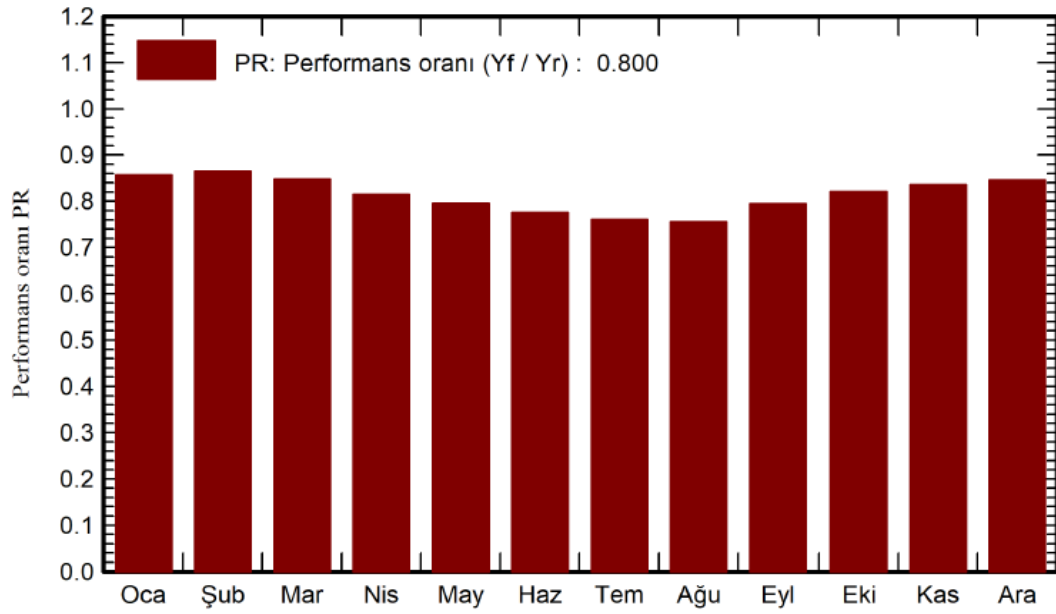
EArray Dizinin çıkışında etkin enerji

E_Grid Şebekeye enjekte edilen enerji

PR Performans oranı

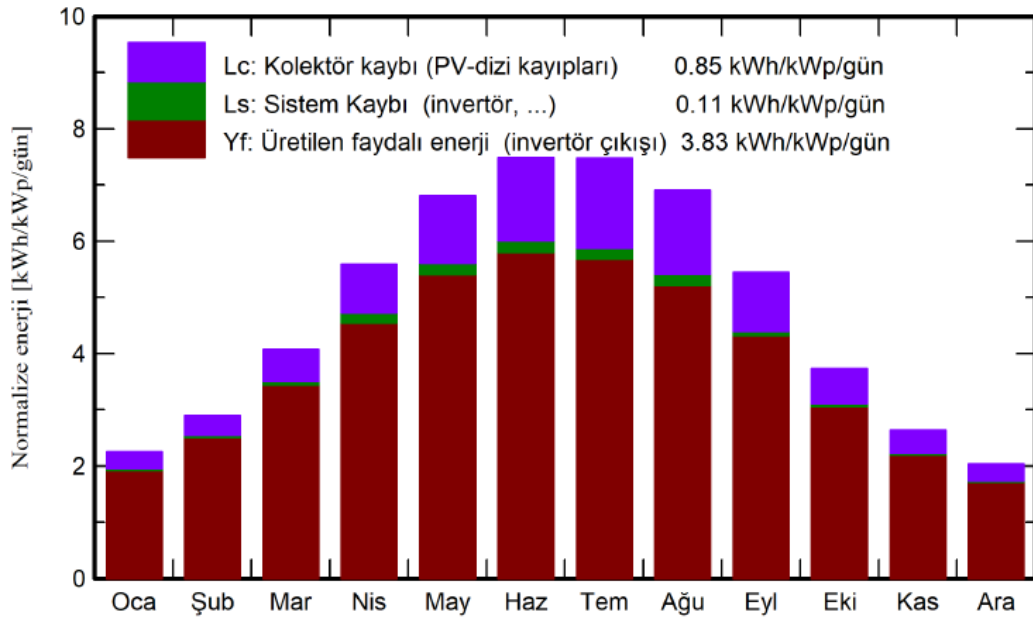
Şekil 4.32. Santralin aylık üretim değerleri

Şekil 4.33'de yer aldığı gibi ikinci parametre olan performans oranı %80'dir. Aylık olarak belirtilmiştir. Üçüncü parametre spesifik verim ise 1397 kWh/kWp/yıl'dır.



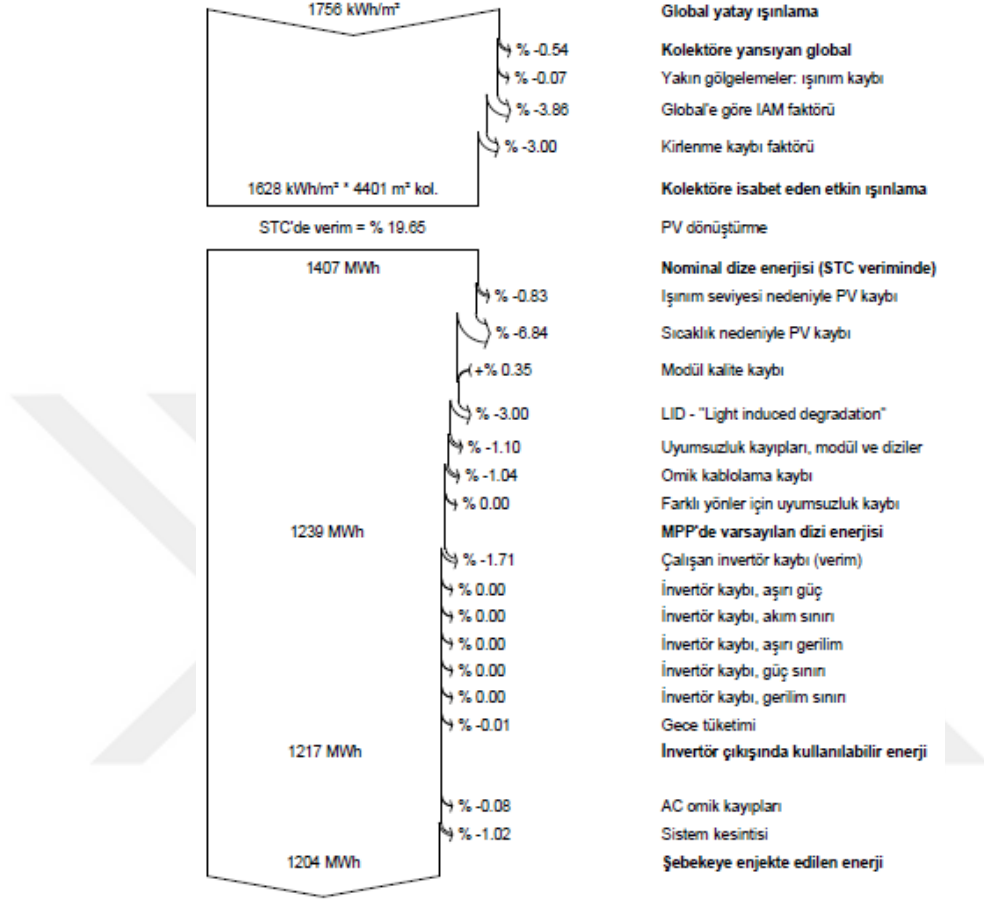
Şekil 4.33. Aylara göre performans oranı grafikleri

Şekil 4.34’de ise L_c 0.85 kWh/kWp/gün, toplama kayıpları veya FV dizi yakalama kayıplarıdır . L_s , sistem evirici kaybıdır 0.11 kWh/kWp/gün’dür. Y_f , üretilen faydalı enerji 3,83 kWh/kWp/gün’dür.



Şekil 4.34. Normalize üretim grafiği

Üretim tesisinde karşılaşılabilecek çeşitli kayıplar mevcuttur. Şekil 4.35’de sistem kayıp diyagramı verilmektedir.



Şekil 4.35. Sistem kayıplar diyagramı

Yatay düzlemde küresel ışınlama 1756 kWh/m^2 ’dir. Kolektör üzerindeki etkili ışınlım 1628 kWh/m^2 ’dir. Bu etkili ışınlama bir fotovoltaik panel veya dizinin yüzeyine düştüğünde, elektrik enerjisi üretilir. FV dönüşümünden sonra, standart test koşullarında (STC) nominal enerji 1407 MWh ’dir. FV dizisinin STC’deki verimi %19,65’dir. MPP’de yıllık dizi enerjisi 1239 MWh ’dir. Bu aşamada meydana gelen çeşitli kayıplar sıcaklık nedeniyle %6,94, Omik kayıp ise %1,04, AC omik kayıp %0,08, gölgelenme %0,07, panel LID kaybı %3’tür. Evirici çıkış tesisinde yıllık bazda mevcut enerji 1217 MWh olup aynı şebekeye aktarılmaktadır. AC omik kayıplar ve olası sistem kesintisi kayıplarından dolayı yıllık şebekeye aktarılan elektrik enerjisi 1204 MWh olarak bulunmuştur.

4.2.1.1.2. Pvgis veri tabanına göre simülasyon sonuçları

Sistem üretim analizi Pvsyst programı tarafından gerçekleştirildiğinde simülasyon sonuçlarından parametreler değerlendirilmiştir. İlk parametre, 861,84 kWp fotovoltaik sistemden yıllık olarak üretilen enerji, 1162,6 MWh/yıl olarak üretilen toplam enerji miktarıdır. PVGIS veri tabanına göre Uşak ili için yatay düzlemde yıllık küresel ışıınım değeri Şekil 4.36'da yer aldığı gibi 1711,4 kWh/m²'dir. Optik düzeltmeler olmadan toplayıcıda yıllık bazda küresel yüzey ışıınımı ve optik kayıplardan sonra etkin küresel ışıınım, 1703,9 kWh/m² ve 1591,8 kWh/m²'dir. Bu etkili ışıınımla birlikte, FV dizisinden üretilen yıllık toplam DC enerji ve şebekeye aktarılan yıllık toplam AC enerji sırasıyla 1195,4 MWh ve 1162,6 MWh'dir. Santral performans oranı %79,2 olarak hesaplanmıştır. Şebekeye aktarılan maksimum aylık enerji 161.0 MWh ile Temmuz ayında gerçekleşeceği görülmektedir.

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR oran
Ocak	52.7	32.27	1.26	52.1	47.2	39.5	38.8	0.863
Şubat	75.4	39.07	5.00	75.0	69.0	56.4	55.4	0.857
Mart	130.6	53.75	9.48	129.9	120.8	95.1	93.4	0.834
Nisan	154.6	71.61	11.38	154.2	144.7	112.4	107.3	0.807
Mayıs	179.2	77.95	17.34	178.9	168.8	126.5	121.8	0.790
Haziran	236.6	61.76	25.01	236.5	223.8	159.0	155.4	0.762
Temmuz	250.4	58.74	27.06	249.9	236.2	166.8	161.0	0.748
Ağustos	212.3	59.25	26.55	211.8	199.5	142.8	137.9	0.756
Eylül	160.2	54.44	21.49	159.3	148.8	110.7	108.7	0.792
Ekim	120.2	38.97	13.15	119.1	109.6	85.6	84.1	0.819
Kasım	71.1	31.13	9.85	70.1	63.6	51.1	50.2	0.831
Aralık	67.9	24.23	3.93	67.1	59.8	49.5	48.6	0.842
Yıl	1711.4	603.17	14.34	1703.9	1591.8	1195.4	1162.6	0.792

Açıklama

GlobHor Global yatay ışıınlama

DiffHor Yatay difüz ışıınlama

T_Amb Çevre sıcaklığı

GlobInc Kolektöre yansıyan global

GlobEff IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global

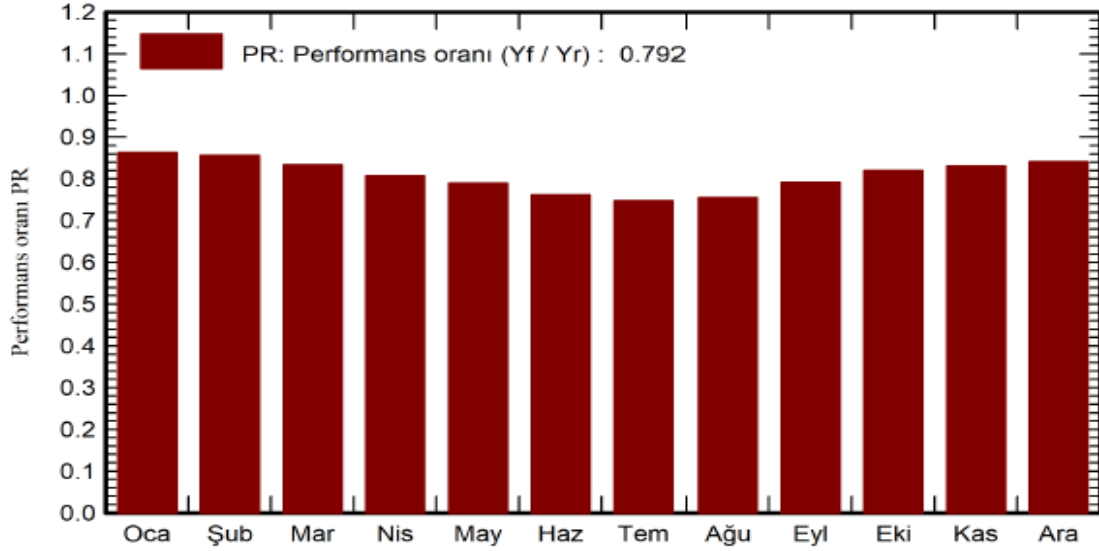
EArray Dizin çıkışında etkin enerji

E_Grid Şebekeye enjekte edilen enerji

PR Performans oranı

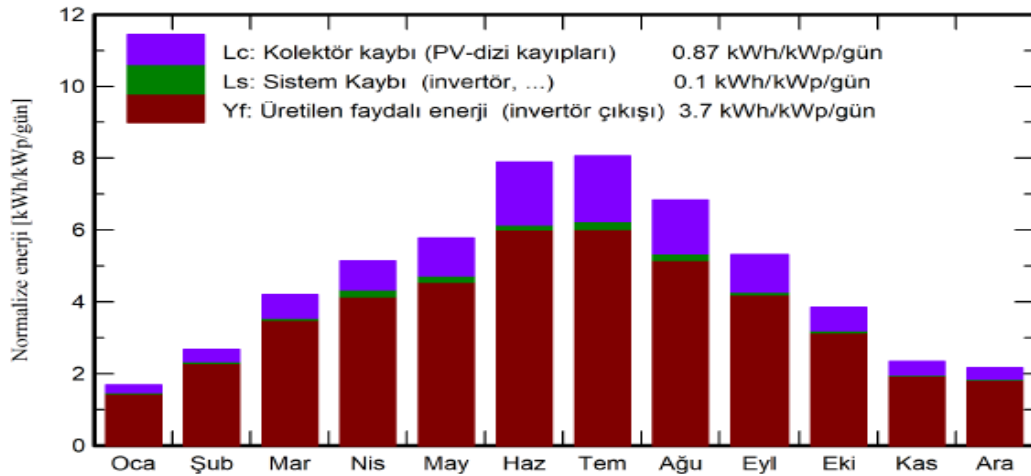
Şekil 4.36. Santralin aylık üretim değerleri

Şekil 4.37’de yer aldığı üzere ikinci parametre olan performans oranı %79,2’dir. Aylık olarak belirtilmiştir. Üçüncü parametre spesifik verim ise 1349 kWh/kWp/yıl’dır.



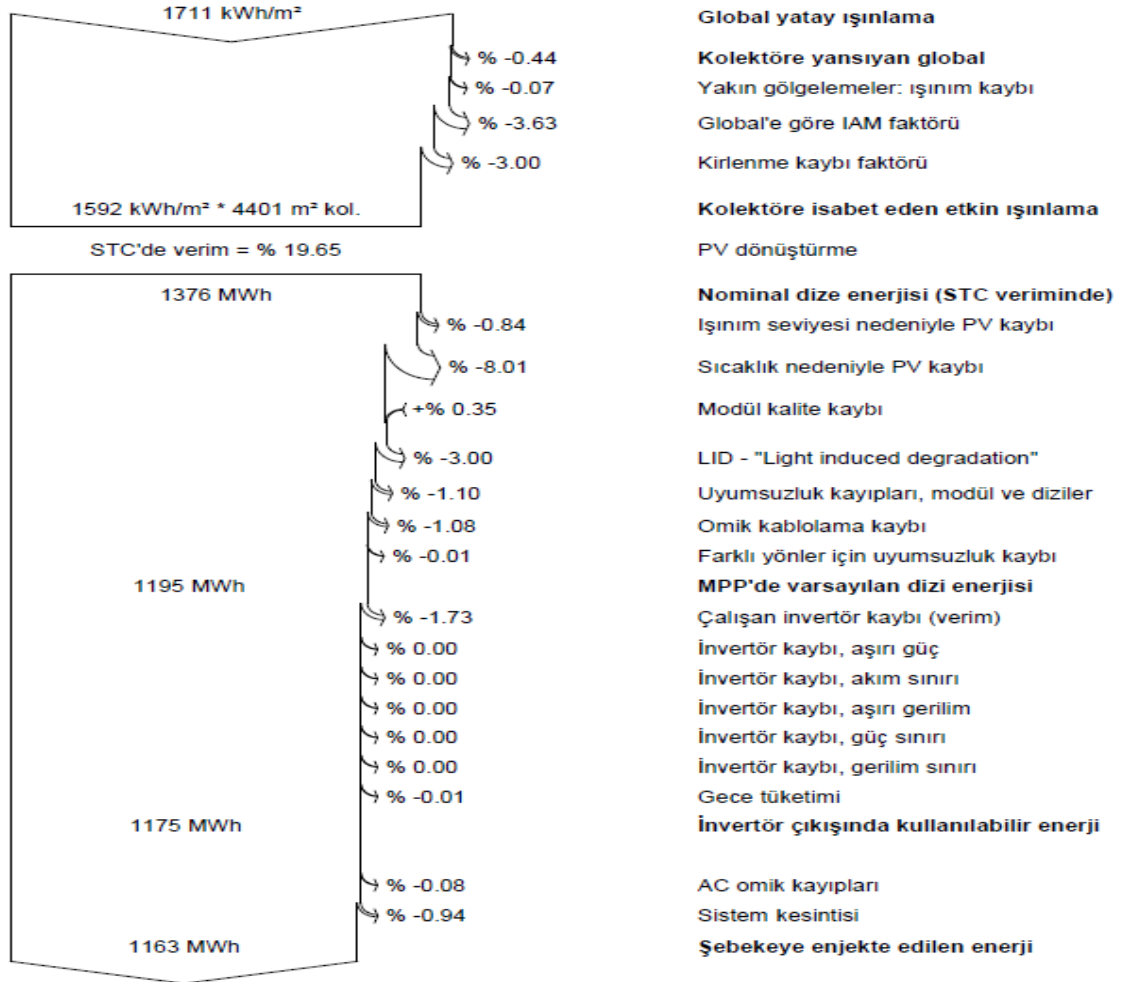
Şekil 4.37. Aylara göre performans oranı grafikleri

Şekil 4.38’de ise L_c 0.87 kWh/kWp/gün, toplama kayıpları veya FV dizi yakalama kayıplarıdır. L_s , sistem evirici kaybıdır 0.1 kWh/kWp/gün’dür. Y_f , üretilen faydalı enerji 3,7 kWh/kWp/gün’dür.



Şekil 4.38. Normalize üretim grafiği

Üretim tesisinde karşılaşılabilecek çeşitli kayıplar mevcuttur. Şekil 4.39'da sistem kayıp diyagramı yer almaktadır.



Şekil 4.39. Sistem kayıplar diyagramı

Yatay düzlemde küresel ışınlama 1711 kWh/m^2 'dir. Kolektör üzerindeki etkili ışınlam 1592 kWh/m^2 'dir. Bu etkili ışınlama bir fotovoltaik panel veya dizinin yüzeyine düştüğünde, elektrik enerjisi üretilir. FV dönüşümünden sonra, standart test koşullarında (STC) nominal enerji 1376 MWh 'dir. FV dizisinin STC'deki verimi %19,65'dir. MPP'de yıllık dizi enerjisi 1195 MWh 'dir. Bu aşamada meydana gelen çeşitli kayıplar sıcaklık nedeniyle %8,01, Omik kayıp ise %1,08, AC omik kayıp %0,08, gölgelenme %0,07, panel LID kaybı %3'tür. Evirici çıkış tesisinde yıllık bazda mevcut enerji 1175 MWh olup aynı şebekeye aktarılmaktadır. AC omik kayıplar ve olası sistem kesintisi

kayıplarından dolayı yıllık şebekeye aktarılan elektrik enerjisi 1163 MWh olarak bulunmuştur.

4.2.1.1.3. NASA veri tabanına göre simülasyon sonuçları

Sistem üretim analizi Pvsyst programı tarafından gerçekleştirildiğinde simülasyon sonuçlarından parametreler değerlendirilmiştir. İlk parametre, 861,84 kWp fotovoltaik sistemden yıllık olarak üretilen enerji, 1161,8 MWh/yıl olarak üretilen toplam enerji miktarıdır. NASA veri tabanına göre Uşak ili için yatay düzlemde yıllık küresel ışıınım değeri Şekil 4.40'da yer aldığı üzere 1680,0 kWh/m²'dir. Optik düzeltmeler olmadan toplayıcıda yıllık bazda küresel yüzey ışıınımı ve optik kayıplardan sonra etkin küresel ışıınım 1670,4 kWh/m² ve 1555,8 kWh/m²'dir. Bu etkili ışıınımla birlikte, FV dizisinden üretilen yıllık toplam DC enerji ve şebekeye aktarılan yıllık toplam AC enerji sırasıyla 1194,1 MWh ve 1161,8 MWh'dir. Santral performans oranı %80,7 olarak hesaplanmıştır. Şebekeye aktarılan maksimum aylık enerji 150.4 MWh ile Temmuz ayında gerçekleşeceği görülmektedir.

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR oran
Ocak	69.4	25.11	2.22	68.4	61.4	51.4	50.5	0.857
Şubat	83.7	31.08	2.73	82.8	75.9	62.8	61.7	0.864
Mart	129.6	46.19	5.94	128.6	119.6	96.9	95.1	0.858
Nisan	149.4	59.10	11.18	149.0	139.6	109.9	105.8	0.824
Mayıs	194.7	66.34	16.57	193.9	182.4	138.3	134.2	0.803
Haziran	218.7	61.80	20.82	218.5	205.9	152.7	147.3	0.783
Temmuz	226.6	59.21	23.89	226.3	213.2	155.3	150.4	0.771
Ağustos	202.7	52.39	23.64	202.1	190.0	139.1	134.1	0.770
Eylül	159.9	41.40	19.87	159.0	148.0	111.1	109.2	0.797
Ekim	114.1	35.65	14.17	112.7	103.7	81.0	79.6	0.820
Kasım	73.5	26.70	7.88	72.5	65.5	53.3	52.4	0.839
Aralık	57.7	23.56	3.64	56.7	50.7	42.2	41.4	0.849
Yıl	1680.0	528.53	12.77	1670.4	1555.8	1194.1	1161.8	0.807

Açıklama

GlobHor Global yatay ışıınlama

DiffHor Yatay difüz ışıınlama

T_Amb Çevre sıcaklığı

GlobInc Kolektöre yansıyan global

GlobEff IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global

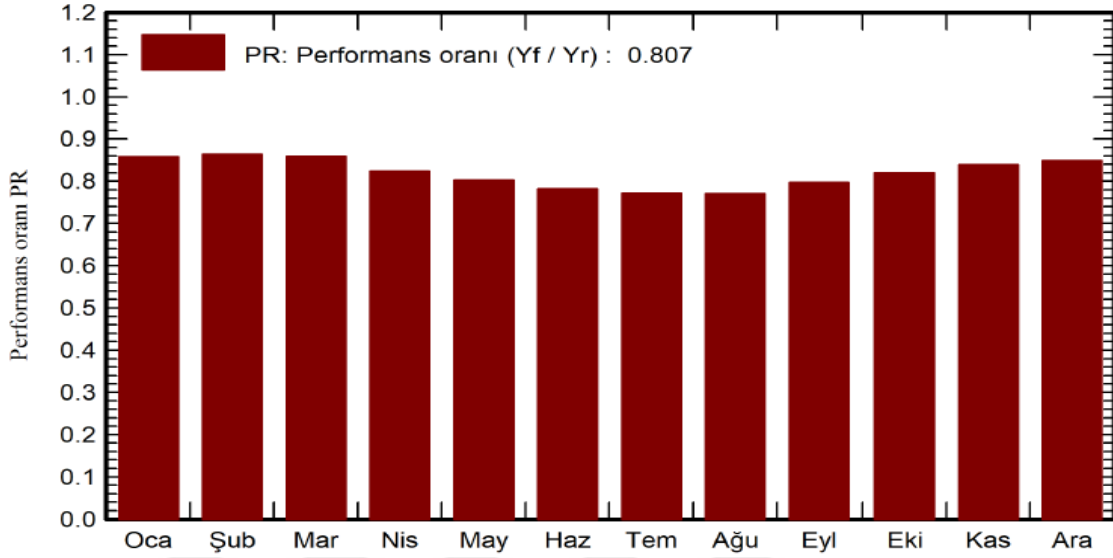
EArray Dizinin çıkışında etkin enerji

E_Grid Şebekeye enjekte edilen enerji

PR Performans oranı

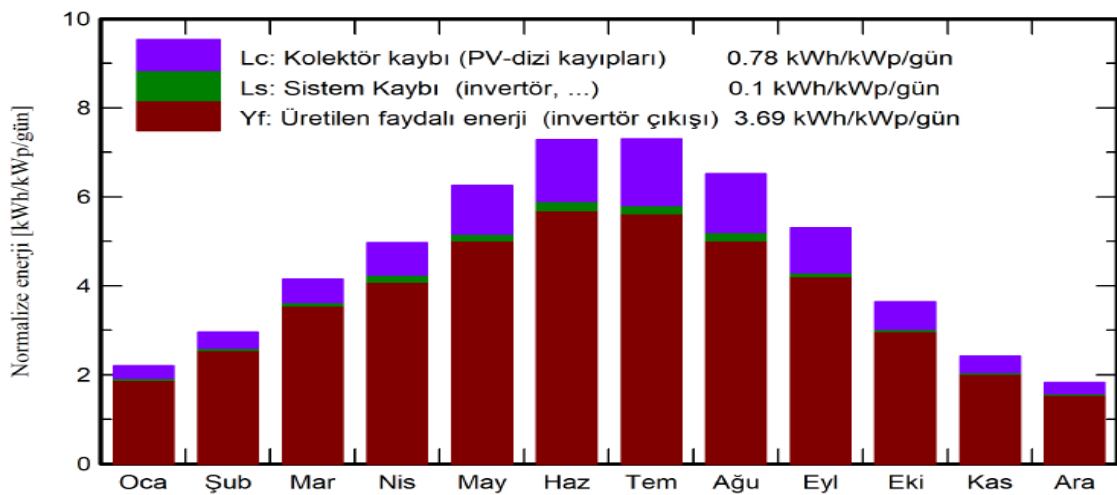
Şekil 4.40. Santralin aylık üretim değerleri

Şekil 4.41’de yer aldığı üzere ikinci parametre olan performans oranı %80.7’dir. Aylık olarak belirtilmiştir. Üçüncü parametre spesifik verim ise 1348 kWh/kWp/yıl’dır.



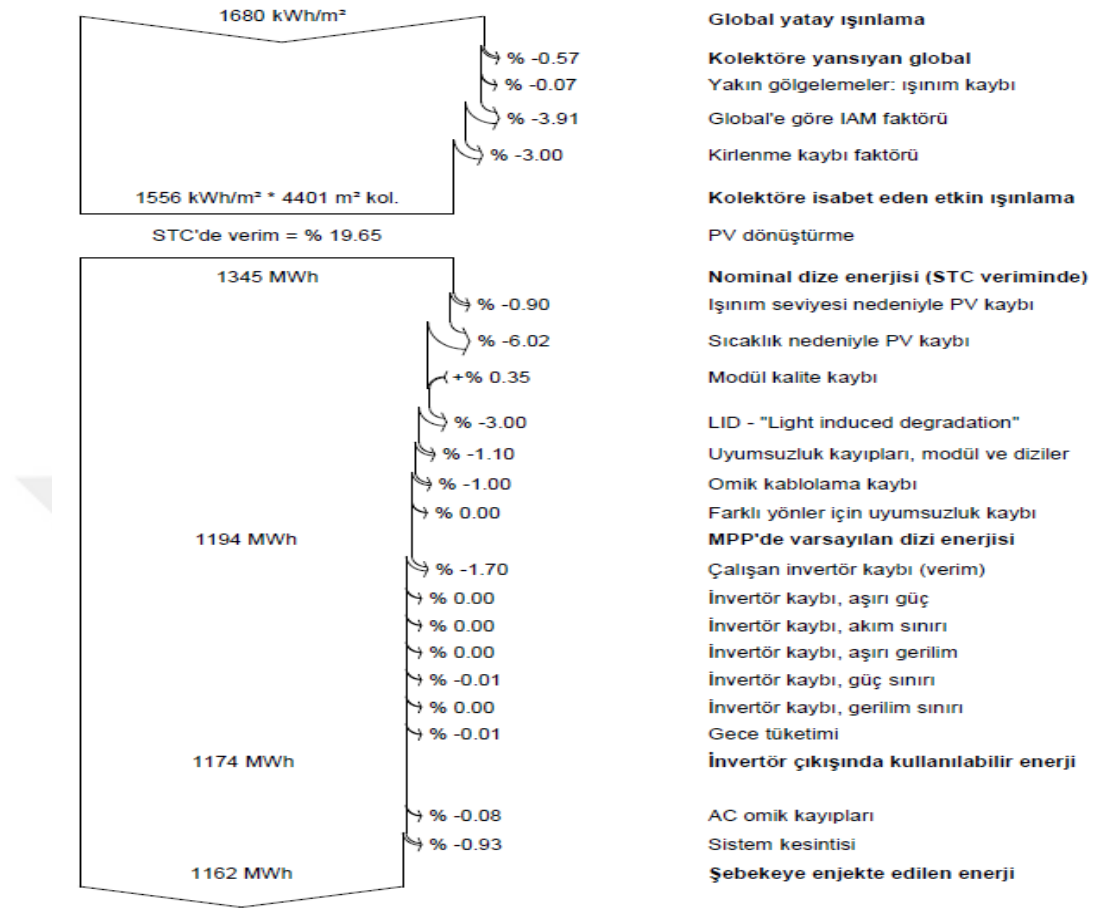
Şekil 4.41. Aylara göre performans oranı grafikleri

Şekil 4.42’de ise L_c 0.78 kWh/kWp/gün, toplama kayıpları veya FV dizi yakalama kayıplarıdır. L_s , sistem evirici kaybıdır 0.1 kWh/kWp/gün’dür. Y_f , üretilen faydalı enerji 3,69 kWh/kWp/gün’dür.



Şekil 4.42. Normalize üretim grafiği

Üretim tesisinde karşılaşılabilecek çeşitli kayıplar mevcuttur. Şekil 4.43'de sistem kayıp diyagramı yer almaktadır.

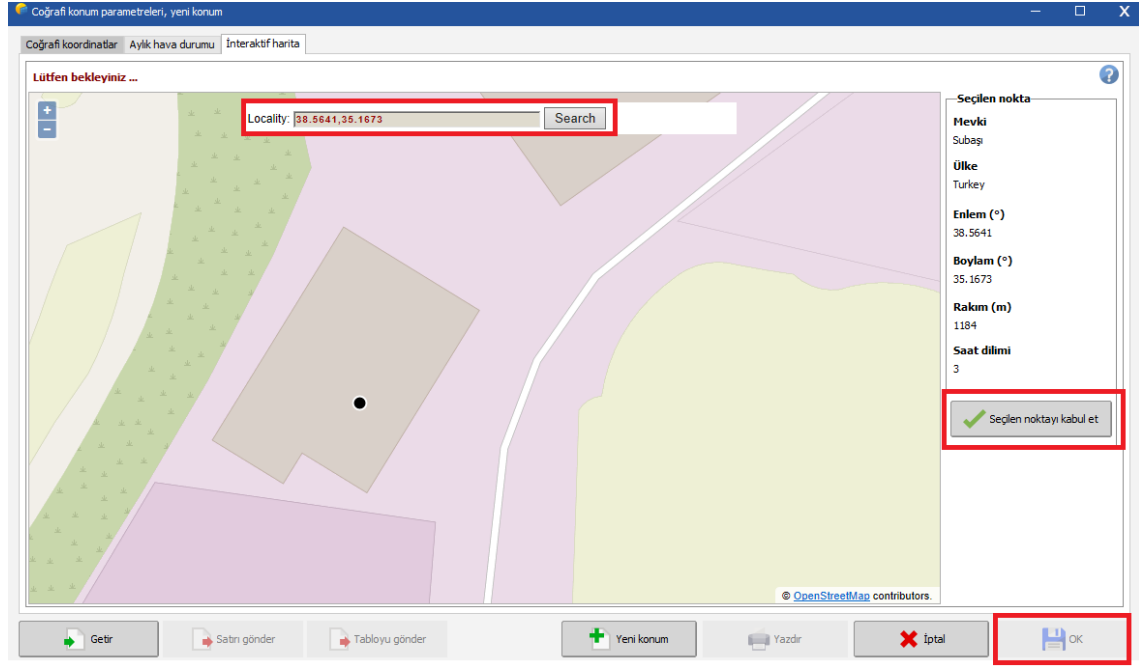


Şekil 4.43. Sistem kayıplar diyagramı

Yatay düzlemde küresel ışınlama 1680 kWh/m^2 'dir. Kolektör üzerindeki etkili ışınlama 1556 kWh/m^2 'dir. Bu etkili ışınlama bir fotovoltaik panel veya dizinin yüzeyine düştüğünde, elektrik enerjisi üretilir. FV dönüşümünden sonra, standart test koşullarında (STC) nominal enerji 1345 MWh 'dir. FV dizisinin STC'deki verimi %19,65 dir. MPP'de yıllık dizi enerjisi 1194 MWh 'dir. Bu aşamada meydana gelen çeşitli kayıplar sıcaklık nedeniyle %6.02, Omik kayıp ise %1.0, AC omik kayıp %0.08, gölgelenme %0.07, panel LID kaybı %3'tür. Evirici çıkış tesisinde yıllık bazda mevcut enerji 1175 MWh olup aynı şebekeye aktarılmaktadır. AC omik kayıplar ve olası sistem kesintisi kayıplarından dolayı yıllık şebekeye aktarılan elektrik enerjisi 1162 MWh olarak bulunmuştur.

4.2.1.2. Oylum güneş enerji santrali pvsyst simülasyonları

Güneş enerji santrali kurulumu yapılacak tesisin Şekil 4.44’de konumu manuel veya enlem-boylam verileri girilerek santral lokasyonu simülasyon programında tanımlanır.



Şekil 4.44. Oylum güneş enerji santrali pvsyst’ten konumunun seçilmesi

Şekil 4.45’de yer aldığı üzere Çevrimiçi haritadan konum bilgisi girişi yapıldıktan sonra konum adı yazılır. Coğrafi koordinatların olduğu bölümde konum enlemi, boylamı, yükseltisi ve saat dilimi program tarafından belirlenmiştir. Programın sağ tarafında hangi meteorolojik veritabanı kullanılacağı seçilir. Pvsyst yazılımı ile PVSOL yazılımının sonuçları arasında karşılaştırma yapmak için Meteororm, PVGIS yazılımı ile karşılaştırmak için PVGIS meteorolojik veritabanı seçilmiştir.

Coğrafi konum parametreleri, yeni konum

Coğrafi koordinatlar Aylık hava durumu İnteraktif harita

Konum

Konum adı: Subaşı Koordinatlardan al

Ülke: Türkiye Bölge: Avrupa

Coğrafi koordinatlar

Güneş yörüngesi

Ortalık Der. Dk. Sn.

Enlem: 38.5641 [°] 38 33 50 (+ = Kuzey, - = Güney yarıküresi)

Boylam: 35.1673 [°] 35 10 2 (+ = Doğu, - = Greenwich'in batısı)

Rakım: 1184 Deniz seviyesi üzerinde m.

Saat dilimi: 3.0 Ortalama bir farka tekabül ediyor

Yasal zamanı - Güneş zamanı = 0s 39dk

İsminden al

Hava durumu verilerini getir

☒ Meteonorm 8.0

☐ NASA-SSE

☐ PVGIS TMY

☐ NREL / NSRDB TMY

☐ Solcast TMY

Getir

Getir Satın gönder Tabloyu gönder Yeni konum Yazdır İptal OK

Şekil 4.45. Oylum güneş enerji santrali meteonorm veri tabanı seçimi

Coğrafi konum parametreleri, yeni konum

Coğrafi koordinatlar Aylık hava durumu İnteraktif harita

Konum

Konum adı: Subaşı Koordinatlardan al

Ülke: Türkiye Bölge: Avrupa

Coğrafi koordinatlar

Güneş yörüngesi

Ortalık Der. Dk. Sn.

Enlem: 38.5641 [°] 38 33 50 (+ = Kuzey, - = Güney yarıküresi)

Boylam: 35.1674 [°] 35 10 2 (+ = Doğu, - = Greenwich'in batısı)

Rakım: 1187 Deniz seviyesi üzerinde m.

Saat dilimi: 3.0 Ortalama bir farka tekabül ediyor

Yasal zamanı - Güneş zamanı = 0s 39dk

İsminden al

Hava durumu verilerini getir

☐ Meteonorm 8.0

☐ NASA-SSE

☒ PVGIS TMY

☐ NREL / NSRDB TMY

☐ Solcast TMY

Getir

Getir Satın gönder Tabloyu gönder Yeni konum Yazdır İptal OK

Şekil 4.46. Oylum güneş enerji santrali pvgis veri tabanı seçimi

Konum

Konum adı: Subaşı

Ülke: Türkiye Bölge: Avrupa

Coğrafi koordinatlar

Güneş yörüngesi

Enlem: 38.5641 Der. Dk. Sn. 38 33 50 (+ = Kuzey, - = Güney yarıküresi)

Boylam: 35.1674 35 10 2 (+ = Doğu, - = Greenwich'in batısı)

Rakım: 1187 Deniz seviyesi üzerinde m.

Saat dilimi: 3.0 Ortalama bir farka tekabül ediyor

Yasal zamanı - Güneş zamanı = 0s 39dk

Hava durumu verilerini getir

☐ Meteonorm 8.0

☒ NASA-SSE

☐ PVGIS TMY

☐ NREL / NSRDB TMY

☐ Solcast TMY

Getir

Şekil 4.47. Oylum güneş enerji santrali NASA veri tabanı seçimi

Metenorm 8.0 santralin yer aldığı konumdaki 2005-2013 yıllarında ortalama aldığı meteoroloji verileri, NASA 1983-2005 yılları arasında aylara göre ortalama değerleri veri tablosu oluşturmuştur. Şekil 4.48 ve Şekil 4.49'da yer aldığı üzere Meteonorm ve PVGIS veri tabanları ile global yatay ışıma, yatay difüz ışınlama, sıcaklık, rüzgar hızı, bağıl nem değerleri alınabilirken NASA veritabanında rüzgar hızı ve bağıl nem değerleri alınamamaktadır.

Konum: Subaşı (Türkiye)

Veri kaynağı: Meteonorm 8.0 (2005-2013), Sat=% 33

	Global yatay ışınlama kWh/m ² /ay	Yatay difüz ışınlama kWh/m ² /ay	Sıcaklık °C	Rüzgar hızı m/s	Linke bulanlığı [-]	Bağıl nem %
Ocak	67.0	30.1	-0.9	2.20	2.735	74.5
Şubat	88.5	33.9	1.2	2.39	3.067	70.4
Mart	126.7	58.0	6.1	2.80	3.577	60.2
Nisan	159.9	67.6	10.6	2.60	4.104	55.0
Mayıs	206.8	71.5	15.2	2.40	3.725	55.7
Haziran	227.2	65.2	19.8	2.49	3.267	48.7
Temmuz	238.4	63.4	23.6	2.50	3.164	42.7
Ağustos	223.5	51.6	23.7	2.30	3.135	40.5
Eylül	175.2	44.7	18.1	1.99	2.978	47.0
Ekim	119.3	37.5	12.3	1.80	3.167	57.4
Kasım	76.6	31.1	5.6	1.69	2.859	67.6
Aralık	63.5	23.0	1.0	2.00	2.700	74.3
Yıl	1772.7	577.5	11.3	2.3	3.206	57.8

Global yatay ışınlama yıldan yıla değişkenlik: 4.4%

Zorunlu veriler

- ☒ Global yatay ışınlama
- ☒ Ortalama dış sıcaklık

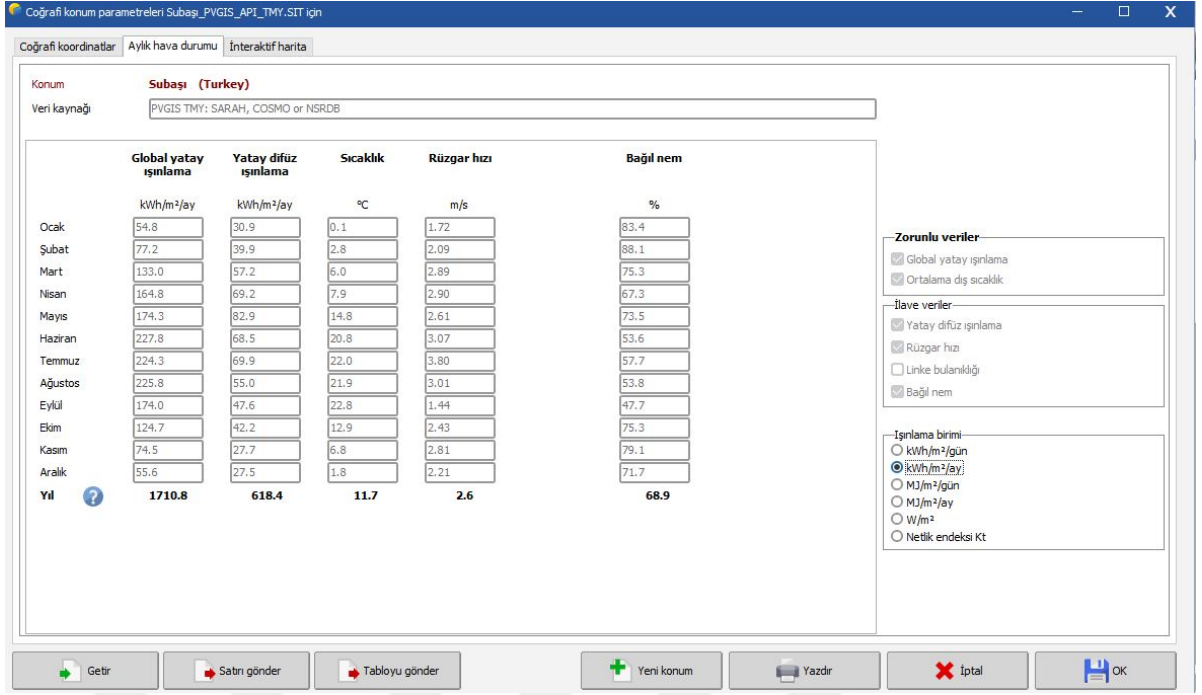
İlave veriler

- ☒ Yatay difüz ışınlama
- ☒ Rüzgar hızı
- ☒ Linke bulanlığı
- ☒ Bağıl nem

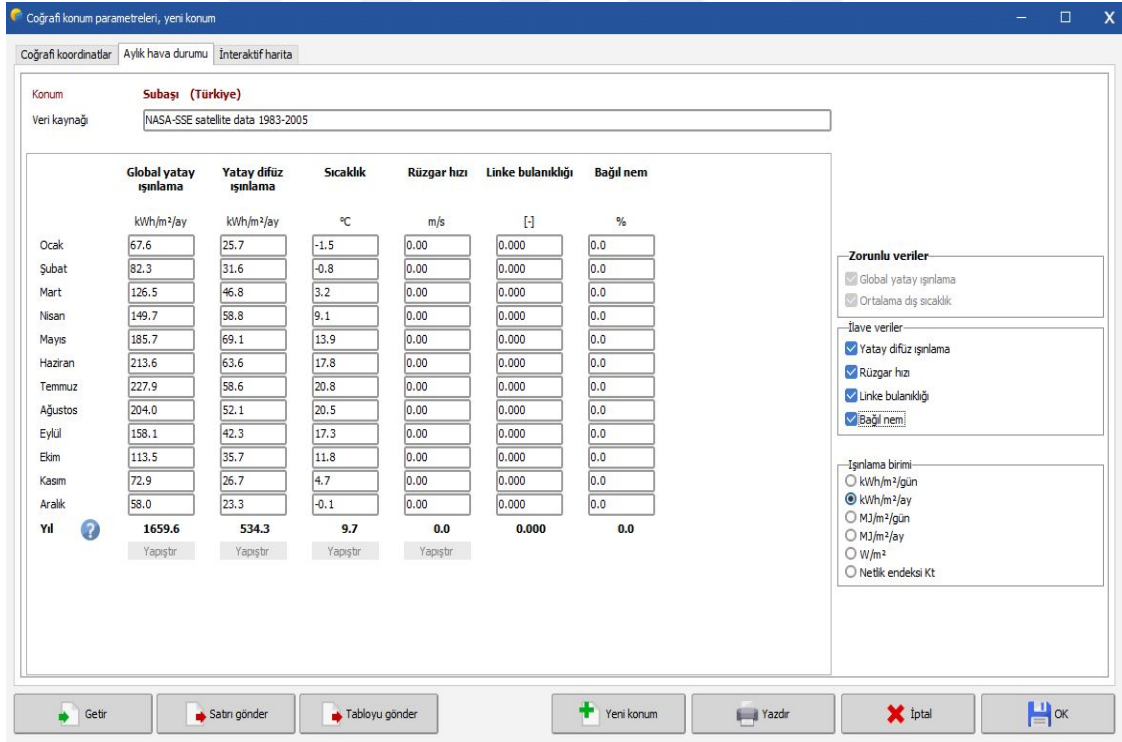
İşleme birimi

- ☐ kWh/m²/gün
- ☒ kWh/m²/ay
- ☐ MJ/m²/gün
- ☐ MJ/m²/ay
- ☐ W/m²
- ☐ Netlik endeksi Kt

Şekil 4.48. Oylum güneş enerji santrali meteonorm aylık meteorolojik veriler

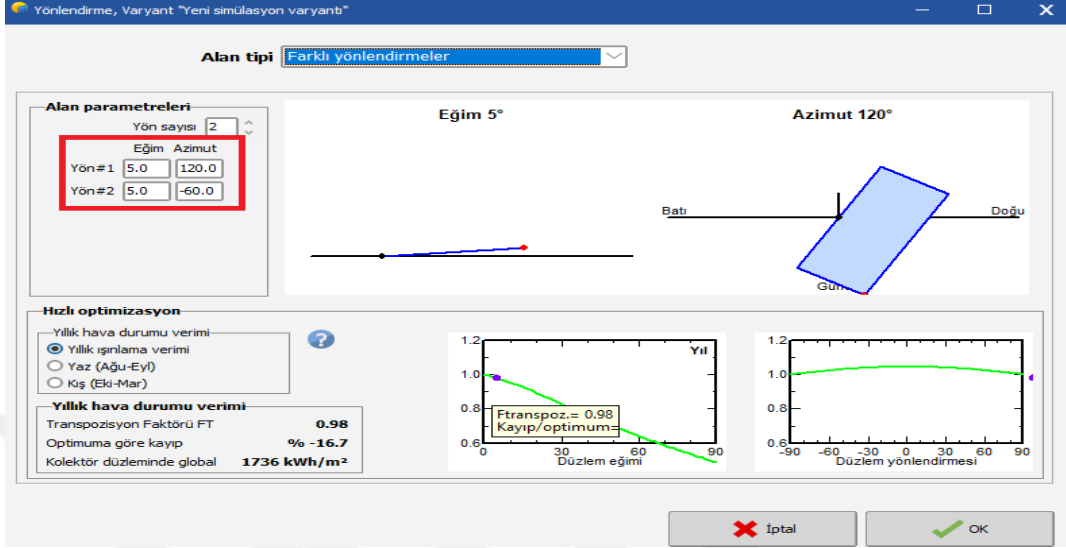


Şekil 4.49. Oylum güneş enerji santrali pvgis aylık meteorolojik veriler



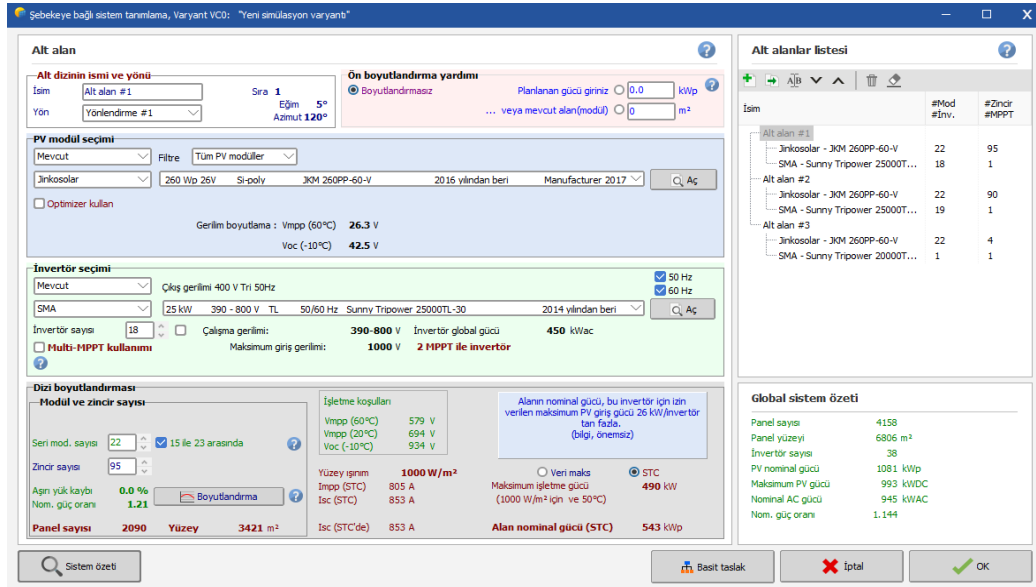
Şekil 4.50. Oylum güneş enerji santrali NASA aylık meteorolojik veriler

Pvsyst yazılımında santralde panel yerleşiminin bulunduğu yönlerin azimut açısı değerleri ve panel eğimi Şekil 4.51’de ki gibi belirtilir.



Şekil 4.51. Oylum güneş enerji santrali yönlendirme ekranı

Sistem seçiminde tesiste kullanılan panel, inverter marka ve güçleri, her azimut yönünde bulunan string sayıları tanımlanır (Şekil 4.52, Şekil 4.53, Şekil 4.54).



Şekil 4.52. Oylum güneş enerji santrali sistem tasarım ekranı-1

Şebekeye bağlı sistem tanımlama, Varyant VCO: "Yeni simülasyon varyantı"

Alt alan

Alt dizinin ismi ve yönü

İsim: Alt alan #2 Sıra: 2 Eğim: 5° Azimut: -60°

Yön: Yönlendirme #2

Ön boyutlandırma yardımı

Boyutlandırmasız Planlanan gücü giriniz 0.0 kWp

... veya mevcut alan(modül) 0 m²

PV modül seçimi

Mevcut: Filtre: Tüm PV modüller

Jinkosolar 260 Wp 26V Si-poly JKM 260PP-60-V 2016 yılından beri Manufacturer 2017

Optimizer kullan

Gerilim boyutlama: Vmpp (60°C) 26.3 V Voc (-10°C) 42.5 V

İnvertör seçimi

Mevcut: Çıkış gerilimi 400 V Tri 50Hz

SMA 25 kW 390 - 800 V TL 50/60 Hz Sunny Tripower 25000TL-30 2014 yılından beri

İnvertör sayısı 19 Çalışma gerilimi: 390-800 V İnvertör global gücü 475 kWac

Multi-MPPT kullanımı Maksimum giriş gerilimi: 1000 V 2 MPPT ile invertör

Dizi boyutlandırması

Modül ve zincir sayısı

Seri mod. sayısı 22 15 ile 23 arasında

Zincir sayısı 90

Aşırı yük kaybı 0.0 %

Nom. güç oranı 1.08

Panel sayısı 1980 Yüzey 3241 m²

İşletme koşulları

Vmpp (60°C) 579 V Vmpp (20°C) 694 V Voc (-10°C) 934 V

Yüzey ışıgını 1000 W/m²

İmpp (STC) 763 A İsc (STC) 808 A

İsc (STC'de) 808 A

Alanın nominal gücü, bu invertör için izin verilen maksimum PV giriş gücü 26 kW/Invertör tanı fazla, (bilgi, önemsiz)

Veri maks STC

Maksimum işletme gücü (1000 W/m² için ve 50°C) 464 kW

Alan nominal gücü (STC) 515 kWp

Alt alanlar listesi

İsim	#Mod #Inv.	#Zincir #MPPT
Alt alan #1		
Jinkosolar - JKM 260PP-60-V	22	95
SMA - Sunny Tripower 25000T...	18	1
Alt alan #2		
Jinkosolar - JKM 260PP-60-V	22	90
SMA - Sunny Tripower 25000T...	19	1
Alt alan #3		
Jinkosolar - JKM 260PP-60-V	22	4
SMA - Sunny Tripower 20000T...	1	1

Global sistem özeti

Panel sayısı 4158

Panel yüzeyi 6806 m²

İnvertör sayısı 38

PV nominal gücü 1081 kWp

Maksimum PV gücü 1015 kWDC

Nominal AC gücü 945 kWAC

Nom. güç oranı 1.144

Sistem özeti

Basit taslak İptal OK

Şekil 4.53. Oylum güneş enerji santrali sistem tasarım ekranı-2

Şebekeye bağlı sistem tanımlama, Varyant VCO: "Yeni simülasyon varyantı"

Alt alan

Alt dizinin ismi ve yönü

İsim: Alt alan #3 Sıra: 3 Eğim: 5° Azimut: -60°

Yön: Yönlendirme #2

Ön boyutlandırma yardımı

Boyutlandırmasız Planlanan gücü giriniz 0.0 kWp

... veya mevcut alan(modül) 0 m²

PV modül seçimi

Mevcut: Filtre: Tüm PV modüller

Jinkosolar 260 Wp 26V Si-poly JKM 260PP-60-V 2016 yılından beri Manufacturer 2017

Optimizer kullan

Gerilim boyutlama: Vmpp (60°C) 26.3 V Voc (-10°C) 42.5 V

İnvertör seçimi

Mevcut: Çıkış gerilimi 400 V Tri 50Hz

SMA 20 kW 320 - 800 V TL 50/60 Hz Sunny Tripower 20000TL-30 2014 yılından beri

İnvertör sayısı 1 Çalışma gerilimi: 320-800 V İnvertör global gücü 20.0 kWac

Multi-MPPT kullanımı Maksimum giriş gerilimi: 1000 V 2 MPPT ile invertör

Dizi boyutlandırması

Modül ve zincir sayısı

Seri mod. sayısı 22 13 ile 23 arasında

Zincir sayısı 4

Aşırı yük kaybı 0.0 %

Nom. güç oranı 1.14

Panel sayısı 88 Yüzey 144 m²

İşletme koşulları

Vmpp (60°C) 579 V Vmpp (20°C) 694 V Voc (-10°C) 934 V

Yüzey ışıgını 1000 W/m²

İmpp (STC) 33.9 A İsc (STC) 35.9 A

İsc (STC'de) 35.9 A

Alanın nominal gücü, bu invertör için izin verilen maksimum PV giriş gücü 20 kW tan fazla, (bilgi, önemsiz)

Veri maks STC

Maksimum işletme gücü (1000 W/m² için ve 50°C) 20.6 kW

Alan nominal gücü (STC) 22.9 kWp

Alt alanlar listesi

İsim	#Mod #Inv.	#Zincir #MPPT
Alt alan #1		
Jinkosolar - JKM 260PP-60-V	22	95
SMA - Sunny Tripower 25000T...	18	1
Alt alan #2		
Jinkosolar - JKM 260PP-60-V	22	90
SMA - Sunny Tripower 25000T...	19	1
Alt alan #3		
Jinkosolar - JKM 260PP-60-V	22	4
SMA - Sunny Tripower 20000T...	1	1

Global sistem özeti

Panel sayısı 4158

Panel yüzeyi 6806 m²

İnvertör sayısı 38

PV nominal gücü 1081 kWp

Maksimum PV gücü 1015 kWDC

Nominal AC gücü 945 kWAC

Nom. güç oranı 1.144

Sistem özeti

Basit taslak İptal OK

Şekil 4.54. Oylum güneş enerji santrali sistem tasarım ekranı-3

Termal parametreler tüm sistem için tanımlanır

Termal parametre Omik kayıplar Modüllerin kalitesi - LID - Uyumsuzluk Kirlenme kaybı IAM kayıplar Yardımcılar Yaşlanma Kullanılmazlık Spektral düzeltme

Alan termal kayıp faktörünü veya standart NOCT katsayısını tanımlayabilirsiniz:
program denklığı verir!

Alan termal kayıp faktörü

Termal kayıp faktörü $U = U_c + U_v \cdot \text{Rüzgar hızı}$

Sabit kayıp faktörü U_c W/m²K

Rüzgar kayıp faktörü U_v W/m²K m/s

Yapıya göre varsayılan değer

☐ Hava sirkülasyonlu "Serbest" modüller

☒ Arka hava kanallı yarı entegre

☐ Arka yalıtımlı entegre

NOCT eşdeğer faktörü

NOCT (Çalışan hücrenin nominal sıcaklığı) genellikle modülün kendisi için üreticiler tarafından belirlenir. İşletim dizisine uygulandığında bir anlam ifade etmeyen, U-değeri tanımına alternatif bir bilgidir.

NOCT yaklaşımını kullanmayınız. Diziye uygulandığında karışıklık getirir !

[NOCT'ü yine de göster](#)

Şekil 4.55. Termal kayıpların tanımlanması

Şekil 4.56'de yer aldığı üzere ortalama DC gerilim düşümü değeri, inverter ile GES AGP arasında kullanılan kablo türü (Bakır/Alüminyum), kablo kesiti ve ortalama metraj değerleri girilerek kablo kayıpları tanımlanır. Paneller ile inverter arasında enerji taşımada kullanılan DC kablolarda gerilim düşümü meydana gelmektedir ve bu değer ortalama %1,5 olarak tanımlanmıştır. Paneller etrafında bulunan baca, parapet vb. engellerden kaynaklı panel yüzeyine gölge düşmesi durumunda panel junction box içerisinde bulunan bypass diyotlar devreye girerek gölge düşen bölümü devre dışı bırakır. Bu esnada 0,7 V'luk diyot gerilimi düşümü meydana gelir. Santrale ait tek hat şemasında yer aldığı üzere inverter ile GES AGP arasında 5x16 mm² kesitinde bakır kablo kullanıldığı ve ortalama metrajın 20 metre olduğu Şekil 4.56'da yer aldığı gibi tanımlanmaktadır.

Şekil 4.56. Dc ve ac kablo gerilim düşümü tanımlaması

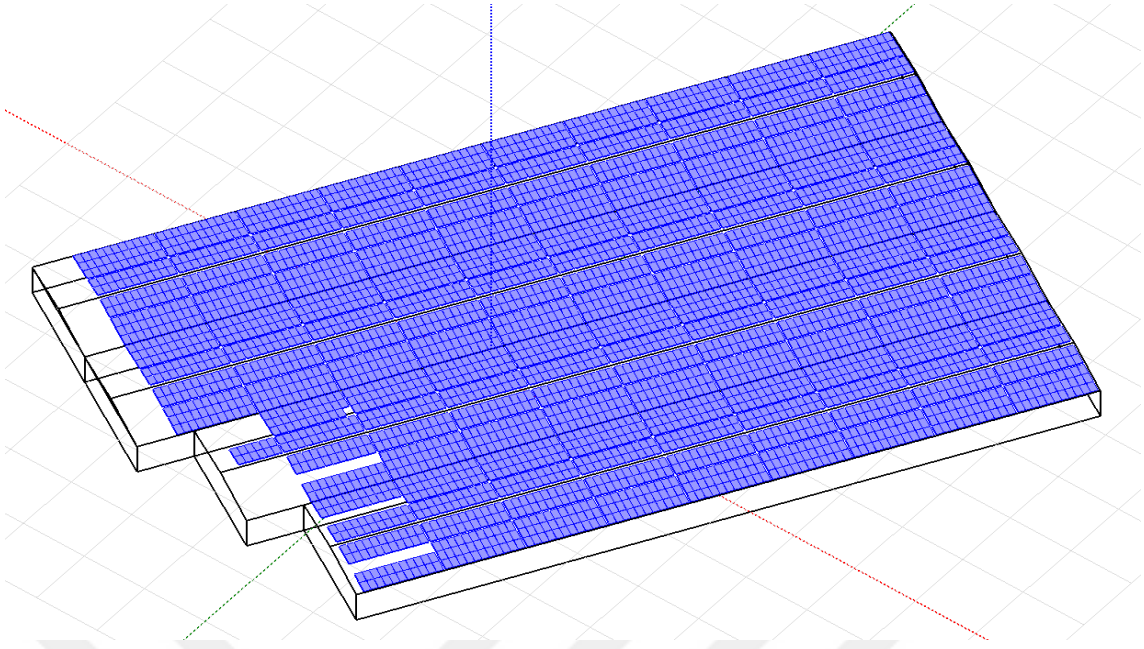
Stringde yer alan panellerin birbirleri arasındaki gerilim, akım vb nedenlerden kaynaklı meydana gelen uyumsuzluk kayıpları %1, panelin ilk güneş ışığına maruz kaldığı anda meydana gelen LID kayıpları panel datasheet verisinden bakılarak %2.5 olarak tanımlanmıştır (Şekil 4.57).

Şekil 4.57. Oylum güneş enerji santrali lid, mismach kayıplarının tanımlanması

Fotovoltaik santralde yer alan paneller etrafında bulunan bacalar, kuş pisliği, egzoz gazları vb çevresel etkenler panel yüzeyine ulaşan ışınım miktarını etkilemektedir. Işınım miktarının azalması, santralden elde edilecek enerji miktarında düşmesine neden olmaktadır. Bunun etkisi yazılım üzerinde yıllık %3 olarak tanımlanmıştır (Şekil 4.58).

Şekil 4.58. Oylum güneş enerji santrali kirlenme kayıplarının tanımlanması

Fotovoltaik sistemlerde herhangi bir panel yada panel grubunun üzerine gölge gelmesi durumunda panel ve string çıkış elektriksel parametrelerinde azalma meydana gelir. Bu durum üretilen enerji miktarını önemli ölçüde etkilemektedir. Gölgelemenmeden kaynaklı meydana gelecek kaybın belirlenmesi için Şekil 4.59’da yer aldığı üzere fotovoltaik paneller ve gölgeleme meydana getirebilecek unsurların çizimi gerçekleştirilmelidir.



Şekil 4.59. Oylum güneş enerji santrali pvsyst 3d gölgeleme sahnesi

Simülasyon programındaki tüm veriler ve kayıplar tanımlandıktan sonra program tarafından gerekli hesaplamalar yapılarak santrale ait aylık, yıllık üretim ve performans oranı değerleri, santralde meydana gelecek kayıplar rapor olarak sunulmaktadır.

4.2.1.2.1. Meteonorm veri tabanına göre simülasyon sonuçları

Sistem üretim analizi Pvsyst programı tarafından gerçekleştirildiğinde simülasyon sonuçlarından parametreler değerlendirilmiştir. İlk parametre, 1081,08 kWp fotovoltaik sistemden yıllık olarak üretilen enerji, 1535,9 MWh/yıl olarak üretilen toplam enerji miktarıdır. Meteonorm veri tabanına göre Kayseri ili için yatay düzlemde yıllık küresel ışıınım değeri Şekil 4.60'da yer aldığı üzere 1772,7 kWh/m²'dir. Optik düzeltmeler olmadan toplayıcıda yıllık bazda küresel yüzey ışıınımı ve optik kayıplardan sonra etkin küresel ışıınım, 1771,2 kWh/m² ve 1650,6 kWh/m²'dir. Bu etkili ışıınımla birlikte, FV dizisinden üretilen yıllık toplam DC enerji ve şebekeye aktarılan yıllık toplam AC enerji sırasıyla 1590,4 MWh ve 1535,9 MWh'dir. Santral performans oranı %80 olarak hesaplanmıştır. Şebekeye aktarılan maksimum aylık enerji 195,7 MWh ile Temmuz ayında gerçekleşeceği görülmektedir.

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR oran
Ocak	67.0	30.08	-0.90	66.8	60.3	64.2	62.6	0.866
Şubat	88.5	33.93	1.19	88.4	80.9	85.1	83.1	0.870
Mart	126.7	57.96	6.07	126.6	117.6	119.7	117.0	0.855
Nisan	159.9	67.61	10.61	159.8	149.6	147.7	141.3	0.818
Mayıs	206.8	71.46	15.24	206.6	194.4	185.3	177.5	0.795
Haziran	227.2	65.16	19.76	227.1	214.4	198.6	189.8	0.773
Temmuz	238.4	63.38	23.56	238.2	224.6	204.1	195.7	0.760
Ağustos	223.5	51.58	23.66	223.4	210.1	191.3	183.5	0.760
Eylül	175.2	44.67	18.11	175.1	163.5	154.7	151.2	0.799
Ekim	119.3	37.52	12.34	119.3	109.7	108.8	106.4	0.825
Kasım	76.6	31.10	5.57	76.4	69.2	71.2	69.6	0.843
Aralık	63.5	22.99	0.98	63.4	56.4	59.6	58.1	0.848
Yıl	1772.7	577.45	11.41	1771.2	1650.6	1590.4	1535.9	0.802

Açıklama

GlobHor Global yatay ışınlama

DiffHor Yatay difüz ışınlama

T_Amb Çevre sıcaklığı

GlobInc Kolektöre yansıyan global

GlobEff IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global

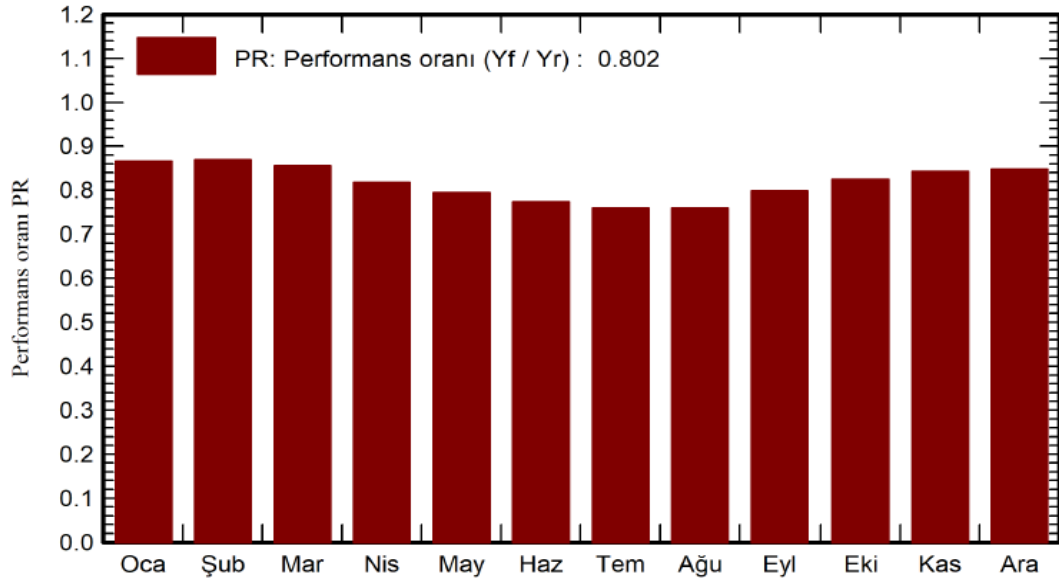
EArray Dizinin çıkışında etkin enerji

E_Grid Şebekeye enjekte edilen enerji

PR Performans oranı

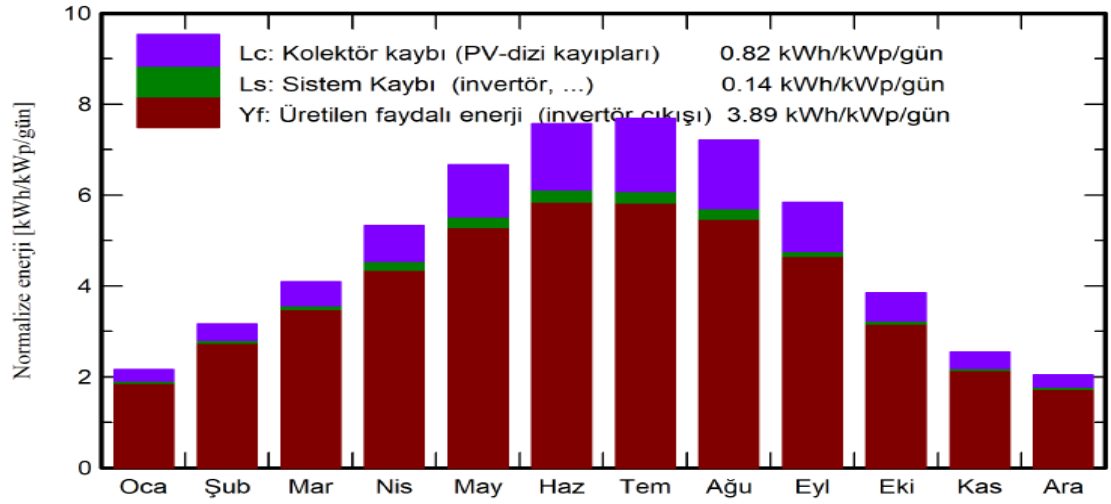
Şekil 4.60. Santralin aylık üretim değerleri

Şekil 4.61’de yer aldığı üzere ikinci parametre olan performans oranı %80.2’dir. Aylık olarak belirtilmiştir. Üçüncü parametre spesifik verim ise 1421 kWh/kWp/yıl’dır.



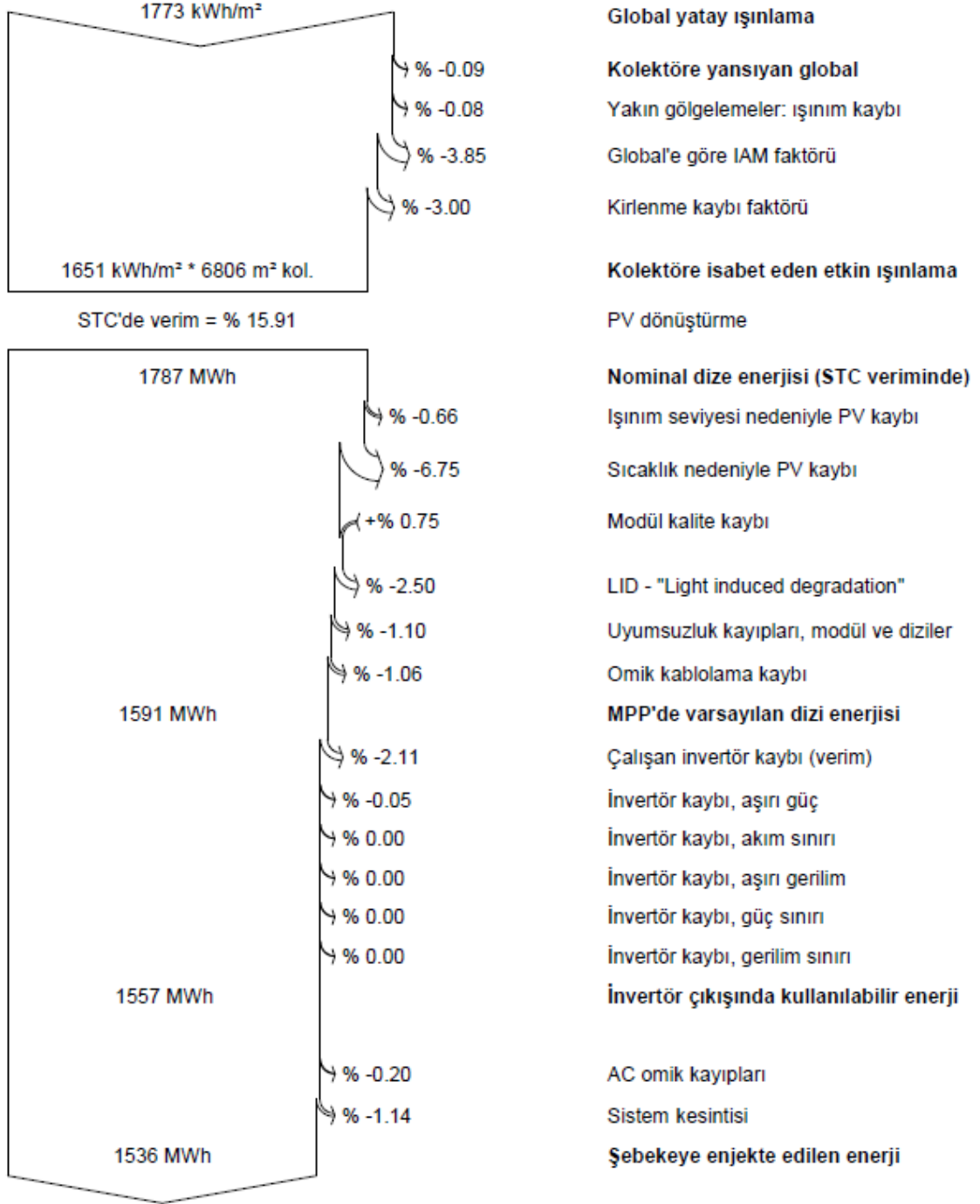
Şekil 4.61. Aylara göre performans oranı grafikleri

Şekil 4.62’de ise Lc 0.82 kWh/kWp/gün, toplama kayıpları veya FV dizi yakalama kayıplarıdır. Ls, sistem evirici kaybıdır 0.14 kWh/kWp/gün’dür. Yf, üretilen faydalı enerji 3,89 kWh/kWp/gün’dür.



Şekil 4.62. Normalize üretim grafiği

Üretim tesisinde karşılaşılabilecek çeşitli kayıplar mevcuttur. Şekil 4.63’de sistem kayıp diyagramı yer almaktadır.



Şekil 4.63. Sistem kayıplar diyagramı

Yatay düzlemde küresel ışınlanma 1773 kWh/m^2 'dir. Kolektör üzerindeki etkili ışınım 1651 kWh/m^2 'dir. Bu etkili ışınlama bir fotovoltaik panel veya dizinin yüzeyine düştüğünde, elektrik enerjisi üretilir. FV dönüşümünden sonra, standart test koşullarında (STC) nominal enerji 1787 MWh 'dir. FV dizisinin STC'deki verimi %15,91 dir. MPP'de yıllık dizi enerjisi 1591 MWh 'dir. Bu aşamada meydana gelen çeşitli kayıplar sıcaklık nedeniyle %6.75, Omik kayıp ise %1.06, AC omik kayıp %0.2, gölgelenme %0.08,

panel LID kaybı %2.5'tür. Evirici çıkış tesisinde yıllık bazda mevcut enerji 1557 MWh olup aynı şebekeye aktarılmaktadır. AC omik kayıplar ve olası sistem kesintisi kayıplarından dolayı yıllık şebekeye aktarılan elektrik enerjisi 1536 MWh olarak bulunmuştur.

4.2.1.2.2. Pvgis veri tabanına göre simülasyon sonuçları

Sistem üretim analizi Pvsyst programı tarafından gerçekleştirildiğinde simülasyon sonuçlarından parametreler değerlendirilmiştir. İlk parametre, 1081,08 kWp fotovoltaik sistemden yıllık olarak üretilen enerji, 1484,5 MWh/yıl olarak üretilen toplam enerji miktarıdır. PVGIS veri tabanına göre Kayseri ili için yatay düzlemde yıllık küresel ışıınım değeri Şekil 4.64'de yer aldığı üzere 1710,8 kWh/m²'dir. Optik düzeltmeler olmadan toplayıcıda yıllık bazda küresel yüzey ışıınımı ve optik kayıplardan sonra etkin küresel ışıınım, 1710,2 kWh/m² ve 1598,3 kWh/m²'dir. Bu etkili ışıınımla birlikte, FV dizisinden üretilen yıllık toplam DC enerji ve şebekeye aktarılan yıllık toplam AC enerji sırasıyla 1535,6 MWh ve 1484,5 MWh'dir. Santral performans oranı %80.3 olarak hesaplanmıştır. Şebekeye aktarılan maksimum aylık enerji 189,2 MWh ile Haziran ayında gerçekleşeceği görülmektedir.

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR oran
Ocak	54.8	30.85	0.10	54.6	49.7	52.1	50.7	0.859
Şubat	77.2	39.88	2.84	77.1	70.8	73.7	71.9	0.863
Mart	133.0	57.20	5.97	132.9	123.6	125.1	122.2	0.850
Nisan	164.8	69.21	7.91	164.7	154.7	153.1	149.6	0.840
Mayıs	174.3	82.93	14.83	174.2	164.1	157.8	152.5	0.810
Haziran	227.8	68.47	20.77	227.7	215.3	197.7	189.2	0.769
Temmuz	224.3	69.90	22.01	224.2	211.7	194.5	186.3	0.768
Ağustos	225.8	55.05	21.86	225.8	212.9	195.5	187.7	0.769
Eylül	174.0	47.55	22.81	174.1	162.9	150.6	144.1	0.766
Ekim	124.7	42.16	12.85	124.7	115.3	113.9	111.4	0.826
Kasım	74.5	27.66	6.83	74.5	67.6	69.5	67.9	0.842
Aralık	55.6	27.54	1.84	55.5	49.9	52.2	50.9	0.848
Yıl	1710.8	618.41	11.76	1710.2	1598.3	1535.6	1484.5	0.803

Açıklama

GlobHor Global yatay ışıınlama

DiffHor Yatay difüz ışıınlama

T_Amb Çevre sıcaklığı

GlobInc Kolektöre yansıyan global

GlobEff IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global

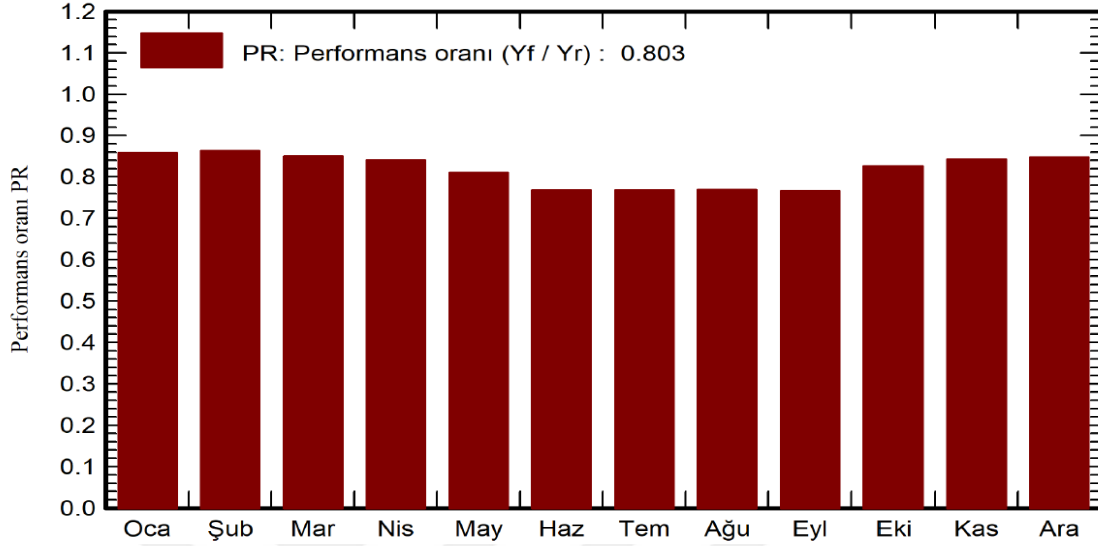
EArray Dizin çıkışında etkin enerji

E_Grid Şebekeye enjekte edilen enerji

PR Performans oranı

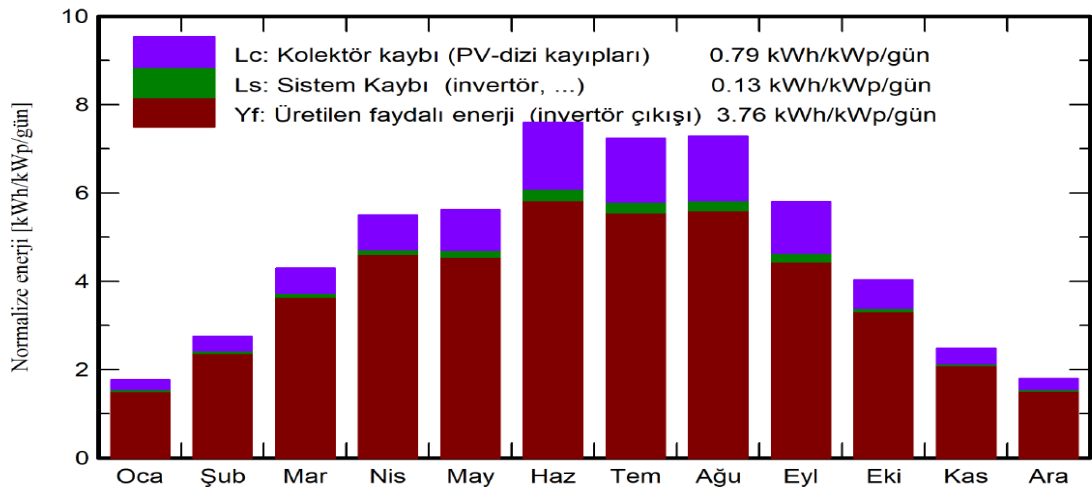
Şekil 4.64. Santralin aylık üretim değerleri

Şekil 4.65’de yer aldığı üzere ikinci parametre olan performans oranı %80.3’dir. Aylık olarak belirtilmiştir. Üçüncü parametre spesifik verim ise 1373 kWh/kWp/yıl’dır.



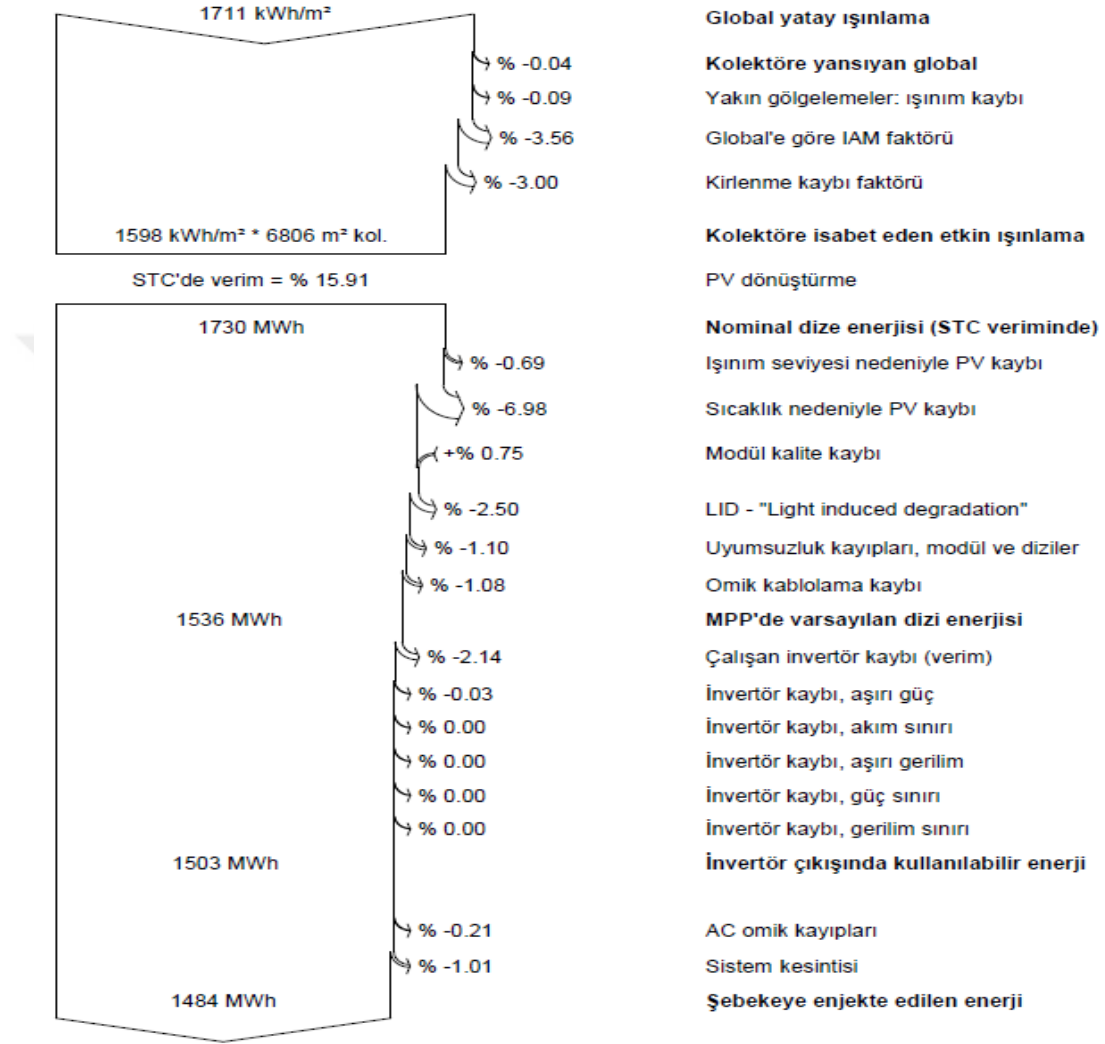
Şekil 4.65. Aylara göre performans oranı grafikleri

Şekil 4.66’da ise Lc 0.79 kWh/kWp/gün, toplama kayıpları veya FV dizi yakalama kayıplarıdır. Ls, sistem evirici kaybıdır 0.13 kWh/kWp/gün’dür. Yf, üretilen faydalı enerji 3,76 kWh/kWp/gün’dür.



Şekil 4.66. Normalize üretim grafiği

Üretim tesisinde karşılaşılabilecek çeşitli kayıplar mevcuttur. Şekil 4.67’de sistem kayıp diyagramı yer almaktadır.



Şekil 4.67. Sistem kayıplar diyagramı

Yatay düzlemde küresel ışınlama 1711 kWh/m^2 'dir. Kolektör üzerindeki etkili ışınlım 1598 kWh/m^2 'dir. Bu etkili ışınlama bir fotovoltaik panel veya dizinin yüzeyine düştüğünde, elektrik enerjisi üretilir. FV dönüşümünden sonra, standart test koşullarında (STC) nominal enerji 1730 MWh 'dir. FV dizisinin STC'deki verimi %15,91 dir. MPP'de yıllık dize enerjisi 1536 MWh 'dir. Bu aşamada meydana gelen çeşitli kayıplar sıcaklık nedeniyle %6.98, Omik kayıp ise %1.08, AC omik kayıp %0.21, gölgelenme %0.09, panel LID kaybı %2.5'tür. Evirici çıkış tesisinde yıllık bazda mevcut enerji 1503 MWh

olup aynı şebekeye aktarılmaktadır. AC omik kayıplar ve olası sistem kesintisi kayıplarından dolayı yıllık şebekeye aktarılan elektrik enerjisi 1484 MWh olarak bulunmuştur.

4.2.1.2.3. NASA veri tabanına göre simülasyon sonuçları

Sistem üretim analizi Pvsyst programı tarafından gerçekleştirildiğinde simülasyon sonuçlarından parametreler değerlendirilmiştir. İlk parametre, 1081,08 kWp fotovoltaik sistemden yıllık olarak üretilen enerji, 1453,6 MWh/yıl olarak üretilen toplam enerji miktarıdır. NASA veri tabanına göre Kayseri ili için yatay düzlemde yıllık küresel ışınım değeri Şekil 4.68’de yer aldığı üzere 1659,6 kWh/m²’dir. Optik düzeltmeler olmadan toplayıcıda yıllık bazda küresel yüzey ışınımı ve optik kayıplardan sonra etkin küresel ışınım, 1658,3 kWh/m² ve 1544,3 kWh/m²’dir. Bu etkili ışınım ile birlikte, FV dizisinden üretilen yıllık toplam DC enerji ve şebekeye aktarılan yıllık toplam AC enerji sırasıyla 1504,6 MWh ve 1453,6 MWh’dir. Santral performans oranı %81.1 olarak hesaplanmıştır. Şebekeye aktarılan maksimum aylık enerji 190,7 MWh ile Haziran ayında gerçekleşeceği görülmektedir.

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR oran
Ocak	67.6	25.73	-1.48	67.5	61.0	64.9	63.2	0.866
Şubat	82.3	31.64	-0.79	82.2	75.3	79.4	77.5	0.873
Mart	126.5	46.81	3.21	126.4	117.5	120.8	118.0	0.864
Nisan	149.7	58.80	9.08	149.6	140.1	139.4	136.2	0.842
Mayıs	185.7	69.13	13.86	185.4	174.5	167.5	160.3	0.800
Haziran	213.6	63.60	17.80	213.6	201.4	190.0	181.5	0.786
Temmuz	227.8	58.59	20.81	227.6	214.5	197.2	190.7	0.775
Ağustos	204.0	52.08	20.52	203.8	191.4	177.7	169.7	0.770
Eylül	158.1	42.30	17.25	158.0	147.2	140.7	134.6	0.788
Ekim	113.5	35.65	11.83	113.5	104.3	103.9	101.6	0.828
Kasım	72.9	26.70	4.71	72.8	65.7	68.3	66.7	0.848
Aralık	58.0	23.25	-0.14	58.0	51.6	54.9	53.5	0.853
Yıl	1659.6	534.28	9.78	1658.3	1544.3	1504.6	1453.6	0.811

Açıklama

GlobHor Global yatay ışınlama

DiffHor Yatay difüz ışınlama

T_Amb Çevre sıcaklığı

GlobInc Kolektöre yansıyan global

GlobEff IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global

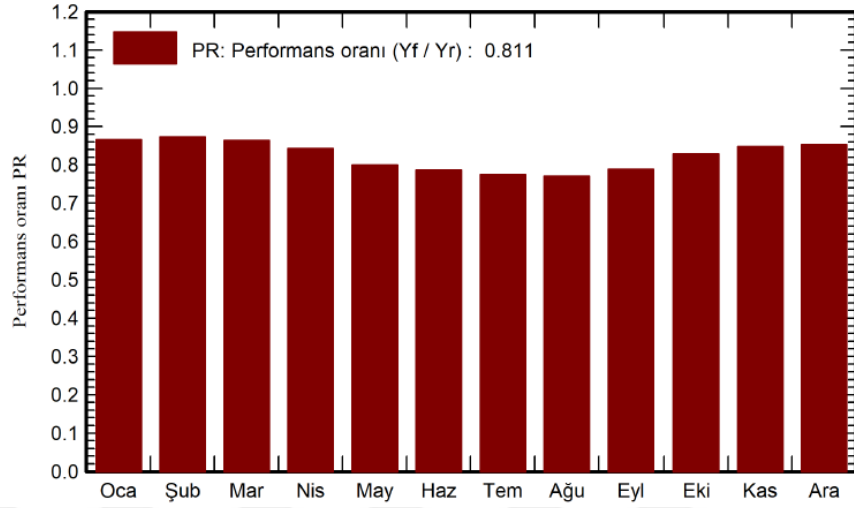
EArray Dizin çıkışında etkin enerji

E_Grid Şebekeye enjekte edilen enerji

PR Performans oranı

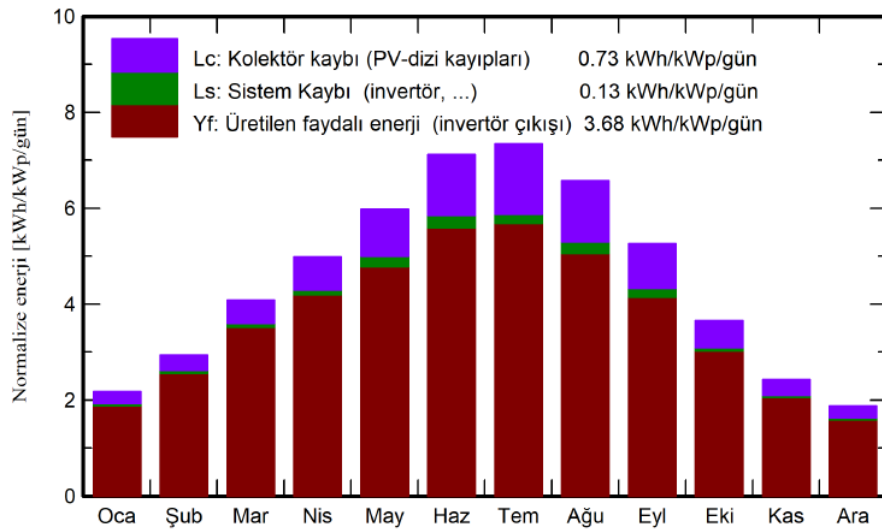
Şekil 4.68. Santralin aylık üretim değerleri

Şekil 4.69’da yer aldığı üzere ikinci parametre olan performans oranı %81.1’dir. Aylık olarak belirtilmiştir. Üçüncü parametre spesifik verim ise 1345 kWh/kWp/yıl’dır.



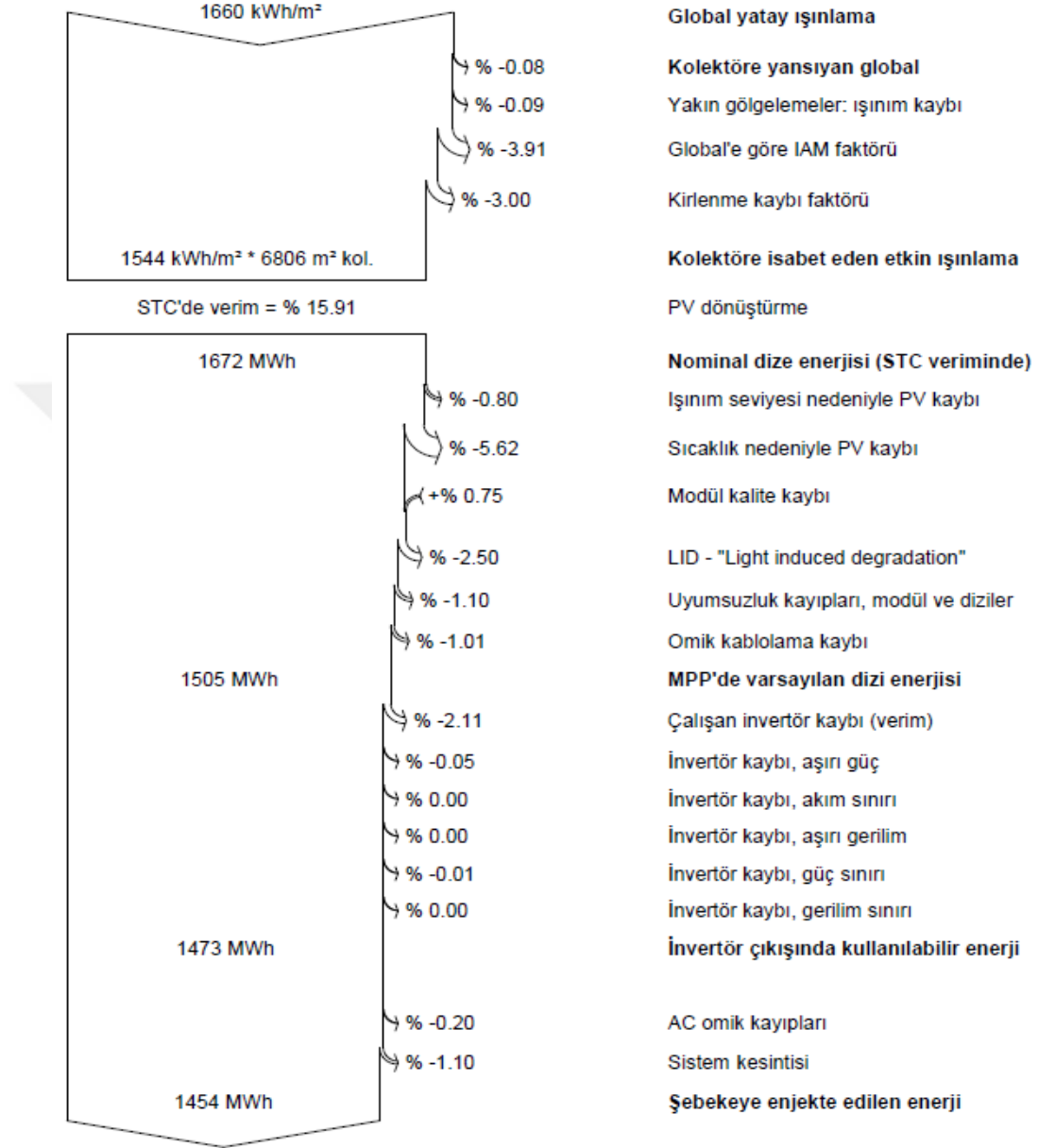
Şekil 4.69. Aylara göre performans oranı grafikleri

Şekil 4.70’de ise Lc 0.73 kWh/kWp/gün, toplama kayıpları veya FV dizi yakalama kayıplarıdır . Ls, sistem evirici kaybıdır 0.13 kWh/kWp/gün’dür. Yf, üretilen faydalı enerji 3,68 kWh/kWp/gün’dür.



Şekil 4.70. Normalize üretim grafiği

Üretim tesisinde karşılaşılabilecek çeşitli kayıplar mevcuttur. Şekil 4.71'de sistem kayıp diyagramı yer almaktadır.



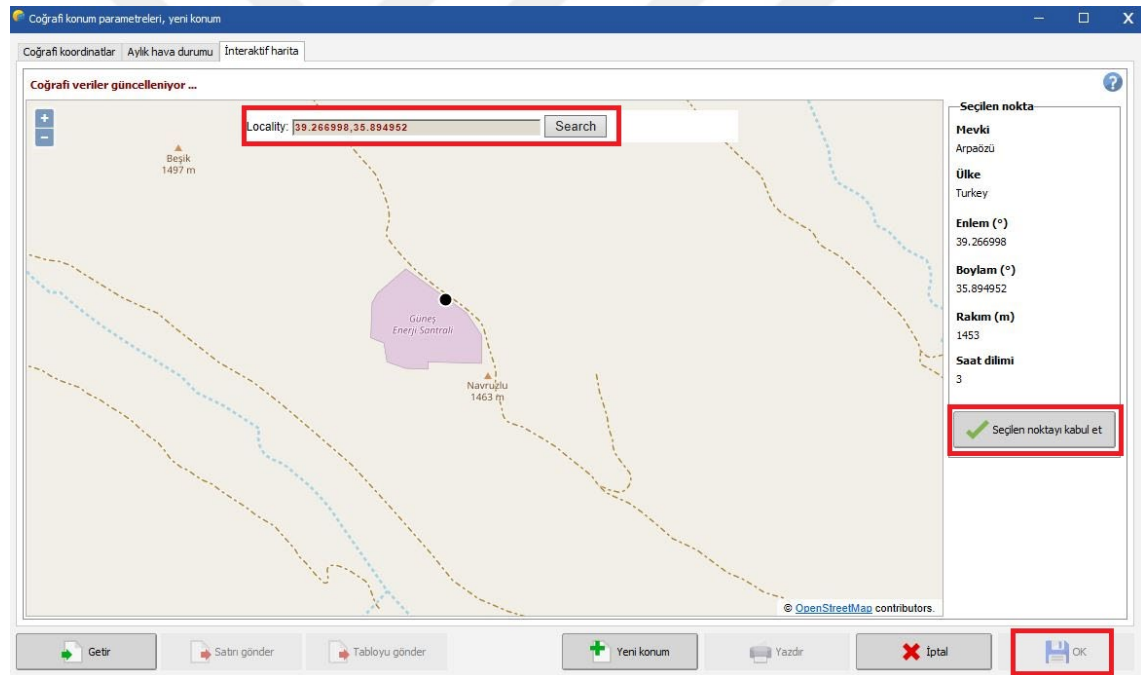
Şekil 4.71. Sistem kayıplar diyagramı

Yatay düzlemde küresel ışınlama 1660 kWh/m^2 'dir. Kolektör üzerindeki etkili ışınlam 1544 kWh/m^2 'dir. Bu etkili ışınlama bir fotovoltaik panel veya dizinin yüzeyine düştüğünde, elektrik enerjisi üretilir. FV dönüşümünden sonra, standart test koşullarında (STC) nominal enerji 1672 MWh 'dir. FV dizisinin STC'deki verimi %15,91 dir. MPP'de yıllık dizi enerjisi 1505 MWh 'dir. Bu aşamada meydana gelen çeşitli kayıplar sıcaklık

nedeniyle %5.62, Omik kayıp ise %1.01, AC omik kayıp %0.20, gölgelenme %0.09, panel LID kaybı %2.5'tür. Evirici çıkış tesisinde yıllık bazda mevcut enerji 1473 MWh olup aynı şebekeye aktarılmaktadır. AC omik kayıplar ve olası sistem kesintisi kayıplarından dolayı yıllık şebekeye aktarılan elektrik enerjisi 1454 MWh olarak bulunmuştur.

4.2.1.3. Alamettin-1 güneş enerji santrali pvsyst simülasyonları

Güneş enerji santrali kurulumu yapılacak tesisin Şekil 4.72'de konumu manuel veya enlem-boylam verileri girilerek santral lokasyonu simülasyon programında tanımlanır.



Şekil 4.72. Alamettin-1 güneş enerji santrali pvsyst'ten konumunun seçilmesi

Şekil 4.73'de yer aldığı üzere çevrimiçi haritadan konum bilgisi girişi yapıldıktan sonra konum adı yazılır. Coğrafi koordinatların olduğu bölümde konum enlemi, boylamı, yükseltisi ve saat dilimi program tarafından belirlenmiştir. Programın sağ tarafında hangi meteorolojik veritabanı kullanılacağı seçilir. Pvsyst yazılımı ile PVSOL yazılımının sonuçları arasında karşılaştırma yapmak için Meteororm, PVGIS yazılımı ile karşılaştırmak için PVGIS meteorolojik veritabanı seçilmiştir.

Coğrafi konum parametreleri, yeni konum

Coğrafi koordinatlar | Aylık hava durumu | İnteraktif harita

Konum

Konum adı: Arpaözü

Ülke: Türkiye Bölge: Avrupa

Coğrafi koordinatlar

Coğrafi veriler haritadan başarıyla alınmıştır.

Güneş yörüngesi

Enlem: 39.2670 Der. Dk. Sn. 39 16 1 (+ = Kuzey, - = Güney yarıküresi)

Boylam: 35.8950 35 53 41 (+ = Doğu, - = Greenwich'in batısı)

Rakım: 1453 Deniz seviyesi üzerinde m.

Saat dilimi: 3.0 Ortalama bir farka tekabül ediyor

Yasal zamanı - Güneş zamanı = 0s 36dk

İsimden al

Hava durumu verilerini getir

☒ Meteororm 8.0

☐ NASA-SSE

☐ PVGIS TMY Sürüm: 5.2

☐ NREL / NSRDB TMY

☐ Solcast TMY

Getir

Getir Satın gönder Tabloyu gönder Yeni konum Yazdır İptal OK

Şekil 4.73. Alametlin-1 güneş enerji santrali meteororm veri tabanı seçimi

Coğrafi konum parametreleri, yeni konum

Coğrafi koordinatlar | Aylık hava durumu | İnteraktif harita

Konum

Konum adı: Arpaözü

Ülke: Türkiye Bölge: Avrupa

Coğrafi koordinatlar

Güneş yörüngesi

Enlem: 39.2670 Der. Dk. Sn. 39 16 1 (+ = Kuzey, - = Güney yarıküresi)

Boylam: 35.8950 35 53 41 (+ = Doğu, - = Greenwich'in batısı)

Rakım: 1453 Deniz seviyesi üzerinde m.

Saat dilimi: 3.0 Ortalama bir farka tekabül ediyor

Yasal zamanı - Güneş zamanı = 0s 36dk

İsimden al

Hava durumu verilerini getir

☒ Meteororm 8.0

☐ NASA-SSE

☒ PVGIS TMY Sürüm: 5.2

☐ NREL / NSRDB TMY

☐ Solcast TMY

Getir

Getir Satın gönder Tabloyu gönder Yeni konum Yazdır İptal OK

Şekil 4.74. Alametlin-1 güneş enerji santrali pvgis veri tabanı seçimi

Konum

Konum adı: Arpaözü

Ülke: Türkiye Bölge: Avrupa

Coğrafi koordinatlar

Ondalık Der. Dk. Sn. (+ = Kuzey, - = Güney yarıküresi)

Enlem: 39.2670 [°] 39 16 1

Boylam: 35.8950 [°] 35 53 41 (+ = Doğu, - = Greenwich'in batısı)

Rakım: 1453 Deniz seviyesi üzerinde m.

Saat dilimi: 3.0 Ortalama bir farka tekabül ediyor

Yasal zamanı - Güneş zamanı = 0s 36dk

Hava durumu verilerini getir

☐ Meteororm 8.0

☒ NASA SSE

☐ PVGIS TMY

☐ NREL / NSRDB TMY

☐ Solcast TMY

Sürüm: 5.2

Getir

Şekil 4.75. Alametlin-1 güneş enerji santrali NASA veri tabanı seçimi

Meteororm 8.0 santralin yer aldığı konumdaki 2005-2013 yıllarında ortalama aldığı meteoroloji verileri, NASA 1983-2005 yılları arasında aylara göre ortalama değerleri veri tablosu oluşturmuştur. Şekil 4.76 ve Şekil 4.77'de yer aldığı üzere Meteororm ve PVGIS veri tabanları ile global yatay ışıma, yatay difüz ışınlama, sıcaklık, rüzgar hızı, bağıl nem değerleri alınabilirken NASA veritabanında rüzgar hızı ve bağıl nem değerleri alınamamaktadır.

Konum Arpaözü (Türkiye)

Veri kaynağı: Meteororm 8.0 (2005-2013), Sat=% 100

	Global yatay ışınlama kWh/m ² /ay	Yatay difüz ışınlama kWh/m ² /ay	Sıcaklık °C	Rüzgar hızı m/s	Linke bulanklığı [%]	Bağıl nem %
Ocak	61.7	29.0	-2.3	2.20	2.519	76.0
Şubat	85.0	33.0	-0.3	2.20	2.830	72.1
Mart	127.2	42.6	4.4	2.40	3.306	64.6
Nisan	159.5	64.0	9.3	2.39	3.781	57.0
Mayıs	208.3	68.0	13.9	2.19	3.388	57.2
Haziran	230.0	62.1	17.6	2.30	2.955	55.7
Temmuz	234.4	58.8	21.6	2.49	2.848	47.4
Ağustos	226.1	47.4	22.0	2.39	2.843	46.3
Eylül	177.1	43.2	17.0	1.90	2.703	51.9
Ekim	122.8	38.3	11.5	1.79	2.905	60.8
Kasım	77.0	26.6	5.3	1.69	2.623	66.6
Aralık	62.4	24.7	0.0	1.99	2.481	73.6
Yıl	1771.5	537.7	10.0	2.2	2.932	60.8

Global yatay ışınlama yıldan yıla değişkenlik 4.3%

Zorunlu veriler

- ☒ Global yatay ışınlama
- ☒ Ortalama dış sıcaklık

İlave veriler

- ☒ Yatay difüz ışınlama
- ☒ Rüzgar hızı
- ☒ Linke bulanklığı
- ☒ Bağıl nem

İşinleme birimi

- ☐ kWh/m²/gun
- ☒ kWh/m²/ay
- ☐ MJ/m²/gun
- ☐ MJ/m²/ay
- ☐ W/m²
- ☐ Netlik endeksi Kt

Şekil 4.76. Alametlin-1 güneş enerji santrali meteororm aylık meteorolojik veriler

Coğrafi konum parametreleri, yeni konum

Coğrafi koordinatlar | Aylık hava durumu | İnteraktif harita

Konum: **Arpaözü (Turkey)**

Veri kaynağı: **PVGIS TMY 5.2**

	Global yatay ışınlama kWh/m ² /ay	Yatay difüz ışınlama kWh/m ² /ay	Sıcaklık °C	Rüzgar hızı m/s	Bağıl nem %
Ocak	44.9	28.8	-3.5	2.00	78.6
Şubat	78.8	38.8	0.9	2.25	74.7
Mart	123.9	58.9	1.6	2.47	69.1
Nisan	164.4	70.2	7.8	2.49	60.9
Mayıs	188.9	75.2	11.4	2.24	63.5
Haziran	220.5	74.8	16.1	2.38	54.5
Temmuz	257.1	60.0	19.8	2.85	44.0
Ağustos	224.2	64.7	19.4	2.69	41.5
Eylül	153.1	56.8	13.6	2.09	52.7
Ekim	125.6	40.0	6.7	2.36	59.9
Kasım	73.9	31.8	2.7	1.88	70.1
Aralık	53.8	30.0	1.7	2.17	76.9
Yıl	1708.9	630.0	8.2	2.3	62.2

Zorunlu veriler

- ☒ Global yatay ışınlama
- ☒ Ortalama dış sıcaklık

İlave veriler

- ☒ Yatay difüz ışınlama
- ☒ Rüzgar hızı
- ☐ Linke bulanıklığı
- ☒ Bağıl nem

İşleme birimi

- ☐ kWh/m²/gün
- ☒ kWh/m²/ay
- ☐ MJ/m²/gün
- ☐ MJ/m²/ay
- ☐ W/m²
- ☐ Netlik endeksi Kt

Getir | Satın gönder | Tabloyu gönder | Yeni konum | Yazdır | İptal | OK

Şekil 4.77. Alametlin-1 güneş enerji santrali pygis aylık meteorolojik veriler

Coğrafi konum parametreleri, yeni konum

Coğrafi koordinatlar | Aylık hava durumu | İnteraktif harita

Konum: **Arpaözü (Türkiye)**

Veri kaynağı: **NASA-SSE satellite data 1983-2005**

	Global yatay ışınlama kWh/m ² /ay	Yatay difüz ışınlama kWh/m ² /ay	Sıcaklık °C
Ocak	64.5	24.8	-2.0
Şubat	79.0	30.8	-1.4
Mart	122.1	46.5	2.8
Nisan	147.6	58.5	8.7
Mayıs	187.5	68.2	13.1
Haziran	212.7	63.9	16.5
Temmuz	226.3	58.9	19.1
Ağustos	199.6	52.7	18.9
Eylül	154.8	42.3	15.9
Ekim	111.3	34.7	10.9
Kasım	69.6	25.8	4.3
Aralık	53.9	22.6	-0.4
Yıl	1629.0	529.8	8.9

Zorunlu veriler

- ☒ Global yatay ışınlama
- ☒ Ortalama dış sıcaklık

İlave veriler

- ☒ Yatay difüz ışınlama
- ☐ Rüzgar hızı
- ☐ Linke bulanıklığı
- ☐ Bağıl nem

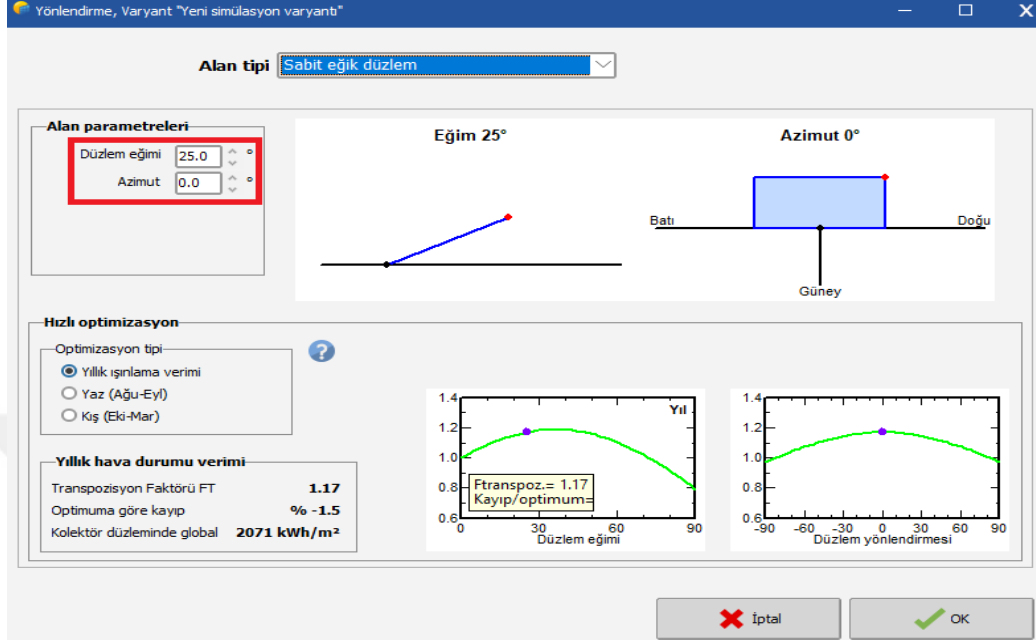
İşleme birimi

- ☐ kWh/m²/gün
- ☒ kWh/m²/ay
- ☐ MJ/m²/gün
- ☐ MJ/m²/ay
- ☐ W/m²
- ☐ Netlik endeksi Kt

Getir | Satın gönder | Tabloyu gönder | Yeni konum | Yazdır | İptal | OK

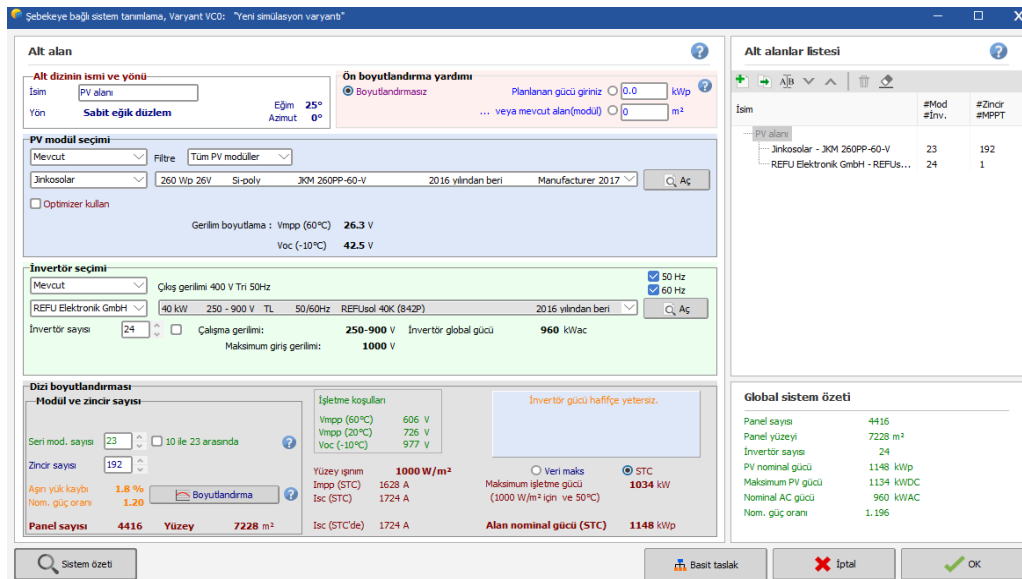
Şekil 4.78. Alametlin-1 güneş enerji santrali NASA aylık meteorolojik veriler

Pvsyst yazılımında santralde panel yerleşiminin bulunduğu yönlerin azimut açısı değerleri ve panel eğimi Şekil 4.79'da ki gibi belirtilir.



Şekil 4.79. Alametlin-1 güneş enerji santrali yönlendirme ekranı

Sistem seçiminde tesiste kullanılan panel, inverter marka ve güçleri, her azimut yönünde bulunan string sayıları tanımlanır (Şekil 4.80).



Şekil 4.80. Alametlin-1 güneş enerji santrali sistem tasarım ekranı-1

Şekil 4.81. Termal kayıpların tanımlanması

Şekil 4.82’de yer aldığı üzere ortalama DC gerilim düşümü değeri, inverter ile GES AGP arasında kullanılan kablo türü (Bakır/Alüminyum), kablo kesiti ve ortalama metraj değerleri girilerek kablo kayıpları tanımlanır. Paneller ile inverter arasında enerji taşımada kullanılan DC kablolarda gerilim düşümü meydana gelmektedir ve bu değer ortalama %1,5 olarak tanımlanmıştır. Paneller etrafında bulunan baca, parapet vb. engellerden kaynaklı panel yüzeyine gölge düşmesi durumunda panel junction box içerisinde bulunan bypass diyotlar devreye girerek gölge düşen bölümü devre dışı bırakır. Bu esnada 0,7 V’luk diyot gerilimi düşümü meydana gelir. Santrale ait tek hat şemasında yer aldığı üzere inverter ile GES AGP arasında 5x25 mm² kesitinde bakır kablo kullanıldığı ve ortalama metrajın 40 metre olduğu Şekil 4.82’de yer aldığı gibi tanımlanmaktadır. Ayrıca fotovoltaik santralde üretilen enerjinin orta gerilim seviyesinden şebekeye aktarımını sağlamak için kullanılan trafo da meydana gelen bakır, demir ayıpları ve kablo gerilim düşümü kayıp olarak dahil edilir.

PV alan kayıpları için parametreler

Termal parametre | Omik kayıplar | Modüllerin kalitesi - LID - Uyumsuzluk | Kirlenme kaybı | IAM kayıplar | Yardımcılar | Yaşlanma | Kullanılabilirlik | Spektral düzeltme

DC devre: alan için omik kayıplar

Tanımlama modu

☐ Global kablolama direnci 6.595 mΩ ☐ Hesaplanmış

☒ STC'de kayıp oranı 1.50 % ☒ Varsayılan

Seri diyotun gerilim düşüşü 0.7 V ☒ Varsayılan

İnvertörden sonra AC kayıpları

İnvertör - OG trafo AC kablolama kayıpları (invertör başına)

☒ AC devresinin omik kaybını tanımla

İnvertörden trafoya uzunluk 40.0 m Kablo kesiti 25 mm²

STC'de kayıp oranı 0.88 %

STC: Pac = 46.9 kW, Vac = 400 V Tri, I = 67.7 A

STC'de gerilim düşüşü 3.5 V (% 0.88)

☒ Bir veya daha fazla OG trafosu kullanır

☐ YG trafo kullan

Orta gerilim hattı

OG hat gerilimi 31.5 kV

Trafo'dan enjeksiyon noktasına uzunluk 40 m Kablo kesiti 95 mm²

STC'de kayıp oranı 0.00 %

STC: Pac = 1125 kW, Vac = 31.5 kV Tri, I = 20.6 A

STC'de gerilim düşüşü 0.5 V (% 0.00)

Harici transformatör, Orta gerilim

OG trafo, tüm sistem

OG gerilim trafo sayısı 1 ☐ gece kesilmesi

Genel değerler

Referans Pac(STC) 1125 kW

Demir kaybı (sabit değer) 0.10 % 1.12 kW ☒ varsayılan

Direnç kaybı (bakır) 1.00 STC'de % ☒ varsayılan

Trafo eşdeğer direnci 3 x 1.42 mΩ

Transformatör özellikleri

☐ Trafo özelliklerini kullan

Nominal güç N/A kVA

Demir kayıpları (boşta) N/A kVA

PNom'da bakır (dirençli) kaybı N/A kVA

PNom'da global kayıp N/A kVA

PNom'da global verim N/A %

Şekil 4.82. Dc ve ac kablo gerilim düşümü tanımlaması

Stringde yer alan panellerin birbirleri arasındaki gerilim, akım vb nedenlerden kaynaklı meydana gelen uyumsuzluk kayıpları %1, panelin ilk güneş ışığına maruz kaldığı anda meydana gelen LID kayıpları panel datasheet verisinden bakılarak %2.5 olarak tanımlanmıştır (Şekil 4.83).

PV alan kayıpları için parametreler

İlgili alt alan Alt alan #1

Termal parametre | Omik kayıplar | Modüllerin kalitesi - LID - Uyumsuzluk | Kirlenme kaybı | IAM kayıplar | Yardımcılar | Yaşlanma | Kullanılabilirlik | Spektral düzeltme

Modüllerin kalitesi

Modül verim kaybı -0.8 % ☒ varsayılan

Modül etkin verimliliğinin üreticinin belirttiği özelliklere göre sapması.

(negatif değer aşırı performans gösterir)

LID - "light induced degradation"

LID kayıp faktörü 2.5 % ☐ varsayılan

Kristalin silikon modüllerinin ilk çalışma saatlerinde STC imalat flaş testi değerlerine göre degradasyonu

Modül uyumsuzluk kaybı

Mpp'deki güç kayıpları 1.0 % ☐ varsayılan

Sabit gerilim işlem kayıpları 2.5 % ☒

MPPT işlemi sırasında kullanılmıyor

Zincir gerilim uyumsuzluğu

Mpp'deki güç kayıpları 0.1 % ☒ varsayılan

Şekil 4.83. Alamettin-1 güneş enerji santrali lid, mistmach kayıplarının tanımlanması

Fotovoltaik santralde yer alan paneller etrafında bulunan bacalar, kuş pisliği, egzoz gazları vb çevresel etkenler panel yüzeyine ulaşan ışınım miktarını etkilemektedir. Işınım miktarının azalması, santralden elde edilecek enerji miktarında düşmesine neden olmaktadır. Bunun etkisi yazılım üzerinde yıllık %3 olarak tanımlanmıştır (Şekil 4.84).

Kirlenme kaybı parametreleri tüm sistem için geçerlidir

Termal parametre Omik kayıplar Modüllerin kalitesi - LID - Uyumsuzluk Kirlenme kaybı IAM kayıplar Yardımcılar Yaşlanma Kullanılabilirlik Spektral düzeltme

Yıllık kirlenme faktörü

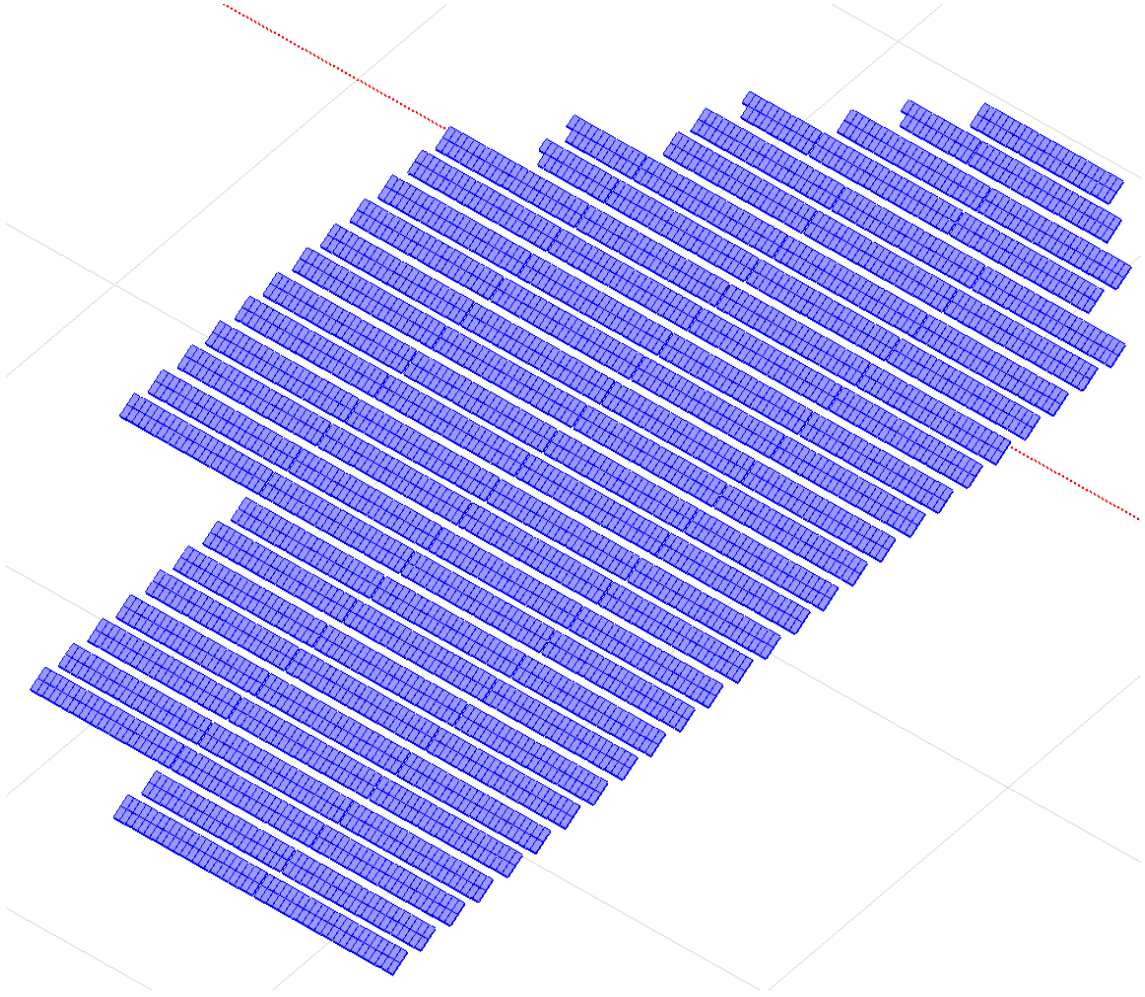
Yıllık kayıp faktörü 3.0 % ☐ Varsayılan ?

☐ Ayılık değeri belirle

Kayıp grafiği İptal OK

Şekil 4.84. Almettin-1 güneş enerji santrali kirlenme kayıplarının tanımlanması

Fotovoltaik sistemlerde herhangi bir panel yada panel grubunun üzerine gölge gelmesi durumunda panel ve string çıkış elektriksel parametrelerinde azalma meydana gelir. Bu durum üretilen enerji miktarını önemli ölçüde etkilemektedir. Gölgelemenmeden kaynaklı meydana gelecek kaybın belirlenmesi için Şekil 4.85’de yer aldığı üzere fotovoltaik paneller ve gölgeleme meydana getirebilecek unsurların çizimi gerçekleştirilmelidir.



Şekil 4.85. Alamettin-1 güneş enerji santrali pvsyst 3d gölgeleme sahnesi

Simülasyon programındaki tüm veriler ve kayıplar tanımlandıktan sonra program tarafından gerekli hesaplamalar yapılarak santrale ait aylık, yıllık üretim ve performans oranı değerleri, santralde meydana gelecek kayıplar rapor olarak sunulmaktadır.

4.2.1.3.1. Meteonorm veri tabanına göre simülasyon sonuçları

Sistem üretim analizi Pvsyst programı tarafından gerçekleştirildiğinde simülasyon sonuçlarından parametreler değerlendirilmiştir. İlk parametre, 1148,16 kWp fotovoltaik sistemden yıllık olarak üretilen enerji, 1878,3 MWh/yıl olarak üretilen toplam enerji miktarıdır. Meteonorm veri tabanına göre Kayseri ili için yatay düzlemde

yıllık küresel ışıınım değeri Şekil 4.86’da yer aldığı üzere 1771,5 kWh/m²’dir. Optik düzeltmeler olmadan toplayıcıda yıllık bazda küresel yüzey ışıınımı ve optik kayıplardan sonra etkin küresel ışıınım, 2032,8 kWh/m² ve 1875,7 kWh/m²’dir. Bu etkili ışıınımla birlikte, FV dizisinden üretilen yıllık toplam DC enerji ve şebekeye aktarılan yıllık toplam AC enerji sırasıyla 1968,2 MWh ve 1878,3 MWh’dir. Santral performans oranı %80.5 olarak hesaplanmıştır. Şebekeye aktarılan maksimum aylık enerji 211,1 MWh ile Ağustos ayında gerçekleşeceği görülmektedir.

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR oran
Ocak	61.7	29.04	-2.25	91.5	81.9	93.5	89.9	0.856
Şubat	85.0	33.03	-0.33	117.4	108.1	121.6	117.1	0.869
Mart	127.2	42.59	4.43	155.3	144.6	156.0	150.2	0.842
Nisan	159.5	64.02	9.27	173.5	161.0	170.2	160.2	0.804
Mayıs	208.3	68.01	13.94	208.8	193.4	201.0	190.4	0.794
Haziran	230.0	62.06	17.59	221.1	205.1	208.8	197.1	0.776
Temmuz	234.4	58.79	21.63	229.3	213.0	213.5	202.0	0.767
Ağustos	226.1	47.41	21.99	239.5	223.6	222.4	211.1	0.768
Eylül	177.1	43.22	17.02	212.0	198.3	202.8	195.8	0.805
Ekim	122.8	38.29	11.46	165.5	153.5	162.8	157.1	0.827
Kasım	77.0	26.55	5.28	116.7	105.6	116.0	111.7	0.834
Aralık	62.4	24.74	-0.01	102.3	87.6	99.5	95.8	0.816
Yıl	1771.5	537.74	10.06	2032.8	1875.7	1968.2	1878.3	0.805

Açıklama

GlobHor Global yatay ışıınlama

DiffHor Yatay difüz ışıınlama

T_Amb Çevre sıcaklığı

GlobInc Kolektöre yansıyan global

GlobEff IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global

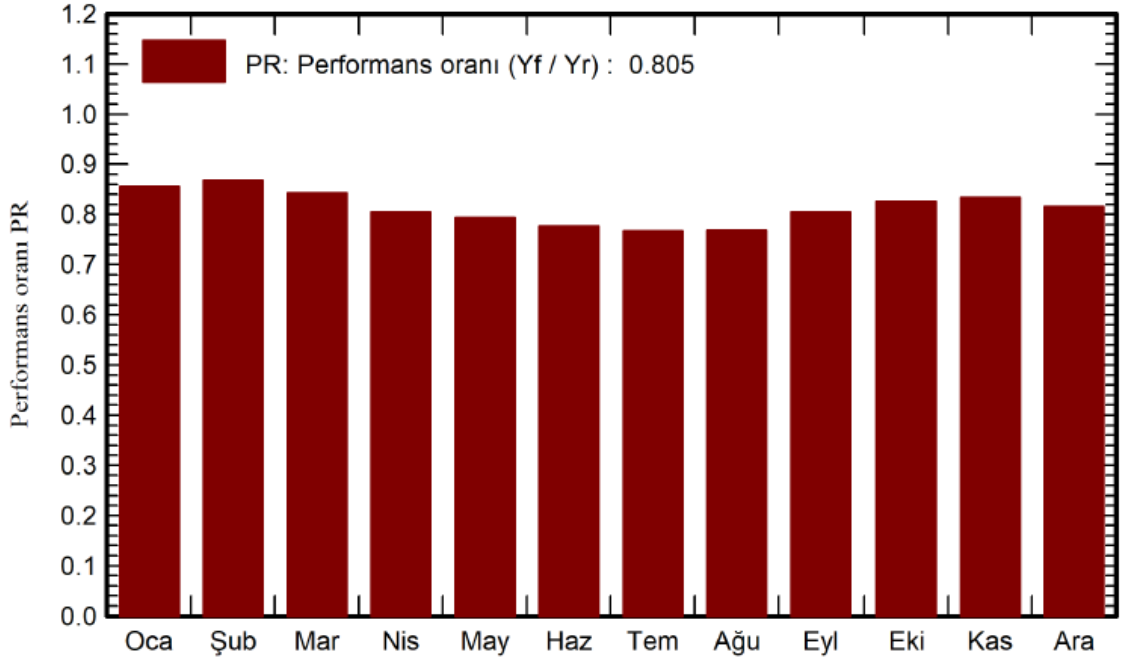
EArray Dizin çıkışında etkin enerji

E_Grid Şebekeye enjekte edilen enerji

PR Performans oranı

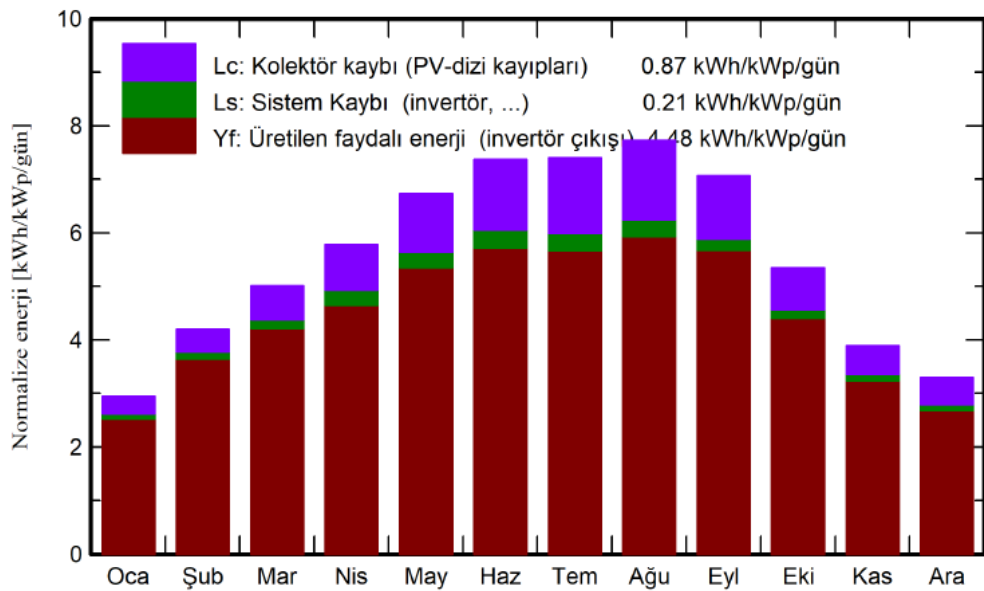
Şekil 4.86. Santralin aylık üretim değerleri

Şekil 4.87’de yer aldığı üzere ikinci parametre olan performans oranı %80.5’dir. Aylık olarak belirtilmiştir. Üçüncü parametre spesifik verim ise 1636 kWh/kWp/yıl’dır.



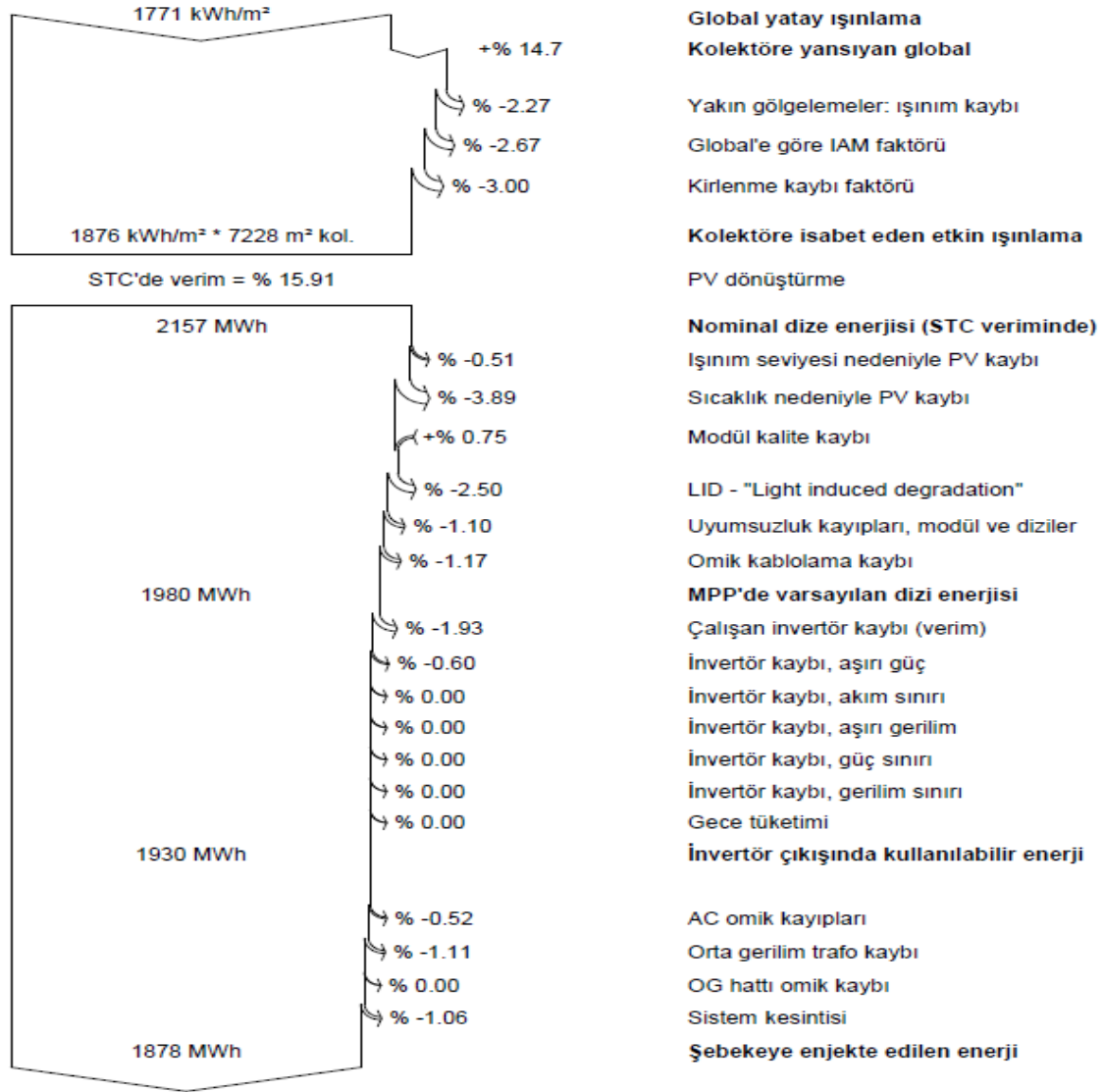
Şekil 4.87. Aylara göre performans oranı grafikleri

Şekil 4.88’de ise L_c 0.87 kWh/kWp/gün, toplama kayıpları veya FV dizi yakalama kayıplarıdır . L_s , sistem evirici kaybıdır 0.21 kWh/kWp/gün’dür. Y_f , üretilen faydalı enerji 4,48 kWh/kWp/gün’dür.



Şekil 4.88. Normalize üretim grafiği

Üretim tesisinde karşılaşılabilecek çeşitli kayıplar mevcuttur. Şekil 4.89'da sistem kayıp diyagramı yer almaktadır.



Şekil 4.89. Sistem kayıplar diyagramı

Yatay düzlemde küresel ışınlanma 1771 kWh/m^2 'dir. Kolektör üzerindeki etkili ışınım 1876 kWh/m^2 'dir. Bu etkili ışınım bir fotovoltaik panel veya dizinin yüzeyine düştüğünde, elektrik enerjisi üretilir. FV dönüşümünden sonra, standart test koşullarında (STC) nominal enerji 2157 MWh 'dir. FV dizisinin STC'deki verimi %15,91'dir. MPP'de yıllık dizi enerjisi 1980 MWh 'dir. Bu aşamada meydana gelen çeşitli kayıplar sıcaklık nedeniyle %3.89, Omik kayıp ise %1.17, AC omik kayıp %0.52, gölgeleme %2.27, panel LID kaybı %2.5'tür. Evirici çıkış tesisinde yıllık bazda mevcut enerji 1930 MWh

olup aynı şebekeye aktarılmaktadır. Trafo kayıpları, AC omik kayıplar ve olası sistem kesintisi kayıplarından dolayı yıllık şebekeye aktarılan elektrik enerjisi 1878 MWh olarak bulunmuştur.

4.2.1.3.2. Pvgis veri tabanına göre simülasyon sonuçları

Sistem üretim analizi Pvsyst programı tarafından gerçekleştirildiğinde simülasyon sonuçlarından parametreler değerlendirilmiştir. İlk parametre, 1148,16 kWp fotovoltaik sistemden yıllık olarak üretilen enerji, 1806,1 MWh/yıl olarak üretilen toplam enerji miktarıdır. PVGIS veri tabanına göre Kayseri ili için yatay düzlemde yıllık küresel ışıınım değeri Şekil 4.90'da yer aldığı üzere 1708,9 kWh/m²'dir. Optik düzeltmeler olmadan toplayıcıda yıllık bazda küresel yüzey ışıınımı ve optik kayıplardan sonra etkin küresel ışıınım, 1927,1 kWh/m² ve 1785,3 kWh/m²'dir. Bu etkili ışıınımla birlikte, FV dizisinden üretilen yıllık toplam DC enerji ve şebekeye aktarılan yıllık toplam AC enerji sırasıyla 1892,4 MWh ve 1806,1 MWh'dir. Santral performans oranı %81.6 olarak hesaplanmıştır. Şebekeye aktarılan maksimum aylık enerji 225 MWh ile Temmuz ayında gerçekleşeceği görülmektedir.

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR oran
Ocak	44.9	28.79	-3.49	59.6	53.5	61.2	58.6	0.856
Şubat	78.8	38.76	0.92	104.0	96.0	107.1	103.0	0.862
Mart	123.9	58.92	1.64	147.0	136.5	149.8	144.3	0.855
Nisan	164.4	70.23	7.83	178.5	166.1	177.1	170.8	0.833
Mayıs	188.9	75.22	11.43	191.1	177.8	186.6	179.9	0.820
Haziran	220.5	74.81	16.06	214.5	199.8	207.0	189.3	0.768
Temmuz	257.1	59.97	19.82	254.7	238.3	241.0	225.0	0.769
Ağustos	224.2	64.67	19.40	239.8	224.1	228.0	220.1	0.800
Eylül	153.1	56.82	13.57	178.9	166.5	175.0	168.9	0.822
Ekim	125.6	39.96	6.73	172.4	160.0	173.2	167.0	0.844
Kasım	73.9	31.85	2.72	107.3	97.6	108.2	104.1	0.845
Aralık	53.8	30.02	1.65	79.0	69.2	78.2	75.1	0.828
Yıl	1708.9	630.02	8.23	1927.1	1785.3	1892.4	1806.1	0.816

Açıklama

GlobHor Global yatay ışıınlama

DiffHor Yatay difüz ışıınlama

T_Amb Çevre sıcaklığı

GlobInc Kolektöre yansıyan global

GlobEff IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global

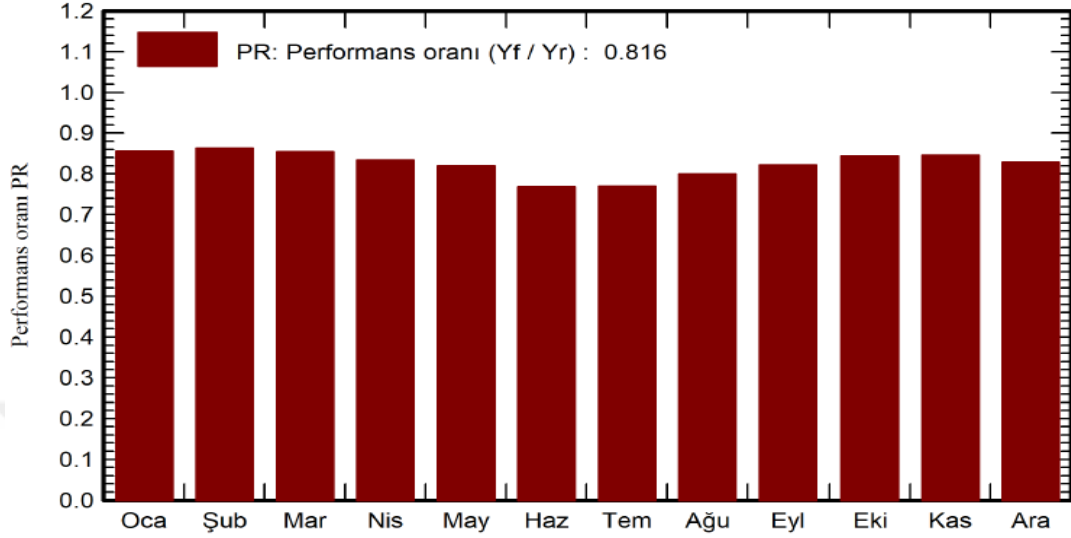
EArray Dizin çıkışında etkin enerji

E_Grid Şebekeye enjekte edilen enerji

PR Performans oranı

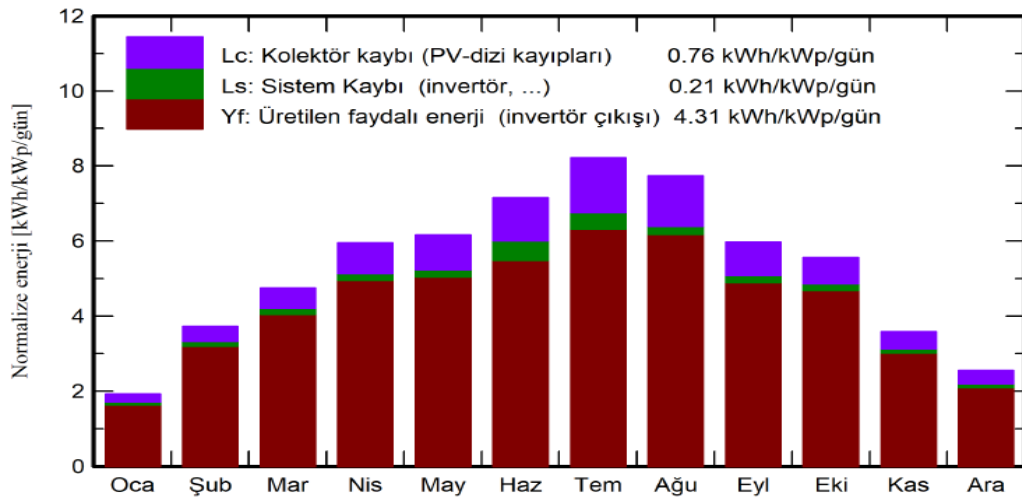
Şekil 4.90. Santralin aylık üretim değerleri

Şekil 4.91’de yer aldığı üzere ikinci parametre olan performans oranı %81.6’dır. Aylık olarak belirtilmiştir. Üçüncü parametre spesifik verim ise 1573 kWh/kWp/yıl’dır.



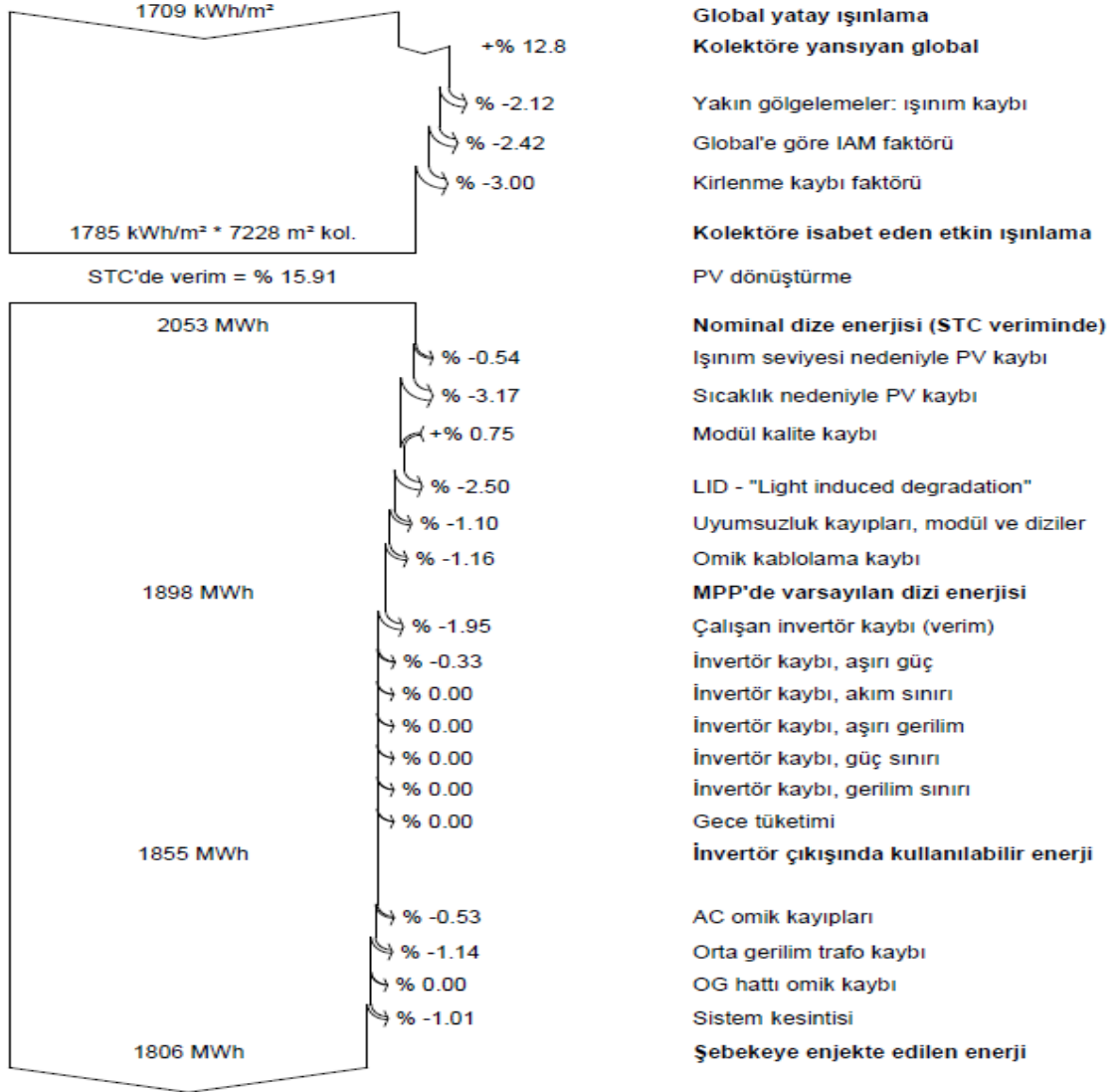
Şekil 4.91. Aylara göre performans oranı grafikleri

Şekil 4.92’de ise L_c 0.76 kWh/kWp/gün, toplama kayıpları veya FV dizi yakalama kayıplarıdır. L_s , sistem evirici kaybıdır 0.21 kWh/kWp/gün’dür. Y_f , üretilen faydalı enerji 4,31 kWh/kWp/gün’dür.



Şekil 4.92. Normalize üretim grafiği

Üretim tesisinde karşılaşılabilecek çeşitli kayıplar mevcuttur. Şekil 4.93'de sistem kayıp diyagramı yer almaktadır.



Şekil 4.93. Sistem kayıplar diyagramı

Yatay düzlemde küresel ışınlama 1709 kWh/m²'dir. Kolektör üzerindeki etkili ışınlam 1785 kWh/m²'dir. Bu etkili ışınlama bir fotovoltaik panel veya dizinin yüzeyine düştüğünde, elektrik enerjisi üretilir. FV dönüşümünden sonra, standart test koşullarında (STC) nominal enerji 2053 MWh'dir. FV dizisinin STC'deki verimi %15,91 dir. MPP'de yıllık dizi enerjisi 1898 MWh'dir. Bu aşamada meydana gelen çeşitli kayıplar sıcaklık nedeniyle %3.17, Omik kayıp ise %1.16, AC omik kayıp %0.53, gölgelenme %2.12, panel LID kaybı %2.5'tür. Evirici çıkış tesisinde yıllık bazda mevcut enerji 1855 MWh

olup aynı şebekeye aktarılmaktadır. Trafo kayıpları, AC omik kayıplar ve olası sistem kesintisi kayıplarından dolayı yıllık şebekeye aktarılan elektrik enerjisi 1806 MWh olarak bulunmuştur.

4.2.1.3.3. NASA veri tabanına göre simülasyon sonuçları

Sistem üretim analizi Pvsyst programı tarafından gerçekleştirildiğinde simülasyon sonuçlarından parametreler değerlendirilmiştir. İlk parametre, 1148,16 kWp fotovoltaik sistemden yıllık olarak üretilen enerji, 1746,4 MWh/yıl olarak üretilen toplam enerji miktarıdır. NASA veri tabanına göre Kayseri ili için yatay düzlemde yıllık küresel ışınım değeri Şekil 4.94’de yer aldığı üzere 1629,0 kWh/m²’dir. Optik düzeltmeler olmadan toplayıcıda yıllık bazda küresel yüzey ışınımı ve optik kayıplardan sonra etkin küresel ışınım, 1869,7 kWh/m² ve 1722,6 kWh/m²’dir. Bu etkili ışınım ile birlikte, FV dizisinden üretilen yıllık toplam DC enerji ve şebekeye aktarılan yıllık toplam AC enerji sırasıyla 1828,9 MWh ve 1746,4 MWh’dir. Santral performans oranı %81.3 olarak hesaplanmıştır. Şebekeye aktarılan maksimum aylık enerji 199,2 MWh ile Temmuz ayında gerçekleşeceği görülmektedir.

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR oran
Ocak	64.5	24.80	-1.96	100.6	89.6	102.2	98.3	0.851
Şubat	79.0	30.80	-1.38	108.5	100.1	113.1	108.9	0.874
Mart	122.1	46.50	2.82	148.2	137.7	152.0	146.6	0.861
Nisan	147.6	58.50	8.74	160.8	149.1	160.8	153.3	0.831
Mayıs	187.6	68.20	13.06	187.1	173.0	181.3	171.5	0.799
Haziran	212.7	63.90	16.51	204.5	189.4	194.3	183.2	0.780
Temmuz	226.3	58.90	19.09	221.5	205.8	210.3	199.2	0.783
Ağustos	199.6	52.70	18.90	211.4	196.9	200.1	189.3	0.780
Eylül	154.8	42.30	15.88	183.0	170.8	175.4	169.3	0.806
Ekim	111.3	34.72	10.92	151.1	140.1	148.9	143.5	0.827
Kasım	69.6	25.80	4.32	105.6	95.0	105.3	101.4	0.837
Aralık	53.9	22.63	-0.42	87.5	75.0	85.2	81.9	0.815
Yıl	1629.0	529.75	8.93	1869.7	1722.6	1828.9	1746.4	0.813

Açıklama

GlobHor Global yatay ışınlama

DiffHor Yatay difüz ışınlama

T_Amb Çevre sıcaklığı

GlobInc Kolektöre yansıyan global

GlobEff IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global

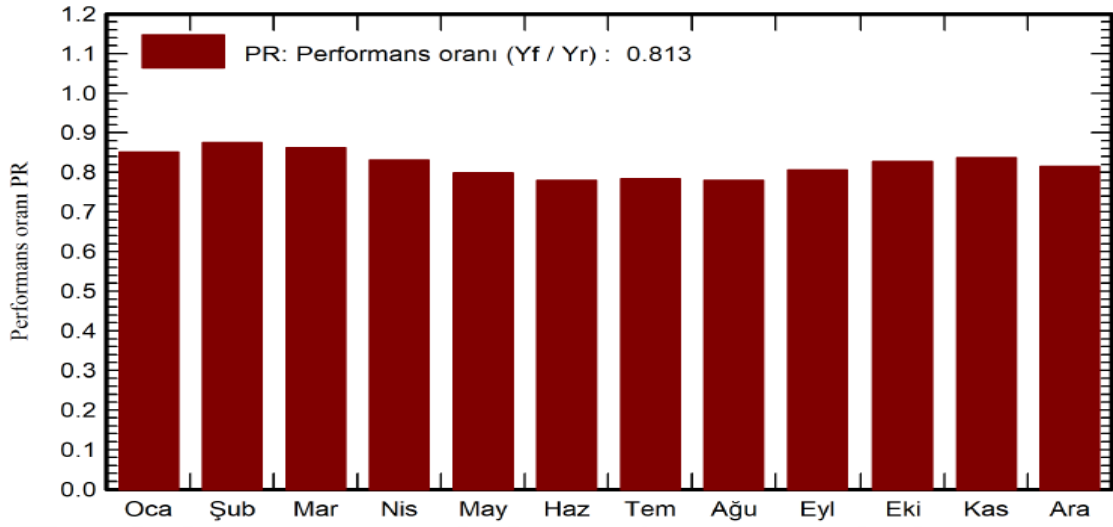
EArray Dizinin çıkışında etkin enerji

E_Grid Şebekeye enjekte edilen enerji

PR Performans oranı

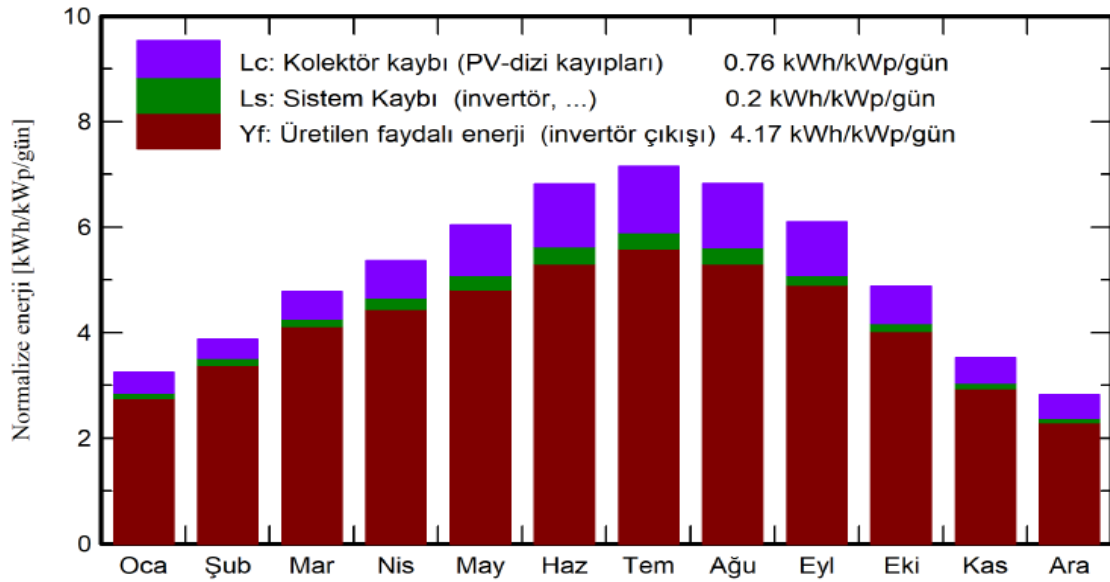
Şekil 4.94. Santralin aylık üretim değerleri

Şekil 4.95’de yer aldığı üzere ikinci parametre olan performans oranı %81.3’dir. Aylık olarak belirtilmiştir. Üçüncü parametre spesifik verim ise 1521 kWh/kWp/yıl’dır.



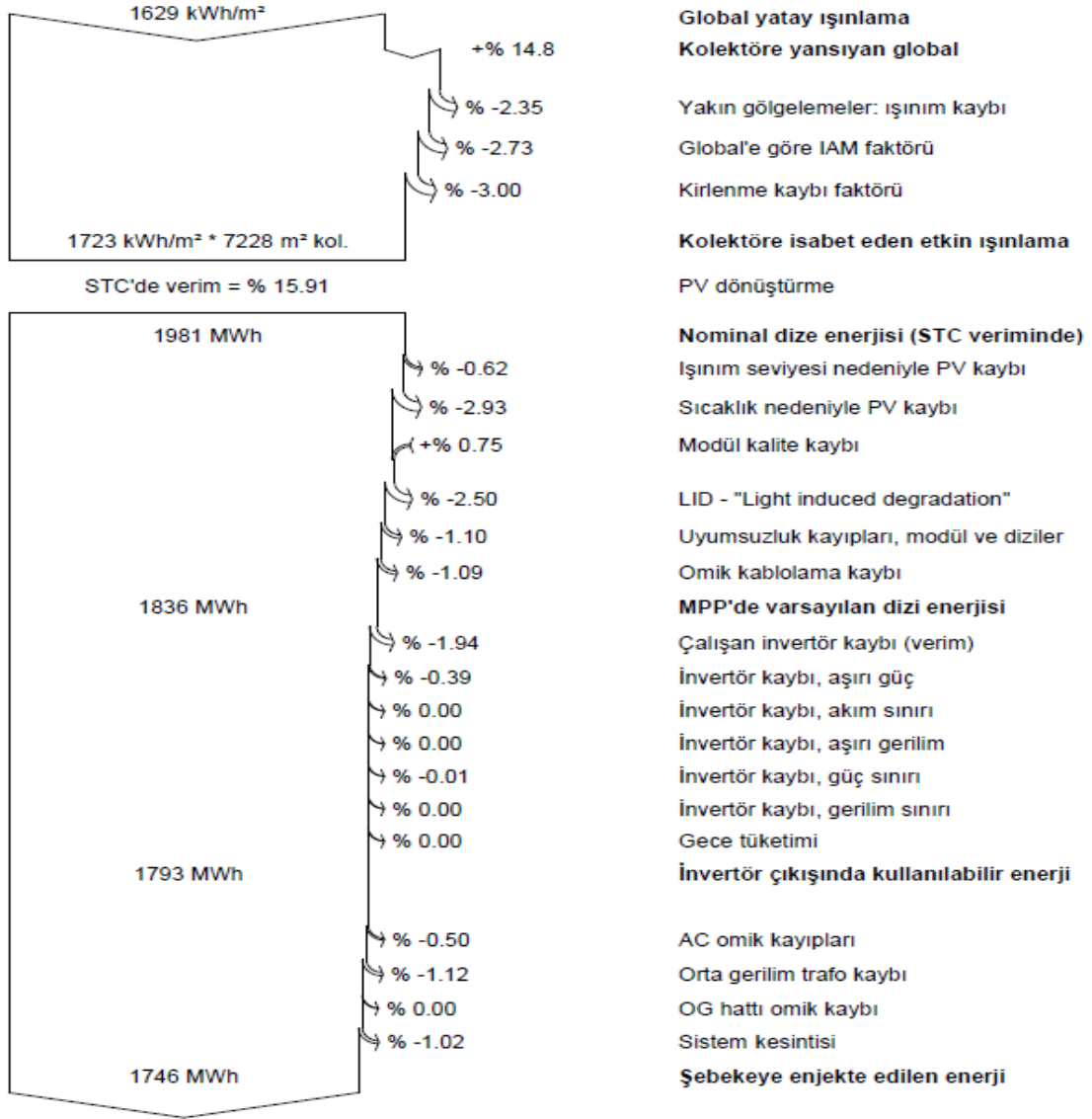
Şekil 4.95. Aylara göre performans oranı grafikleri

Şekil 4.96’da ise L_c 0.76 kWh/kWp/gün, toplama kayıpları veya FV dizi yakalama kayıplarıdır. L_s , sistem evirici kaybıdır 0.2 kWh/kWp/gün’dür. Y_f , üretilen faydalı enerji 4,17 kWh/kWp/gün’dür.



Şekil 4.96. Normalize üretim grafiği

Üretim tesisinde karşılaşılabilecek çeşitli kayıplar mevcuttur. Şekil 4.97’de sistem kayıp diyagramı yer almaktadır.



Şekil 4.97. Sistem kayıplar diyagramı

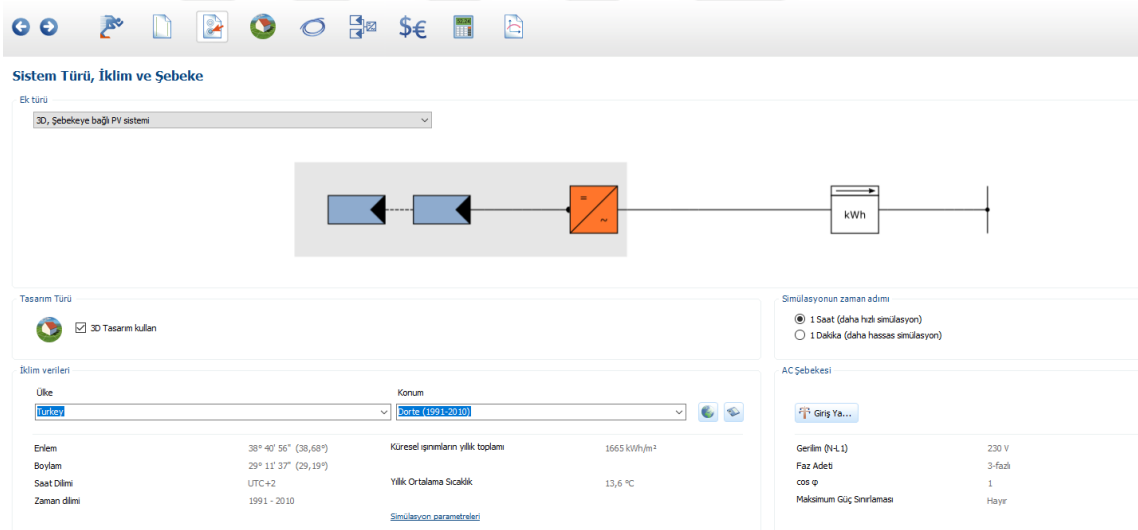
Yatay düzlemde küresel ışınlama 1629 kWh/m^2 'dir. Kolektör üzerindeki etkili ışınlam 1723 kWh/m^2 'dir. Bu etkili ışınlama bir fotovoltaik panel veya dizinin yüzeyine düştüğünde, elektrik enerjisi üretilir. FV dönüşümünden sonra, standart test koşullarında (STC) nominal enerji 1981 MWh 'dir. FV dizisinin STC'deki verimi %15,91 dir. MPP'de yıllık dize enerjisi 1836 MWh 'dir. Bu aşamada meydana gelen çeşitli kayıplar sıcaklık nedeniyle %2,93, Omik kayıp ise %1,09, AC omik kayıp %0,50, gölgelenme %2,35,

panel LID kaybı %2.5'tür. Evirici çıkış tesisinde yıllık bazda mevcut enerji 1793 MWh olup aynı şebekeye aktarılmaktadır. Trafo kayıpları, AC omik kayıplar ve olası sistem kesintisi kayıplarından dolayı yıllık şebekeye aktarılan elektrik enerjisi 1746 MWh olarak bulunmuştur.

4.2.2. PVSOL simülasyonları

4.2.2.1. Dorte güneş enerji santrali pvsol simülasyonu

PVSOL yazılımında ilk olarak Şekil 4.98'de yer aldığı üzere tasarlanacak fotovoltaiik sistem türü seçilir. Gölgeleme kaynaklı kayıplarında dahil edilmesi için 3D şebekeye bağlı PV sistemi seçilir.



Şekil 4.98. Fotovoltaiik sistem türü seçimi

Sistem türü seçildikten sonra simülasyon parametreleri alanından şekil 4.99'da yer aldığı üzere by-pass diyotlarındaki gerilim düşümünden kaynaklanan güç kaybı, mismatch kayıpları, albedo ve kirlilik kayıpları tanımlanır. 3d gölgeleme sahnesine sahip simülasyonlarda by-pass diyot etkisi program tarafından detaylı olarak hesaplanmaktadır.

By-pass Diyotlarındaki Gerilim Düşümünden kaynaklanan Güç Kaybı %

Uyumsuzluk veya Azaltılmış Kazançtan Kaynaklanan Güç Kayıpları %

Modül eviriciler ve güç iyileştiriciler ile uyumsuzluk kayıpları hesaba kalmaz.

Zemin Yansıtma Katsayısı (Albedo)

☒ Yıllık yansıtabilirliği (albedo) giriniz %

☐ Aylık yansıtabilirliği (albedo) giriniz

Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara
20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %

Kirlenme nedeniyle PV modüllerinin çıkış kayıpları

☒ Kirlenmeye bağlı yıllık kayıpları giriniz %

☐ Kirlenmeye bağlı aylık kayıpları giriniz

Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara
0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %

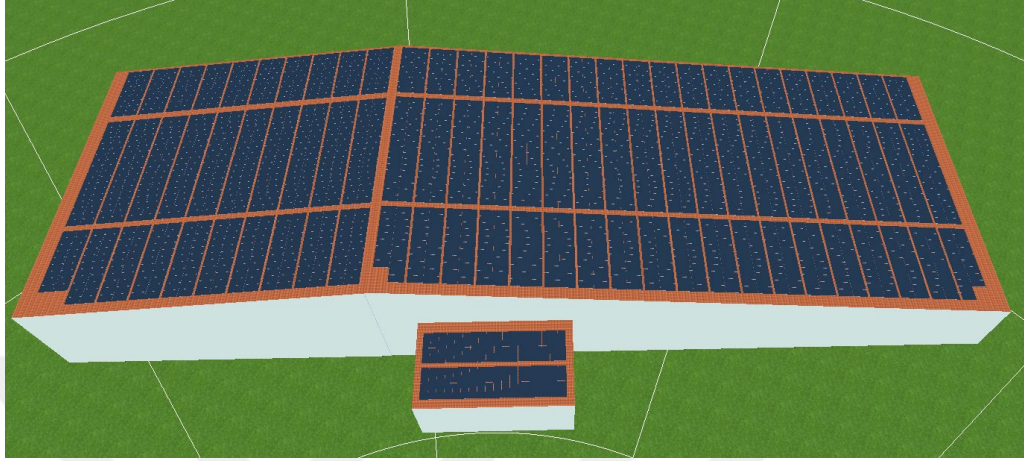
Şekil 4.99. Sistem kayıplarının tanımlanması

Şekil 4.100’de yer aldığı üzere programda sahanın tam koordinatları girilerek o konuma ait meteorolojik veriler program veritabanına eklenir. Pvsyst ile karşılaştırma yapmak için Meteonorm meteorolojik veritabanı seçilmiştir. PVSOL bu proje lokasyonu için 1991-2010 yılları arasındaki meteorolojik verileri kullanmaktadır.



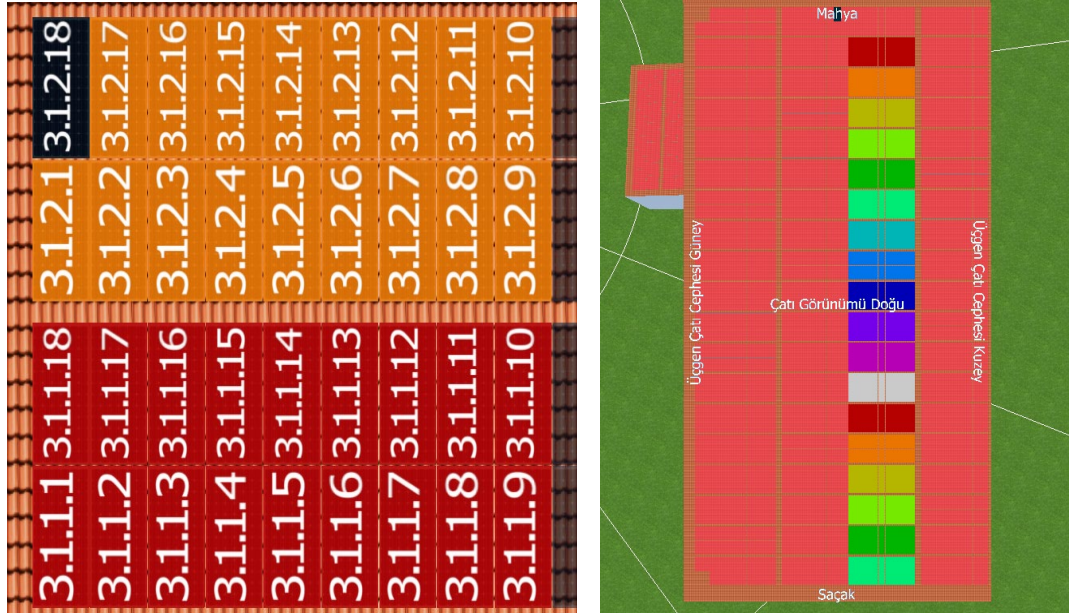
Şekil 4.100. Fotovoltaik santral konum seçimi

Fotovoltaik sistemde belirli bir panel ya da panel grubunda gölge gelmesinde meydana gelecek kayıpları tanımlamak Şekil 4.101’de yer aldığı üzere panel ve yükselticiler 3d modelleme yapılarak gölgeleme kayıpları hesaplanır.



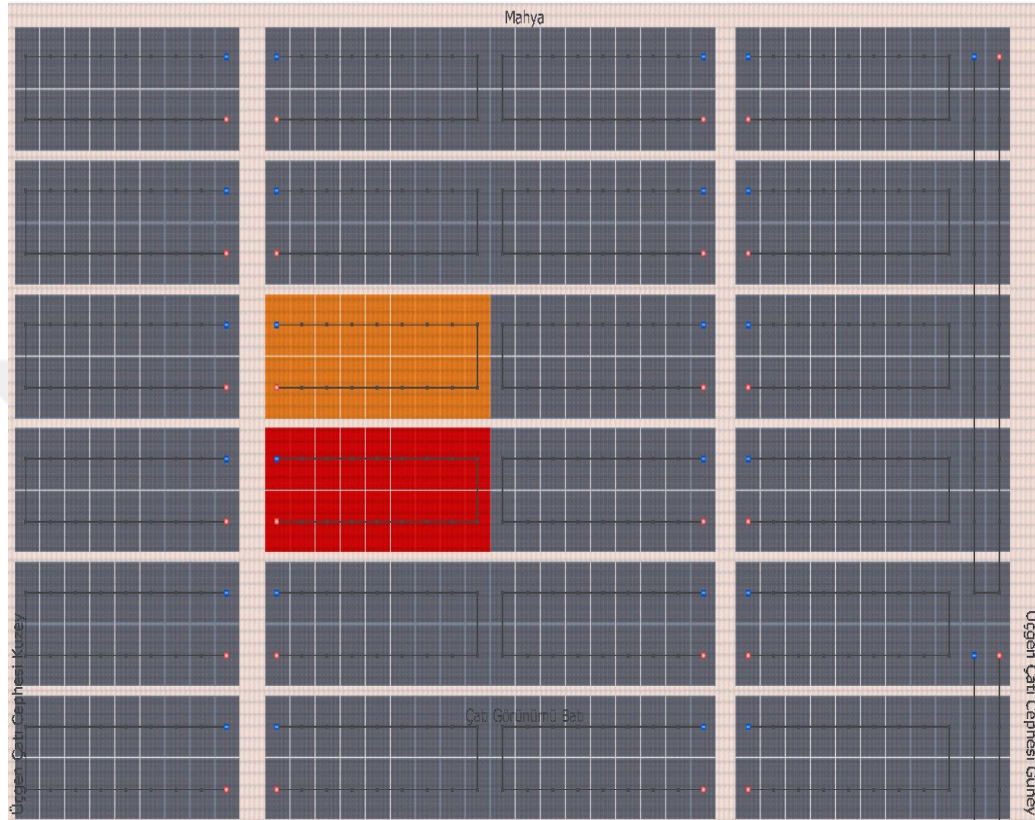
Şekil 4.101. Dorte güneş enerji santrali pvsol 3d sistem modellemesi

3d sistem modellenmesi yapıldıktan sonra santralde kullanılacak inverter modeli seçilerek string konfigürasyonu yapılır.



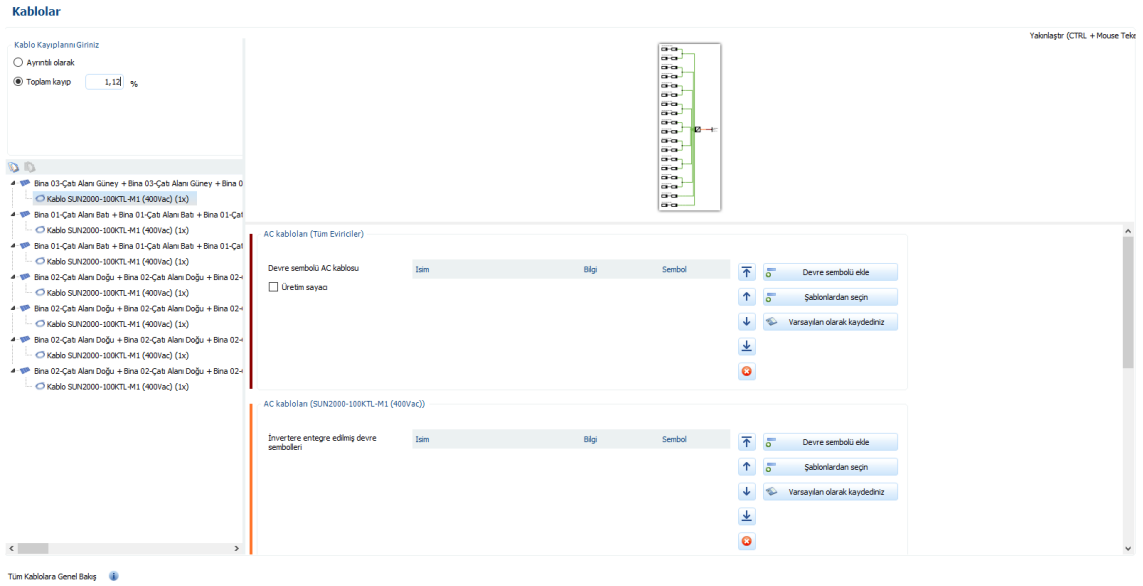
Şekil 4.102. Panel-inverter konfigürasyonu

Panel ile inverter arasında enerji iletimini sağlayan DC kablolarda meydana gelecek kayıpların doğru tanımlanması için string kablo bağlantıları Şekil 4.103’de yeraldığı gibi tanımlanması gerekmektedir.



Şekil 4.103. String bağlantılarının gösterimi

Yazılımda bu aşamadan sonra Şekil 4.104’de yer aldığı üzere omik kayıpların girilebildiği ekran bulunmaktadır. Bu ekranda kayıplar kablo uzunluğu ve kablo kesitleri bilgileri girilerek hesaplanabildiği gibi Pvsyst yazılımında elde edilen kablo kayıpları yüzde oran girilerek hesaplanabilmektedir. Pvsyst ve Pvsol programlarında doğru bir karşılaştırma yapılabilmesi için Pvsyst yazılımında Meteonorm veritabanı kullanılarak gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarında DC ve AC kablo kayıpları toplamda %1,12 bulunduğundan dolayı, Pvsol programında toplam kablo kayıp değeri %1,12 olarak tanımlanarak simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.



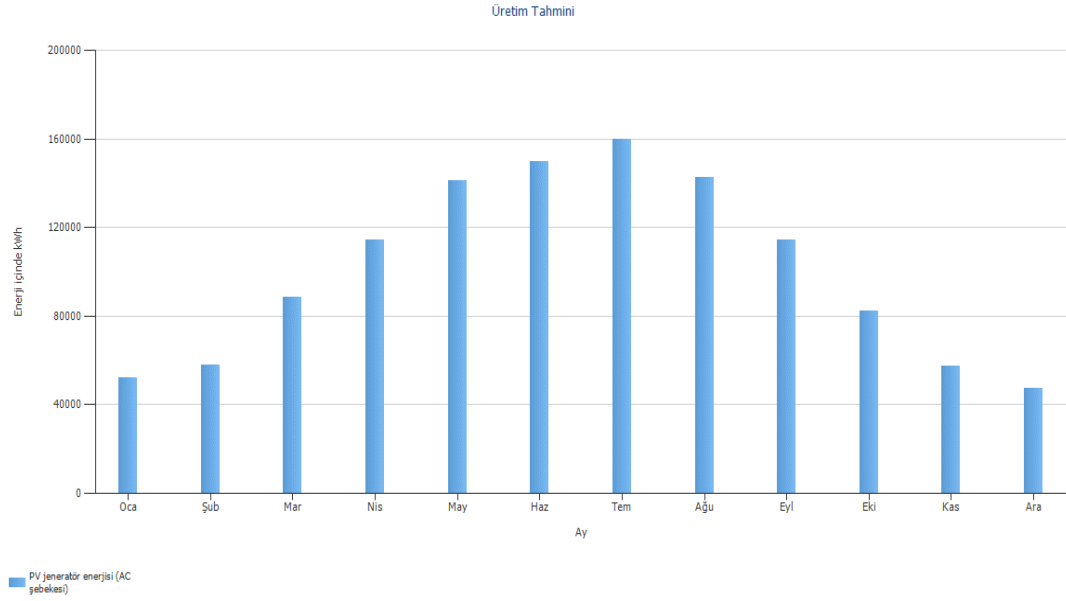
Şekil 4.104. Omik kablo kayıplarının tamamlanması

Sistem üretim analizi PVSOI programı tarafından gerçekleştirildiğinde simülasyon sonuçlarından parametreler değerlendirilmiştir. İlk parametre, 861,84 kWp fotovoltaik sistemden yıllık olarak üretilen enerji, 1207,88 MWh/yıl olarak üretilen toplam enerji miktarıdır. Meteonorm veri tabanına göre Uşak ili için yatay düzlemde yıllık küresel ışınım değeri Çizelge 4.19’da yer aldığı üzere 1665,4 kWh/m²’dir. Optik kayıplardan sonra etkin küresel ışınım 1610,72 kWh/m²’dir. Santral performans oranı %85.9, spesifik üretim değeri ise 1401,33 kWh/kWp olarak hesaplanmıştır. Şebekeye aktarılan maksimum aylık enerji 159,99 MWh ile Temmuz ayında gerçekleşeceği görülmektedir.

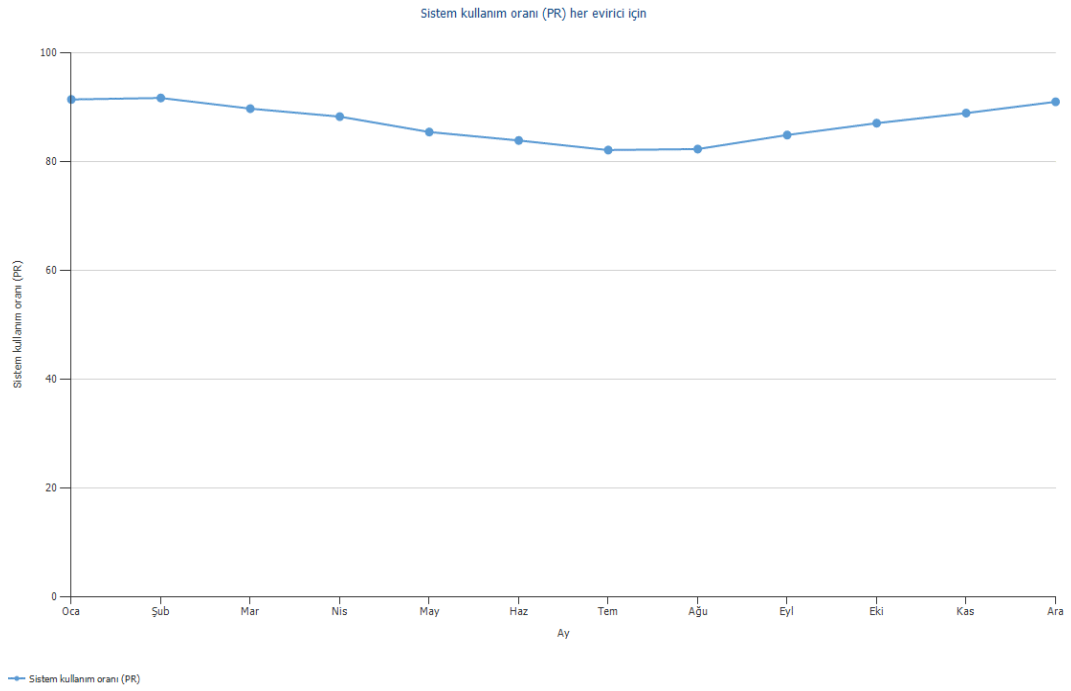
Simülasyon sonuçlarına göre yıllık üretilen enerji 1207,88 MWh, spesifik üretim 1401,33 kWh/kWp, sistem performans oranı ise %85,9 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.19. Dorte pvsol sonuçları

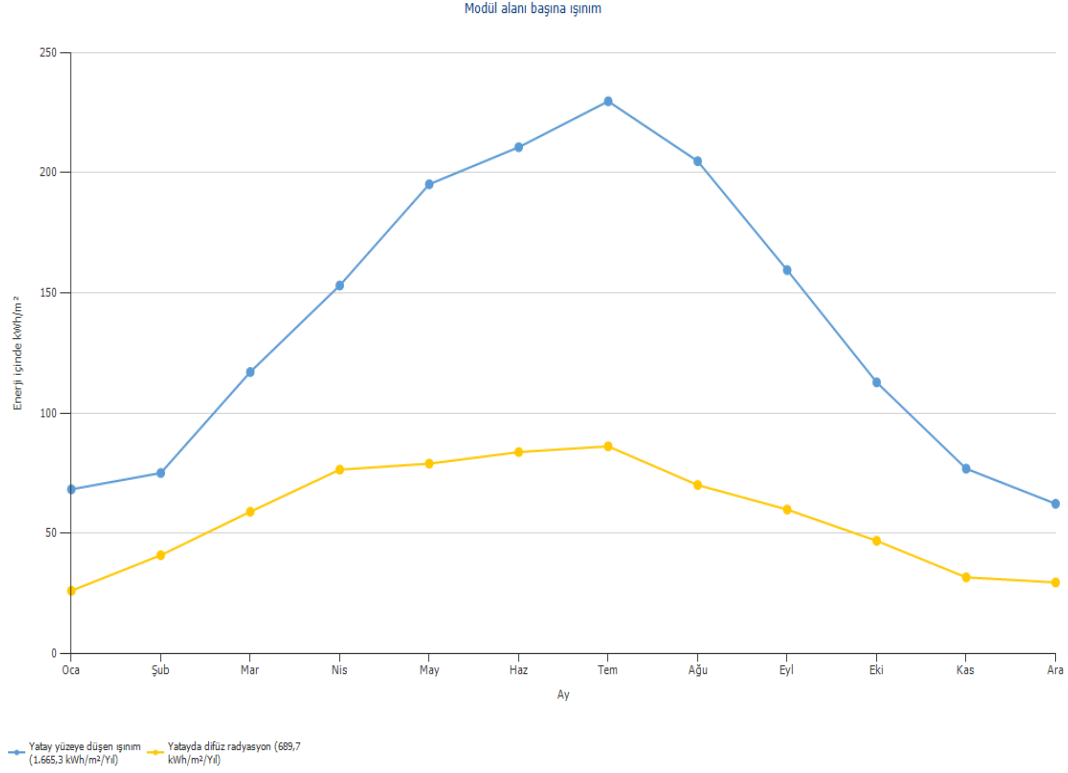
Ay	Global Yatay Işınlama (kWh/m ²)	Yatay Difüz Işınlama (kWh/m ²)	Sıcaklık (°C)	Üretilen Enerji (MWh)	PR
Ocak	68,3	26,1	2,7	51,99	0,914
Şubat	75,1	40,9	3,2	57,95	0,917
Mart	117,1	59	7,6	88,61	0,897
Nisan	153,1	76,5	11,6	114,16	0,882
Mayıs	195,2	79	17,1	141,32	0,854
Haziran	210,6	83,8	21,8	149,73	0,838
Temmuz	229,7	86,2	25,7	159,99	0,821
Ağustos	204,8	70,1	25,4	142,66	0,823
Eylül	159,5	59,9	19,6	114,26	0,848
Ekim	112,8	46,9	14,7	82,49	0,870
Kasım	76,9	31,7	8,8	57,37	0,889
Aralık	62,3	29,6	4,4	47,33	0,910
Toplam	1665,4	689,7	13,55	1207,88	0,859



Şekil 4.105. Aylara göre santral elektrik üretim grafiği



Şekil 4.106. Aylara göre performans oranı değişimi



Şekil 4.107. Global yatay ışınlama ve yatay difüz ışınlamanın aylara göre değişimi

Şekil 4.108'de yer aldığı üzere yatay düzlemde küresel ışınlama 1665,4 kWh/m²'dir. Kollektör üzerindeki etkili ışınlım 1610,72 kWh/m²'dir. Bu etkili ışınlama bir fotovoltaik panel veya dizinin yüzeyine düştüğünde, elektrik veya elektrik enerjisi üretilir. Bu aşamada meydana gelen çeşitli kayıplar sıcaklık nedeniyle %4.87, kablo kayıpları %1.12, gölgelenme %0.22, mismatch kayıpları %1 dir.

Toplam Işınım - Yatayda	1.665,28 kWh/m²	
Standart spektrumdan sapma	-16,65 kWh/m ²	-1,00 %
Zemin Yansıtma Katsayısı (Albedo)	0,90 kWh/m ²	0,05 %
Modül yüzeyinin Yerleşim Yönü ve Eğimi	-15,19 kWh/m ²	-0,92 %
Modülden bağımsız gölgeleme	-2,24 kWh/m ²	-0,14 %
Modül yüzeyinde yansım	-21,38 kWh/m ²	-1,31 %
Modül Üzerine Düşen Toplam Işınım	1.610,72 kWh/m²	
	1.610,72 kWh/m ²	
	x 4400,718 m ²	
	= 7.088.322,62 kWh	
Toplam PV Işınımı	7.088.322,62 kWh	
Kirlenme	-212.649,05 kWh	-3,00 %
STC Dönüşümü (Modülün nominal verimliliği 19,58 %)	-5.529.076,23 kWh	-80,42 %
Anma PV Enerjisi	1.346.597,34 kWh	
modüle özgü kısmı gölgeleme	-3.013,31 kWh	-0,22 %
Düşük ışık performansı	-17.942,04 kWh	-1,34 %
Nominal modül sıcaklığından sapma	-64.502,56 kWh	-4,87 %
Diyotlar	-67,40 kWh	-0,01 %
Uyumsuzluk (üretici bilgisi)	-12.610,72 kWh	-1,00 %
Uyumsuzluk (konfigürasyon / gölgeleme)	-134,30 kWh	-0,01 %
Evirici düzenleyici olmadan PV enerjisi (DC)	1.248.327,02 kWh	
DC başlangıç çıkışına ulaşamadı	-40,07 kWh	0,00 %
MPP-gerilim aralığı için düzenleme	-3,12 kWh	0,00 %
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	0,00 kWh	0,00 %
MPP Eşleme	-1.764,72 kWh	-0,14 %
PV Enerjisi (DC)	1.246.519,11 kWh	
Evirici Girişindeki Enerji	1.246.519,11 kWh	
Giriş gerilimi anma geriliminden sapıyor	-959,65 kWh	-0,08 %
DC/AC Dönüştürme	-24.001,76 kWh	-1,93 %
Bekleme Konumundaki Tüketim (İnvertörler)	-154,98 kWh	-0,01 %
Toplam kablo kayıpları	-13.681,45 kWh	-1,12 %
Bekleme Konumundaki Kullanımı Hariç PV Enerjisi (AC)	1.207.721,27 kWh	
PV jeneratör enerjisi (AC şebekesi)	1.207.876,25 kWh	

Şekil 4.108. Sistem kayıplar diyagramı

4.2.2.2. Oylum güneş enerji santrali pvsol simülasyonu

PVSOL yazılımında ilk olarak Şekil 4.109’da yer aldığı üzere tasarlanacak fotovoltaik sistem türü seçilir. Gölgeleme kaynaklı kayıplarında dahil edilmesi için 3D şebekeye bağlı PV sistemi seçilir.

Sistem Türü, İklim ve Şebeke

Ek türü
3D, Şebekeye bağlı PV sistemi

Tasarım Türü
3D Tasarım kullan

İklim verileri
Ülke: Türkiye Konum: Düzlem Bakımı (1991-2010)

Enlem	38° 33' 51" (38,56°)	Küresel ıgımların yıllık toplamı	1776 kWh/m ²
Boylam	35° 10' 1" (35,17°)	Yıllık Ortalama Sıcaklık	10,7 °C
Saat Dilimi	UTC+2		
Zaman dilimi	1991 - 2010		

[Simülasyon parametreleri](#)

Simülasyonun zaman adımı
☒ 1 Saat (daha hızlı simülasyon)
☐ 1 Dakika (daha hassas simülasyon)

AC Şebekesi
[Giriş Ya...](#)

Gerilim (V-L1)	230 V
Faz Adedi	3-fazlı
cos φ	1
Maksimum Güç Sınırlandırması	Hayır

Şekil 4.109. Fotovoltaik sistem türü seçimi

Sistem türü seçildikten sonra simülasyon parametreleri alanından şekil 4.110'da yer aldığı üzere by-pass diyotlarındaki gerilim düşümünden kaynaklanan güç kaybı, mismatch kayıpları, albedo ve kirlilik kayıpları tanımlanır. 3d gölgeleme sahnesine sahip simülasyonlarda by-pass diyot etkisi program tarafından detaylı olarak hesaplanmaktadır.

By-pass Diyotlarındaki Gerilim Düşümünden kaynaklanan Güç Kaybı %

Uyumsuzluk veya Azaltılmış Kazançtan Kaynaklanan Güç Kayıpları %

Modül eviriciler ve güç iyileştiriciler ile uyumsuzluk kayıpları hesaba katılmaz.

Zemin Yansıtma Katsayısı (Albedo)

☒ Yıllık yansıtabilirliği (albedo) giriniz
☐ Aylık yansıtabilirliği (albedo) giriniz

%

Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara
20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %

Kirlenme nedeniyle PV modüllerinin gışık kayıpları

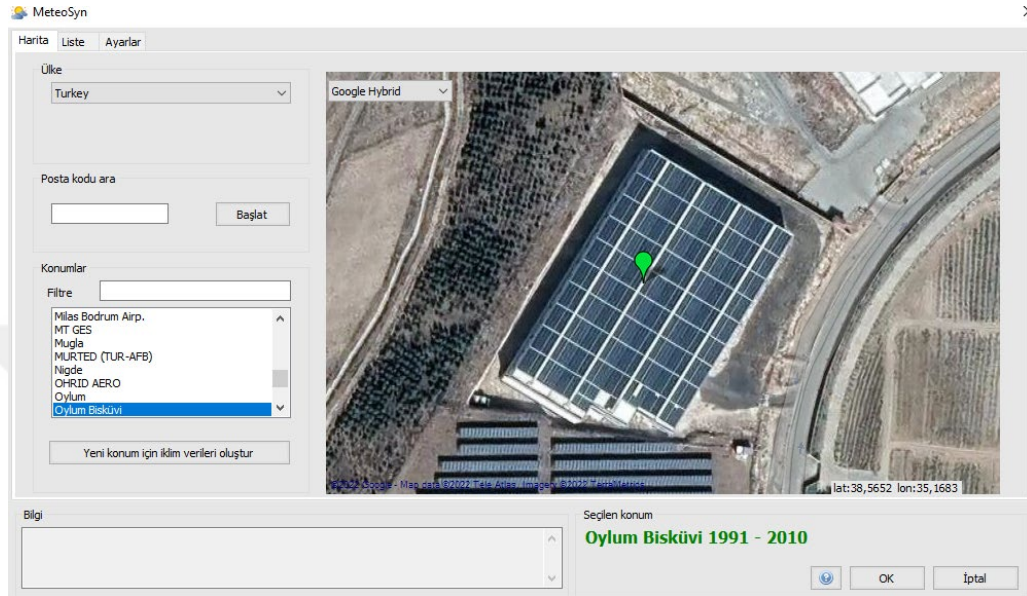
☒ Kirlenmeye bağlı yıllık kayıpları giriniz
☐ Kirlenmeye bağlı aylık kayıpları giriniz

%

Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara
0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %

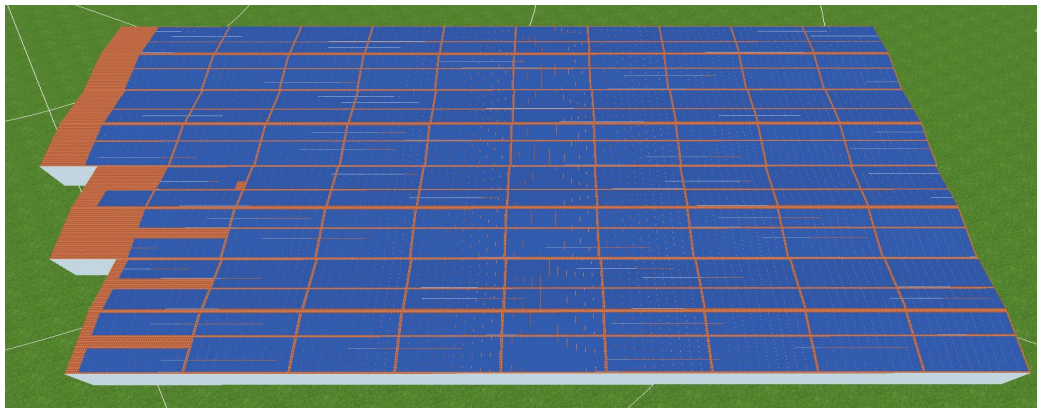
Şekil 4.110. Sistem kayıplarının tanımlanması

Şekil 4.111’de yer aldığı üzere programda sahanın tam koordinatları girilerek o konuma ait meteorolojik veriler program veritabanına eklenir. Pvsyst ile karşılaştırma yapmak için Meteonorm meteorolojik veritabanı seçilmiştir. PVSOL bu proje lokasyonu için 1991-2010 yılları arasındaki meteorolojik verileri kullanmaktadır.



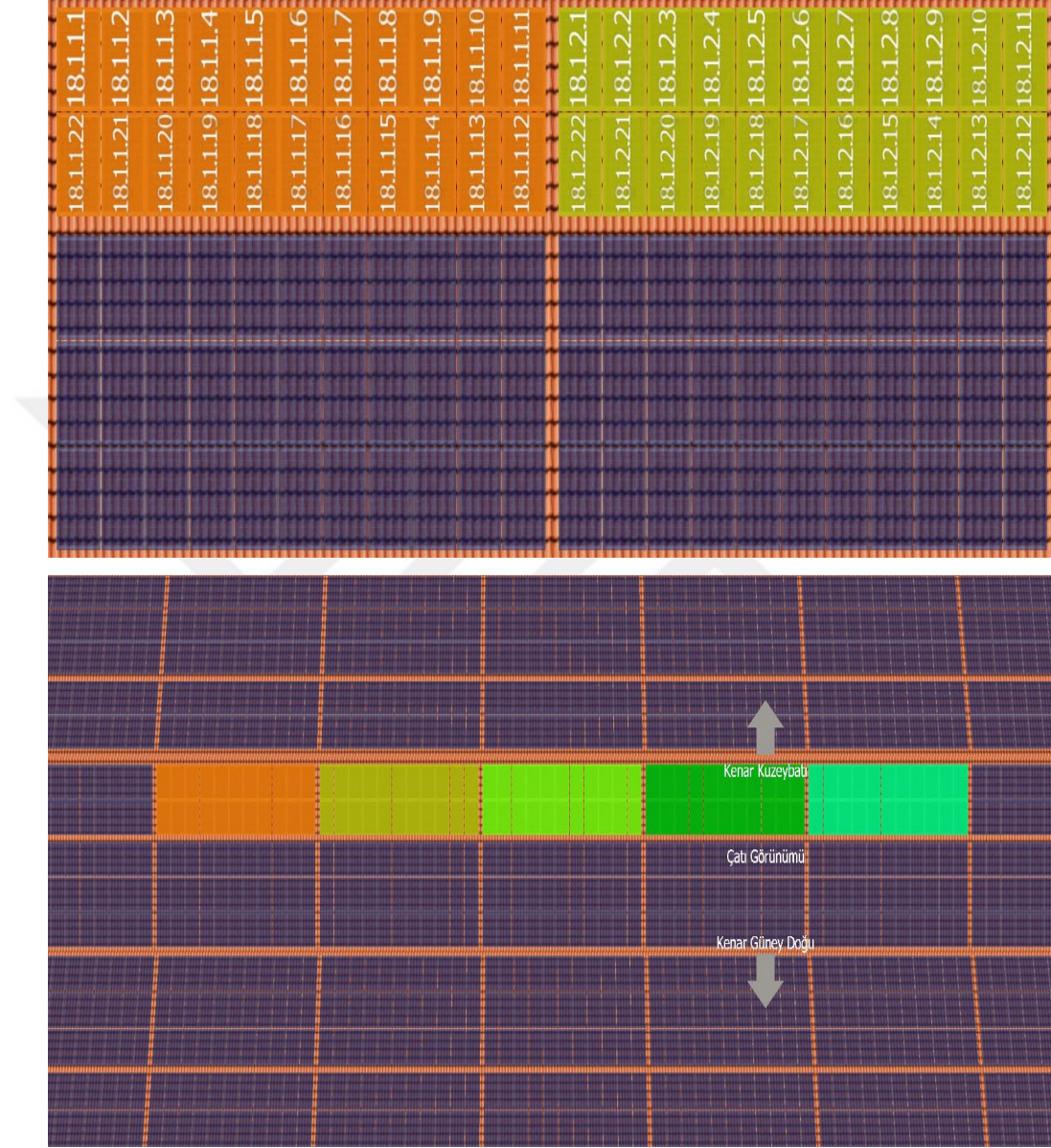
Şekil 4.111. Fotovoltaik santral konum seçimi

Fotovoltaik sistemde belirli bir panel ya da panel grubunda gölge gelmesinde meydana gelecek kayıpları tanımlamak Şekil 4.112’de yer aldığı üzere panel ve yükselti 3d modelleme yapılarak gölgeleme kayıpları hesaplanır.



Şekil 4.112. Oylum güneş enerji santrali pvsol 3d sistem modellemesi

3d sistem modellenmesi yapıldıktan sonra santralde kullanılacak inverter modeli seçilerek string konfigürasyonu yapılır.



Şekil 4.113. Panel-inverter konfigürasyonu

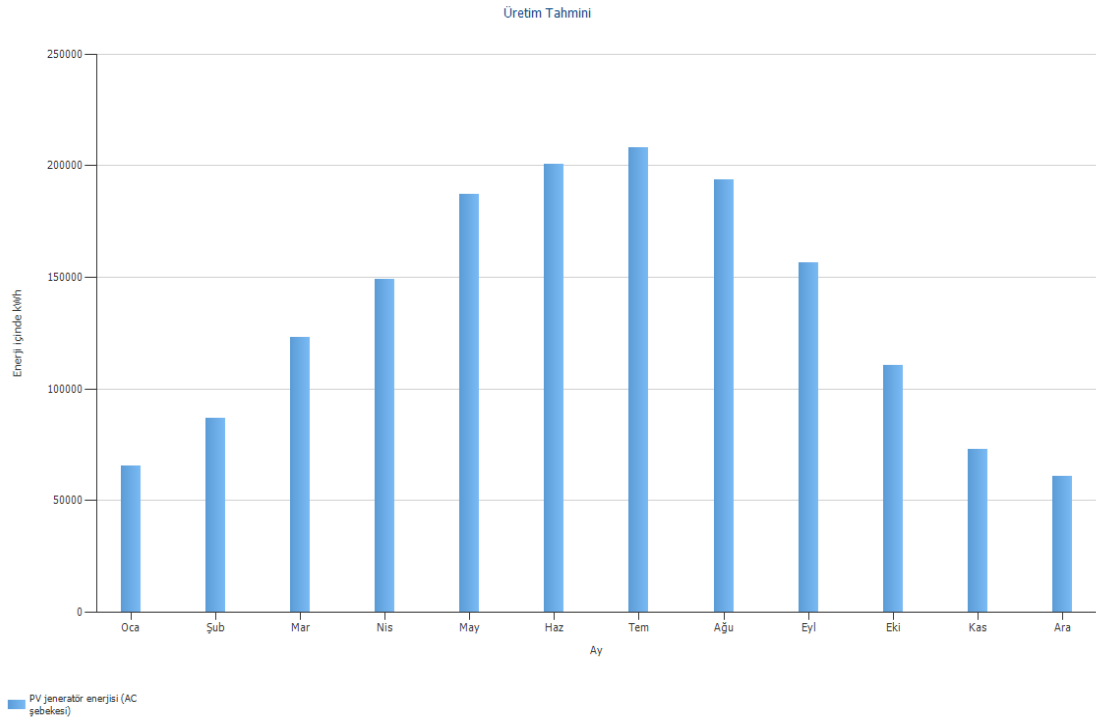
Panel ile inverter arasında enerji iletimini sağlayan DC kablolarda meydana gelecek kayıpların doğru tanımlanması için string kablo bağlantıları Şekil 4.114’de yer aldığı üzere tanımlanması gerekmektedir.

Sistem üretim analizi PVSOL programı tarafından gerçekleştirildiğinde simülasyon sonuçlarından parametreler değerlendirilmiştir. İlk parametre, 1081,08 kWp fotovoltaik sistemden yıllık olarak üretilen enerji, 1614,405 MWh/yıl olarak üretilen toplam enerji miktarıdır. Meteorolog veri tabanına göre Kayseri ili için yatay düzlemde yıllık küresel ışıma değeri Çizelge 4.20’de yer aldığı üzere 1775,63 kWh/m²’dir. Santral performans oranı %85,1, spesifik üretim değeri ise 1492,85 kWh/kWp olarak hesaplanmıştır. Şebekeye aktarılan maksimum aylık enerji 207,99 MWh ile Temmuz ayında gerçekleşeceği görülmektedir.

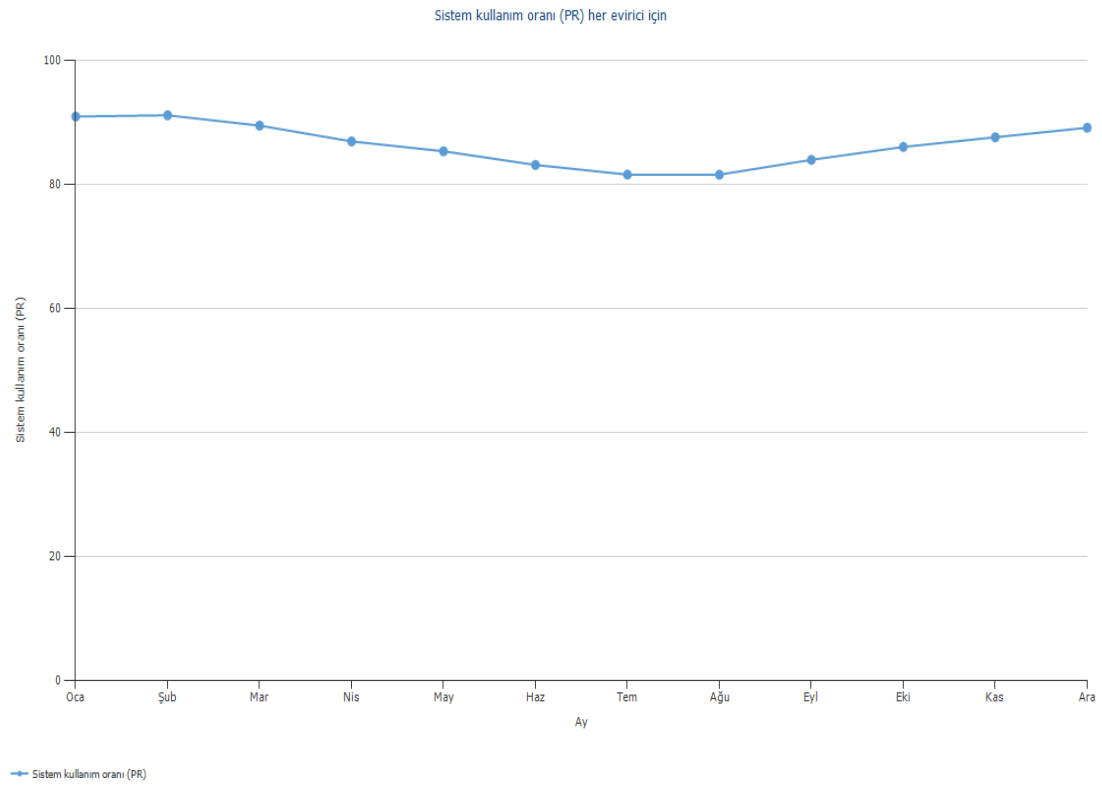
Simülasyon sonuçlarına göre yıllık üretilen enerji 1614,405 MWh, spesifik üretim 1492,85 kWh/kWp, sistem performans oranı ise %85,1 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.20. Oylum pvsol sonuçları

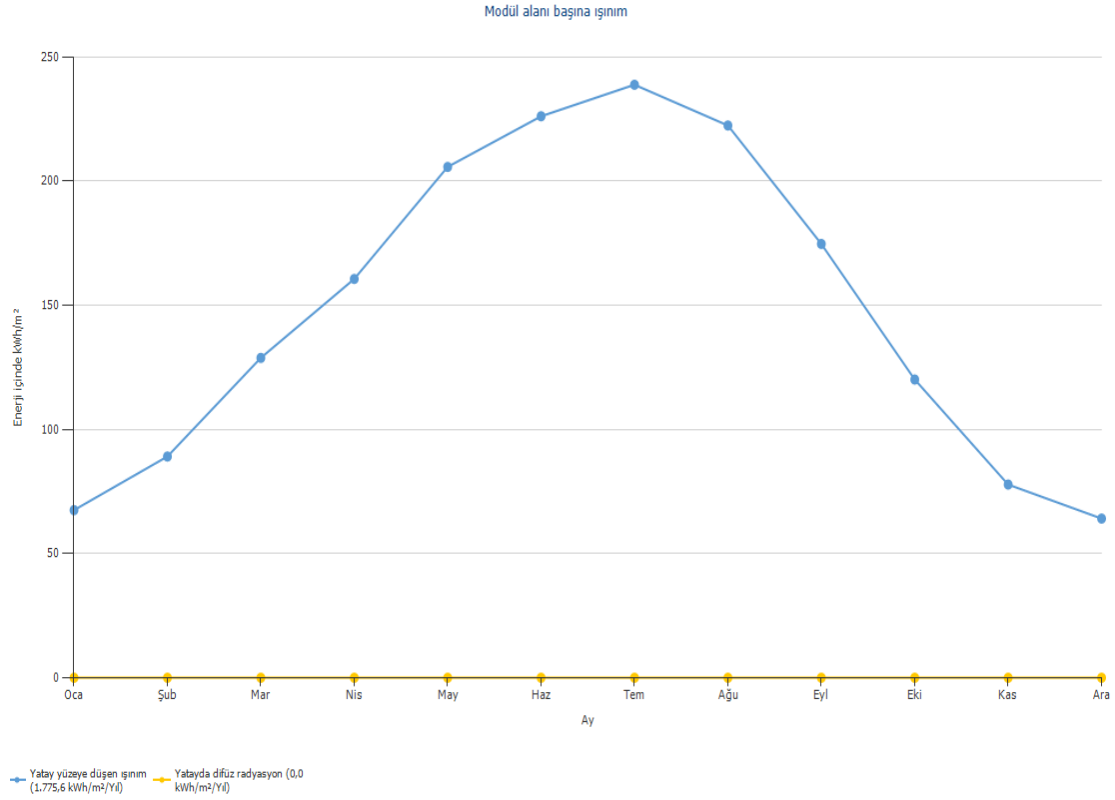
Ay	Global Yatay Işınlama (kWh/m ²)	Sıcaklık (°C)	Üretilen Enerji (MWh)	PR
Ocak	67,5	-2,4	65,57	0,909
Şubat	89,1	-0,6	86,66	0,911
Mart	128,8	5,4	122,97	0,8944
Nisan	160,6	10,1	149,05	0,8689
Mayıs	205,7	14,8	187,36	0,853
Haziran	226,1	19,5	200,64	0,831
Temmuz	238,8	23,3	207,99	0,8154
Ağustos	222,4	23,2	193,61	0,8153
Eylül	174,7	17,2	156,55	0,8392
Ekim	120,1	12,1	110,27	0,86
Kasım	77,8	5,1	72,73	0,8756
Aralık	64,1	-0,3	60,98	0,8909
Toplam	1775,63	10,62	1614,405	0,851



Şekil 4.116. Aylara göre santral elektrik üretim grafiği



Şekil 4.117. Aylara göre performans oranı değişimi



Şekil 4.118. Global yatay ışınlama ve yatay difüz ışınlamanın aylara göre değişimi

Şekil 4.119’da yer aldığı üzere yatay düzlemde küresel ışınlama 1775,63 kWh/m²’dir. Kollektör üzerindeki etkili ışınlım 1705,99 kWh/m²’dir. Bu etkili ışınlama bir fotovoltaik panel veya dizinin yüzeyine düştüğünde, elektrik veya elektrik enerjisi üretilir. Bu aşamada meydana gelen çeşitli kayıplar sıcaklık nedeniyle %4.65, kablo kayıpları %1.26, gölgelenme %0.11, mismatch kayıpları %1 dir.

Toplam Işınım - Yatayda	1.775,63 kWh/m²	
Standart spektrumdan sapma	-17,76 kWh/m ²	-1,00 %
Zemin Yansıtma Katsayısı (Albedo)	0,67 kWh/m ²	0,04 %
Modül yüzeyinin Yerleşim Yönü ve Eğimi	-6,24 kWh/m ²	-0,35 %
Modülden bağımsız gölgeleme	-0,90 kWh/m ²	-0,05 %
Modül yüzeyinde yansım	-45,42 kWh/m ²	-2,59 %
Modül Üzerine Düşen Toplam Işınım	1.705,99 kWh/m²	
	1.705,99 kWh/m ²	
	x 6805,814 m ²	
	= 11.610.630,40 kWh	
Toplam PV Işınımı	11.610.630,40 kWh	
Kirlenme	-348.298,72 kWh	-3,00 %
STC Dönüşümü (Modülün nominal verimliliği 15,9 %)	-9.471.237,00 kWh	-84,10 %
Anma PV Enerjisi	1.791.094,68 kWh	
modüle özgü kısmı gölgeleme	-2.014,70 kWh	-0,11 %
Düşük ışık performansı	-11.542,65 kWh	-0,65 %
Nominal modül sıcaklığından sapma	-82.588,27 kWh	-4,65 %
Diyotlar	-129,42 kWh	-0,01 %
Uyumsuzluk (üretici bilgisi)	-16.948,20 kWh	-1,00 %
Uyumsuzluk (konfigürasyon / gölgeleme)	-169,05 kWh	-0,01 %
Evirici düzenleyici olmadan PV enerjisi (DC)	1.677.702,40 kWh	
DC başlangıç gıkışına ulaşamadı	-285,78 kWh	-0,02 %
MPP-gerilim aralığı için düzenleme	0,00 kWh	0,00 %
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	-54,94 kWh	0,00 %
MPP Eşleme	-2.213,98 kWh	-0,13 %
PV Enerjisi (DC)	1.675.147,70 kWh	
Evirici Girişindeki Enerji	1.675.147,70 kWh	
Giriş gerilimi anma geriliminden sapıyor	-3.642,64 kWh	-0,22 %
DC/AC Dönüştürme	-36.498,58 kWh	-2,18 %
Bekleme Konumundaki Tüketim (İnvertörler)	-519,55 kWh	-0,03 %
Toplam kablo kayıpları	-20.601,08 kWh	-1,26 %
Bekleme Konumundaki Kullanımı Hariç PV Enerjisi (AC)	1.613.885,84 kWh	
PV jeneratör enerjisi (AC şebekesi)	1.614.405,39 kWh	

Şekil 4.119. Sistem kayıplar diyagramı

4.2.2.3. Alamettin-1 güneş enerji santrali pvsol simülasyonu

PVSOL yazılımında ilk olarak Şekil 4.120’de yer aldığı üzere tasarlanacak fotovoltaik sistem türü seçilir. Gölgeleme kaynaklı kayıplarında dahil edilmesi için 3D şebekeye bağlı PV sistemi seçilir.

Sistem Türü, İklim ve Şebeke

Ek türü
3D, Şebekeye bağlı PV sistemi

Tasarım Türü
3D Tasarım kullan

İklim verileri
Ülke: Türkiye Konum: Samsun (1991-2010)

Enlem	39° 15' 59" (39,27°)	Küresel ışınlamaların yıllık toplamı	1682 kWh/m²
Boylam	35° 53' 38" (35,89°)	Yıllık Ortalama Sıcaklık	10 °C
Saat Dilimi	UTC+2		
Zaman dilimi	1991 - 2010		

[Simülasyon parametreleri](#)

Simülasyonun zaman adımı
☒ 1 Saat (daha hızlı simülasyon)
☐ 1 Dakika (daha hassas simülasyon)

AC Şebekesi
[Giriş Ya...](#)

Gerilim (V _{L1})	230 V
Faz Adeti	3-fazlı
cos φ	1
Maksimum Güç Sınırlaması	Hayır

Şekil 4.120. Fotovoltaik sistem türü seçimi

Sistem türü seçildikten sonra simülasyon parametreleri alanından şekil 4.121’de yer aldığı üzere by-pass diyotlarındaki gerilim düşümünden kaynaklanan güç kaybı, mismatch kayıpları, albedo ve kirlilik kayıpları tanımlanır. 3d gölgeleme sahnesine sahip simülasyonlarda by-pass diyot etkisi program tarafından detaylı olarak hesaplanmaktadır.

By-pass Diyotlarındaki Gerilim Düşümünden kaynaklanan Güç Kaybı %

Uyumsuzluk veya Azaltılmış Kazançtan Kaynaklanan Güç Kayıpları %

Modül eviriciler ve güç iyileştiriciler ile uyumsuzluk kayıpları hesaba kabilmez.

Zemin Yansıtma Katsayısı (Albedo)
☒ Yıllık yansıtabilirliği (albedo) giriniz
☐ Aylık yansıtabilirliği (albedo) giriniz

%

Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara
20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %

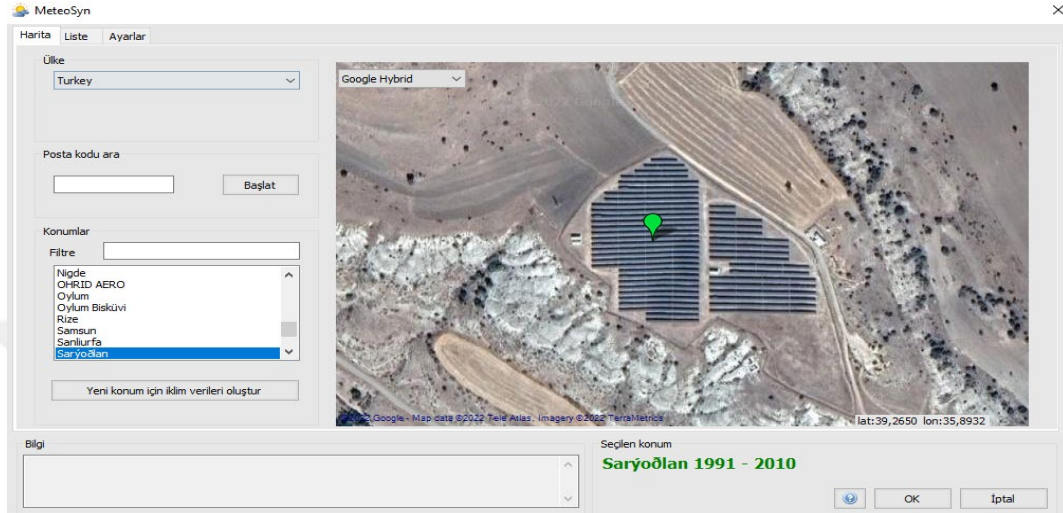
Kirlenme nedeniyle PV modüllerinin güç kayıpları
☒ Kirlenmeye bağlı yıllık kayıpları giriniz
☐ Kirlenmeye bağlı aylık kayıpları giriniz

%

Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara
0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %

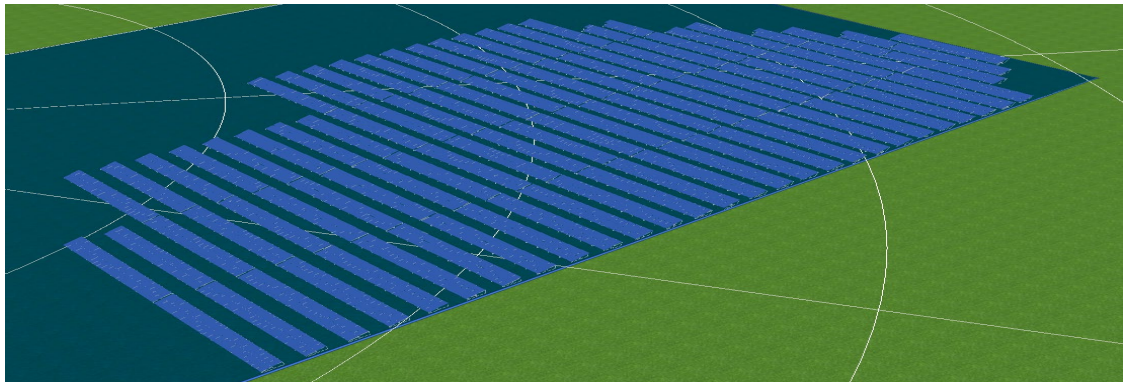
Şekil 4.121. Sistem kayıplarının tanımlanması

Şekil 4.122’de yer aldığı üzere programda sahanın tam koordinatları girilerek o konuma ait meteorolojik veriler program veritabanına eklenir. Pvsyst ile karşılaştırma yapmak için Meteonorm meteorolojik veritabanı seçilmiştir. PVSOL bu proje lokasyonu için 1991-2010 yılları arasındaki meteorolojik verileri kullanmaktadır.



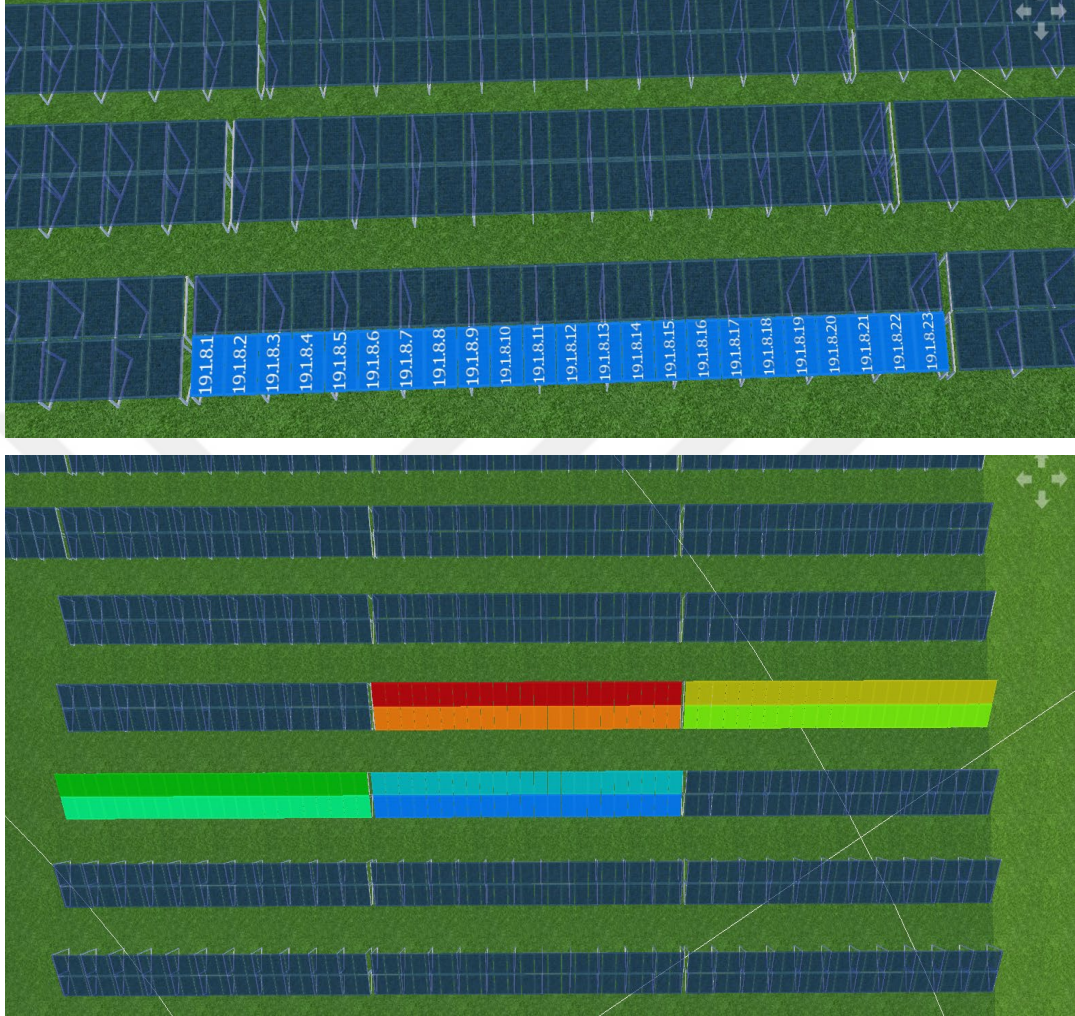
Şekil 4.122. Fotovoltaik santral konum seçimi

Fotovoltaik sistemde belirli bir panel ya da panel grubunda gölge gelmesinde meydana gelecek kayıpları tanımlamak Şekil 4.123’de yer aldığı üzere panel ve yükselti 3d modelleme yapılarak gölgeleme kayıpları hesaplanır.



Şekil 4.123. Alamettin-1 güneş enerji santrali pvsol 3d sistem modellemesi

3d sistem modellenmesi yapıldıktan sonra santralde kullanılacak inverter modeli seçilerek string konfigürasyonu yapılır.



Şekil 4.124. Panel-inverter konfigürasyonu

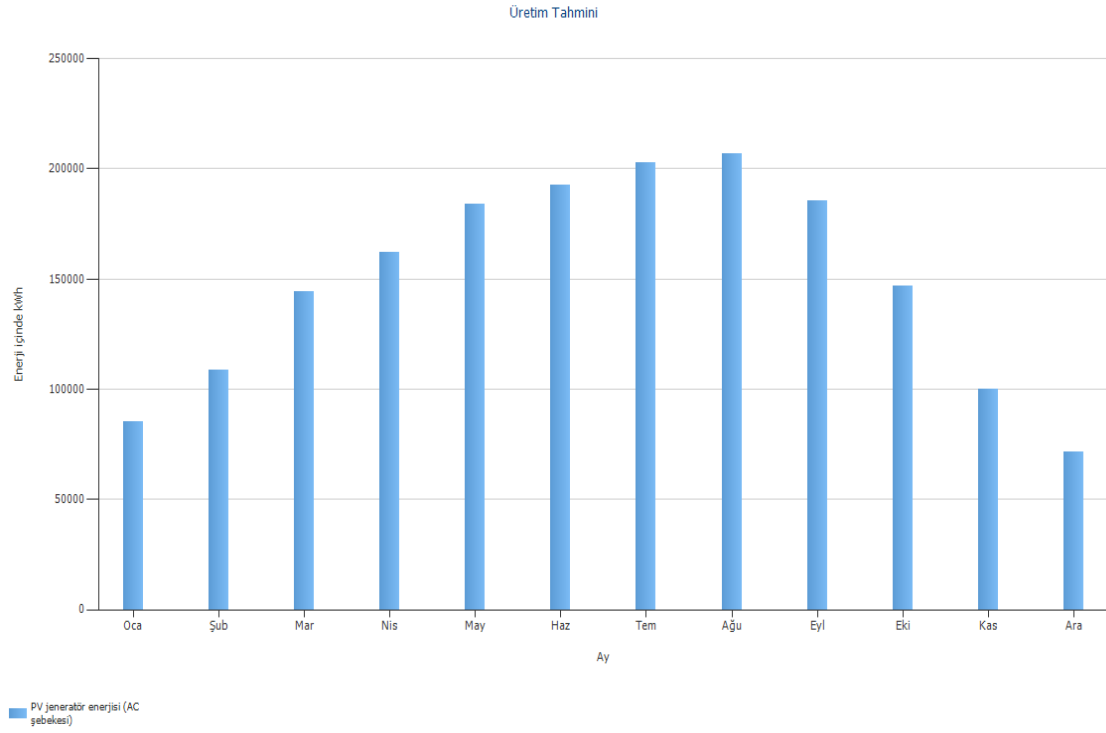
Panel ile inverter arasında enerji iletimini sağlayan DC kablolarla meydana gelecek kayıpların doğru tanımlanması için string kablo bağlantıları Şekil 4.125’de yer aldığı gibi tanımlanması gerekmektedir.

Sistem üretim analizi PVSOL programı tarafından gerçekleştirildiğinde simülasyon sonuçlarından parametreler değerlendirilmiştir. İlk parametre, 1148,16 kWp fotovoltaik sistemden yıllık olarak üretilen enerji, 1790,79 MWh/yıl olarak üretilen toplam enerji miktarıdır. Meteoroloji veri tabanına göre Kayseri ili için yatay düzlemde yıllık küresel ışıma değeri Çizelge 4.21’de yer aldığı üzere 1681,98 kWh/m²’dir. Santral performans oranı %83,4, spesifik üretim değeri ise 1559,61 kWh/kWp olarak hesaplanmıştır. Şebekeye aktarılan maksimum aylık enerji 206,80 MWh ile Ağustos ayında gerçekleşeceği görülmektedir.

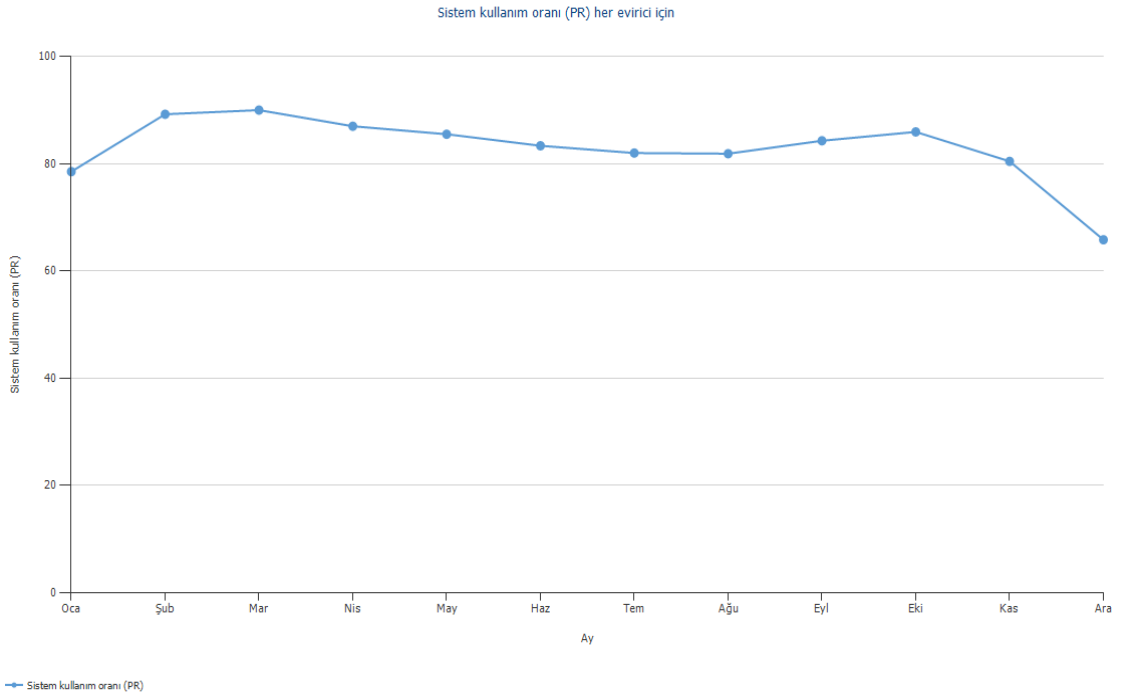
Simülasyon sonuçlarına göre yıllık üretilen enerji 1614,405 MWh, spesifik üretim 1559,61 kWh/kWp, sistem performans oranı ise %83,4 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.21. Alamettin-1 pvsol sonuçları

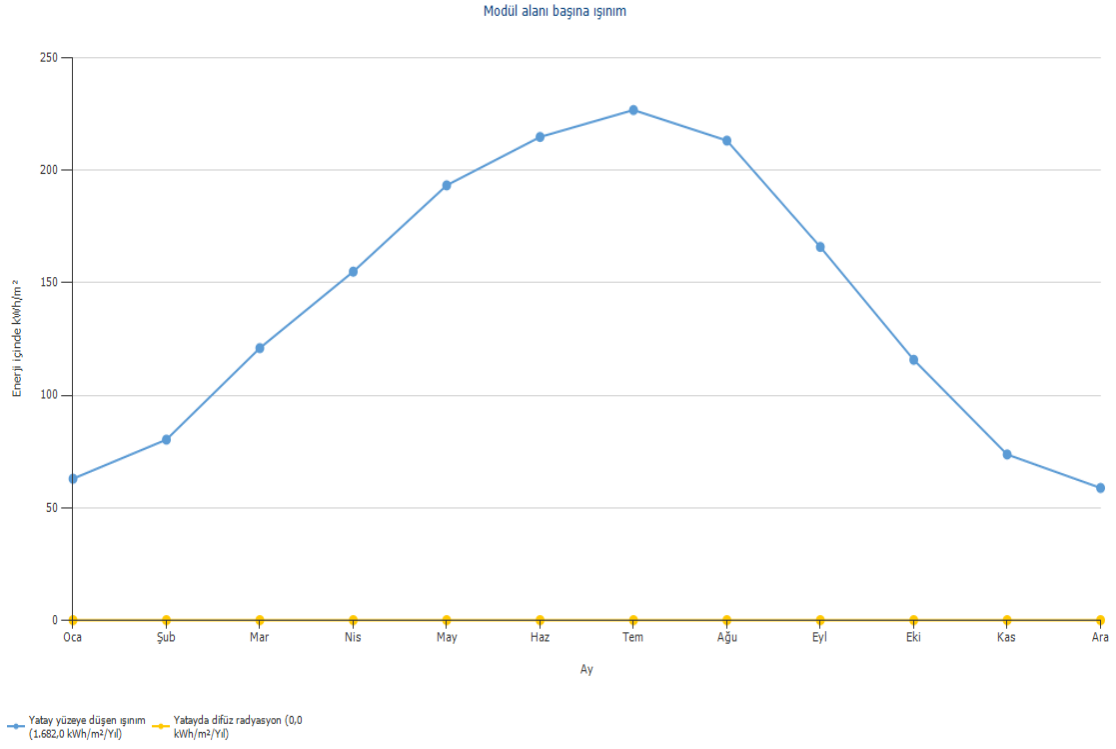
Ay	Global Yatay Işınlama (kWh/m ²)	Sıcaklık (°C)	Üretilen Enerji (MWh)	PR
Ocak	62,9	-2,6	85,19	0,785
Şubat	80,3	-1,2	108,68	0,892
Mart	121	4,3	144,21	0,900
Nisan	155	9,1	162,23	0,870
Mayıs	193,4	13,8	184,06	0,855
Haziran	214,9	17,9	192,74	0,834
Temmuz	226,9	22,4	202,92	0,820
Ağustos	213,3	22,5	206,80	0,819
Eylül	166	16,7	185,44	0,843
Ekim	115,8	11,7	146,92	0,859
Kasım	73,7	4,9	100,24	0,805
Aralık	58,8	-0,4	71,36	0,658
Toplam	1681,98	9,93	1790,79	0,834



Şekil 4.127. Aylara göre santral elektrik üretim grafiği



Şekil 4.128. Aylara göre performans oranı değişimi



Şekil 4.129. Global yatay ışınlama ve yatay difüz ışınlamanın aylara göre değişimi

Şekil 4.130'da yer aldığı üzere yatay düzlemde küresel ışınlama 1681,98 kWh/m²'dir. Kollektör üzerindeki etkili ışınlım 1832,41 kWh/m²'dir. Bu etkili ışınlama bir fotovoltaik panel veya dizinin yüzeyine düştüğünde, elektrik veya elektrik enerjisi üretilir. Bu aşamada meydana gelen çeşitli kayıplar sıcaklık nedeniyle %2.97, kablo kayıpları %1.69, gölgelenme %2.86, mismatch kayıpları %1 dir.

Toplam Işınım - Yatayda	1.681,98 kWh/m²	
Standart spektrumdan sapma	-16,82 kWh/m ²	-1,00 %
Zemin Yansıtma Katsayısı (Albedo)	15,60 kWh/m ²	0,94 %
Modül yüzeyinin Yerleşim Yönü ve Eğimi	194,71 kWh/m ²	11,58 %
Modülden bağımsız gölgeleme	-7,40 kWh/m ²	-0,39 %
Modül yüzeyinde yansıma	-35,66 kWh/m ²	-1,91 %
Modül Üzerine Düşen Toplam Işınım	1.832,41 kWh/m²	
	1.832,41 kWh/m ²	
	x 7228,109 m ²	
	= 13.244.887,61 kWh	
Toplam PV Işınımı	13.244.887,61 kWh	
Kirlenme	-397.326,60 kWh	-3,00 %
STC Dönüşümü (Modülün nominal verimliliği 15,9 %)	-10.804.360,82 kWh	-84,10 %
Anma PV Enerjisi	2.043.200,19 kWh	
modüle özgü kısmı gölgeleme	-58.498,36 kWh	-2,86 %
Düşük ışık performansı	-10.125,02 kWh	-0,51 %
Nominal modül sıcaklığından sapma	-58.634,10 kWh	-2,97 %
Diyotlar	-409,24 kWh	-0,02 %
Uyumsuzluk (üretici bilgisi)	-19.155,33 kWh	-1,00 %
Uyumsuzluk (konfigürasyon / gölgeleme)	-9.595,51 kWh	-0,51 %
Evirici düzenleyici olmadan PV enerjisi (DC)	1.886.782,61 kWh	
DC başlangıç çıkışına ulaşamadı	-242,14 kWh	-0,01 %
MPP-gerilim aralığı için düzenleme	-1.224,88 kWh	-0,06 %
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	-16.749,55 kWh	-0,89 %
MPP Eşleme	-75,87 kWh	0,00 %
PV Enerjisi (DC)	1.868.490,18 kWh	
Evirici Girişindeki Enerji	1.868.490,18 kWh	
Giriş gerilimi anma geriliminden sapıyor	-2.447,61 kWh	-0,13 %
DC/AC Dönüştürme	-44.465,53 kWh	-2,38 %
Bekleme Konumundaki Tüketim (İnvertörler)	-108,53 kWh	-0,01 %
Toplam kablo kayıpları	-30.784,65 kWh	-1,69 %
Bekleme Konumundaki Kullanımı Hariç PV Enerjisi (AC)	1.790.683,86 kWh	

Şekil 4.130. Sistem kayıplar diyagramı

4.2.3. Pvgis simülasyonları

Yazılımda şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemler için tahmin sonuçlarının yanında aylık güneş radyasyon verileri de görülebilmektedir. Bu veriler diğer simülasyon programları tarafından alınabilmektedir. Diğer simülasyon programlarında olduğu bu programda da şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemler için hesaplama aracı bulunmaktadır.

4.2.3.1. Dorte güneş enerji santrali pvgis simülasyonu

Dorte Güneş Enerji Santralinin koordinatları girilerek üç farklı azimuth ve her azimuth da farklı DC güç yer aldığından dolayı, her azimuth için ayrı ayrı simülasyon yapıldıktan sonra elde edilen sonuçlar birleştirilmiştir. Pvsyst'te PVGIS veritabanı kullanılarak yapılan simülasyon çalışmasında ortaya çıkan toplam kayıp %23,6 olduğundan dolayı simülasyon sonucunda toplam kayıp olarak bu değer sağlanabilmesi için ışıma kayıpları haricindeki kayıplar %11,08 olarak girilmiştir. PVGIS yazılımında radyasyon veri tabanı olarak PVGIS-ERA5 ve PVGIS-SARAH veri tabanı kullanılarak simülasyon yapılabilir. Tez çalışmasında iki veri tabanı da karşılaştırılmıştır.

Azimuth 1; -112°C, 1440 adet panel ve 547,2 kWp güç yer almaktadır.

Azimuth 2; 68°C, 756 adet panel ve 287,28 kWp güç yer almaktadır.

Azimuth 3; -22°C, 72 adet panel ve 27,36 kWp güç yer almaktadır.

The screenshot displays the PVGIS-ERA5 web interface. On the left, a map shows the location in Ispra, Italy, with a blue pin and a 1000m scale bar. The address bar shows 'Eg. Ispra, Italy' and the coordinates '38.6826, 29.1939'. The right panel is titled 'PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV' and contains the following settings:

- Cursor:** Selected: 38.683, 29.194; Elevation (m): 641; PVGIS ver.: 5.2
- Use terrain shadows:** ☒ Calculated horizon; ☐ Upload horizon file
- Buttons:** csv, json, Dosya Seç, Dosya seğımedi
- GRID CONNECTED:** TRACKING PV, OFF-GRID, MONTHLY DATA, DAILY DATA, HOURLY DATA, TMY
- Solar radiation database:** PVGIS-ERA5
- PV technology:** Crystalline silicon
- Installed peak PV power [kWp]:** 547
- System loss [%]:** 11.08
- Fixed mounting options:**
 - Mounting position:** Roof added / Building integrated
 - Slope [°]:** -112
 - Azimuth [°]:** -112
 - ☐ Optimize slope
 - ☐ Optimize slope and azimuth
- PV electricity price:** ☐
- PV system cost (your currency):**
- Interest [%/year]:**
- Lifetime [years]:**
- Buttons:** Visualize results, csv, json

Şekil 4.131. Pvgis-era5 veri tabanı ile dorte ges simülasyonu azimuth-1 veri girişi ekranı

Cursor: 38.697, 29.155
 Selected: 38.683, 29.194
 Elevation (m): 641
 PVGIS ver. 5.2

Use terrain shadows:
☒ Calculated horizon
☐ Upload horizon file

Download CSV: Dosya Seç
 Download JSON: Dosya seçilmedi

Switch to version 5.1

GRID CONNECTED

PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV

Solar radiation database: PVGIS-ERA5
 PV technology: Crystalline silicon
 Installed peak PV power [kWp]: 287.29
 System loss [%]: 11.08

Fixed mounting options
 Mounting position: Roof added / Building integrated
☐ Optimize slope
☐ Optimize slope and azimuth

☐ PV electricity price
 PV system cost (your currency):
 Interest [%/year]:
 Lifetime [years]:

Visualize results

Şekil 4.132. Pvgis-era5 veri tabanı ile dorte ges simülasyonu azimuth-2 veri girişi ekranı

Cursor: 38.683, 29.194
 Selected: 38.683, 29.194
 Elevation (m): 641
 PVGIS ver. 5.2

Use terrain shadows:
☒ Calculated horizon
☐ Upload horizon file

Download CSV: Dosya Seç
 Download JSON: Dosya seçilmedi

Switch to version 5.1

GRID CONNECTED

PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV

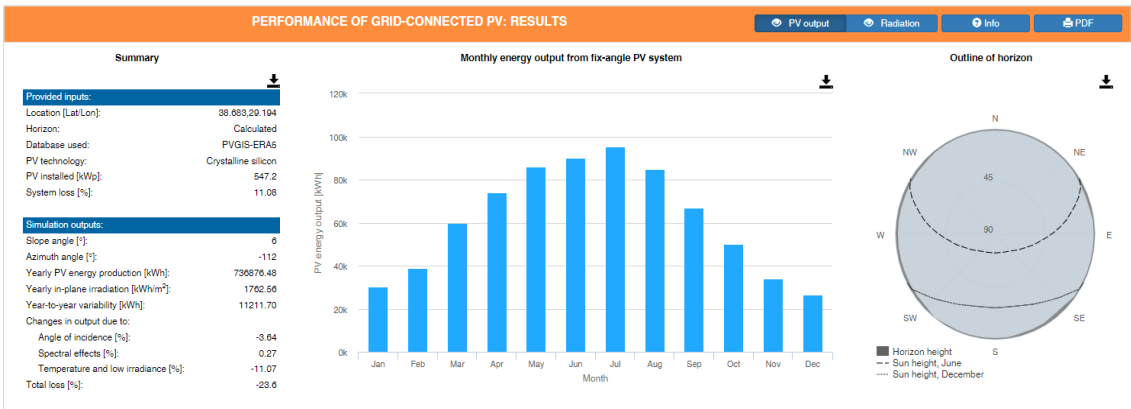
Solar radiation database: PVGIS-ERA5
 PV technology: Crystalline silicon
 Installed peak PV power [kWp]: 27.3
 System loss [%]: 11.08

Fixed mounting options
 Mounting position: Roof added / Building integrated
☐ Optimize slope
☐ Optimize slope and azimuth

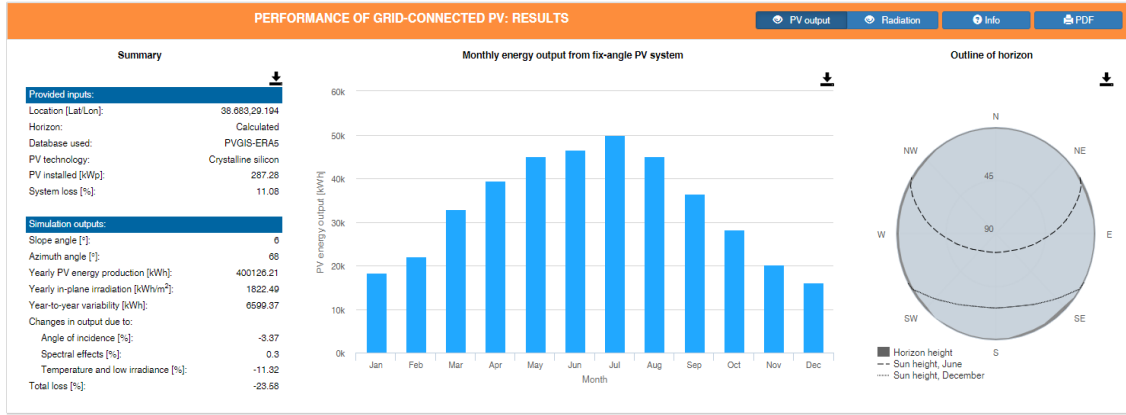
☐ PV electricity price
 PV system cost (your currency):
 Interest [%/year]:
 Lifetime [years]:

Visualize results

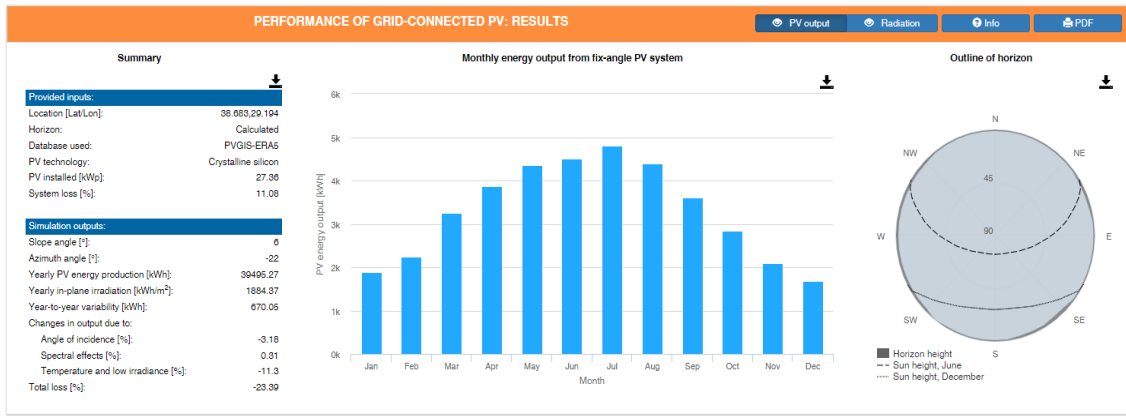
Şekil 4.133. Pvgis-era5 veri tabanı ile dorte ges simülasyonu azimuth-3 veri girişi ekranı



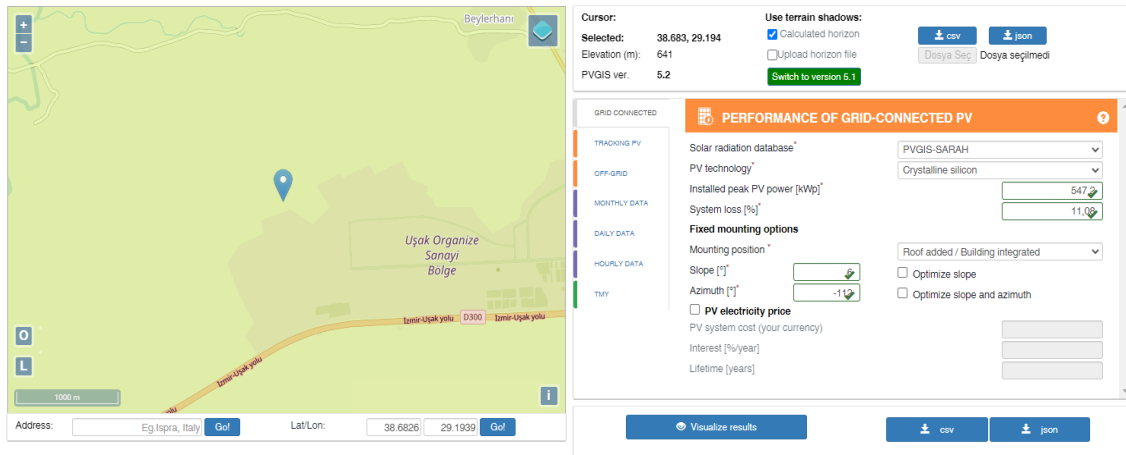
Şekil 4.134. Pvgis-era5 veri tabanı ile dorte ges azimuth-1 simülasyon sonuçları



Şekil 4.135. Pvgis-era5 veri tabanı ile dorte ges azimuth-2 simülasyon sonuçları



Şekil 4.136. Pvgis-era5 veri tabanı ile dorte ges azimuth-3 simülasyon sonuçları



Şekil 4.137. Pvgis-sarah veri tabanı ile dorte ges simülasyonu azimuth-1 veri girişi ekranı

Cursor: 38.683, 29.194
 Elevation (m): 641
 PVGIS ver. 5.2

Use terrain shadows:
☒ Calculated horizon
☐ Upload horizon file
 Dosya Seç Dosya seçilmedi

GRID CONNECTED

PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV

Solar radiation database* PVGIS-SARAH
 PV technology* Crystalline silicon
 Installed peak PV power [kWp] 287.2
 System loss [%] 11.0

Fixed mounting options
 Mounting position* Roof added / Building integrated
 Slope [°]
 Azimuth [°]
☐ Optimize slope
☐ Optimize slope and azimuth

☐ PV electricity price
 PV system cost (your currency)
 Interest [%/year]
 Lifetime [years]

Visualize results

Şekil 4.138. Pvgis-sarah veri tabanı ile dorte ges simülasyonu azimuth-2 veri girişi ekranı

Cursor: 38.683, 29.194
 Elevation (m): 641
 PVGIS ver. 5.2

Use terrain shadows:
☒ Calculated horizon
☐ Upload horizon file
 Dosya Seç Dosya seçilmedi

GRID CONNECTED

PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV

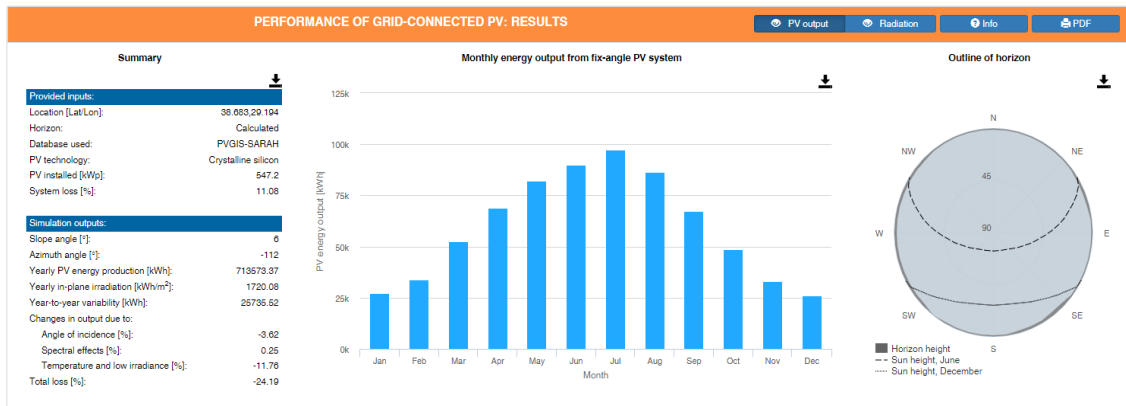
Solar radiation database* PVGIS-SARAH
 PV technology* Crystalline silicon
 Installed peak PV power [kWp] 27.3
 System loss [%] 11.0

Fixed mounting options
 Mounting position* Roof added / Building integrated
 Slope [°]
 Azimuth [°]
☐ Optimize slope
☐ Optimize slope and azimuth

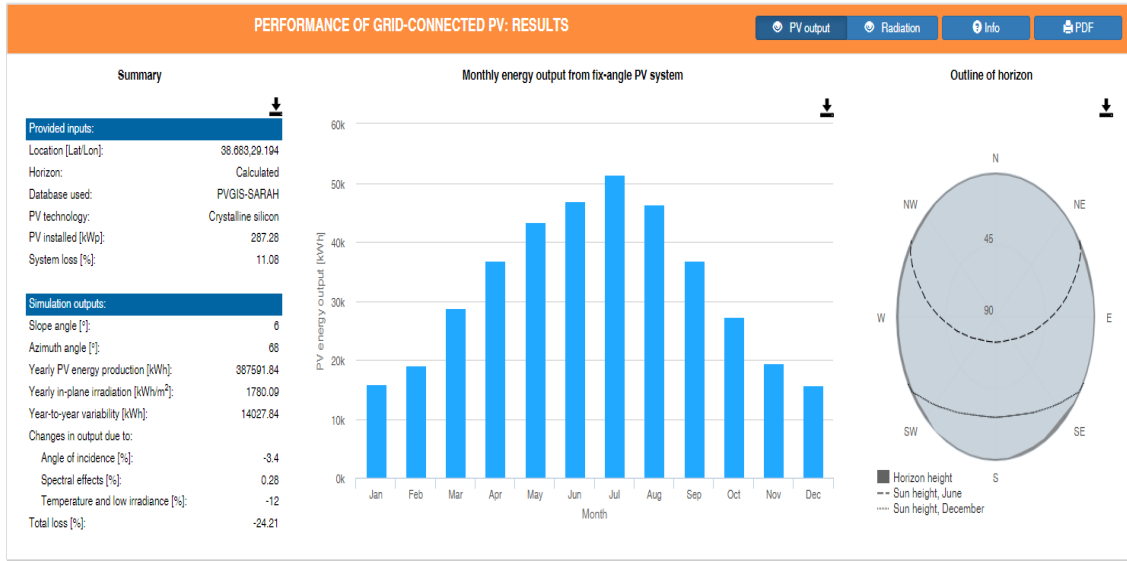
☐ PV electricity price
 PV system cost (your currency)
 Interest [%/year]
 Lifetime [years]

Visualize results

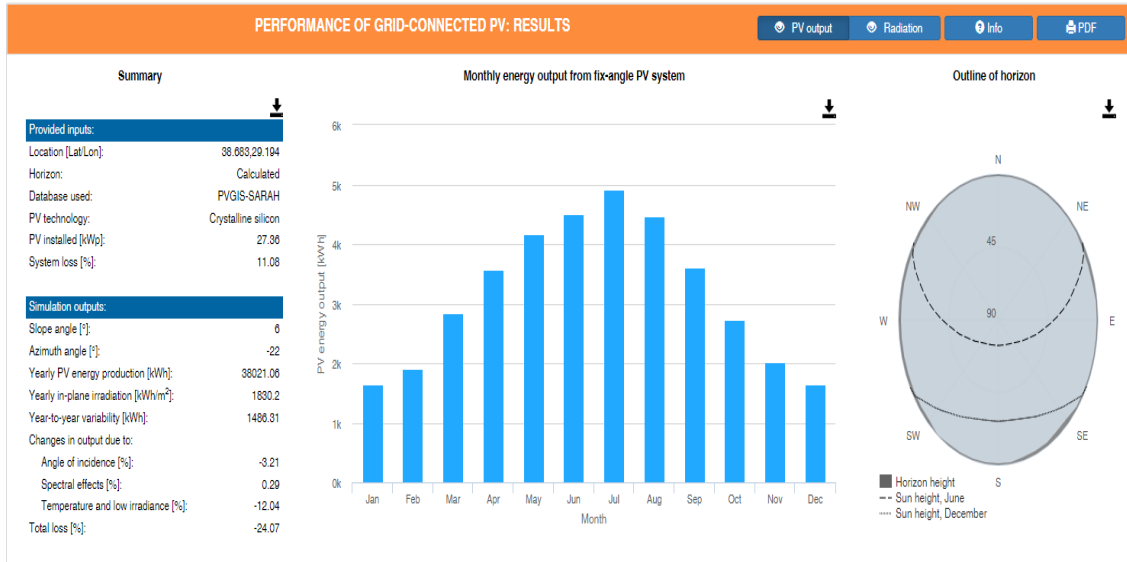
Şekil 4.139. Pvgis-sarah veri tabanı ile dorte ges simülasyonu azimuth-3 veri girişi ekranı



Şekil 4.140. Pvgis-sarah veri tabanı ile dorte ges azimuth-1 simülasyon sonuçları



Şekil 4.141. Pvgis-sarah veri tabanı ile dorte ges azimuth-2 simülasyon sonuçları



Şekil 4.142. Pvgis-sarah veri tabanı ile dorte ges azimuth-3 simülasyon sonuçları

PVGIS yazılımında konum, veritabanı, azimuth, eğim, DC güç gibi parametrelerin girilmesi sonucunda yapılan elde edilen simülasyon çalışma sonuçları Çizelge 4.22 ve Çizelge 4.23’ de yer almaktadır.

Çizelge 4.22. Dorte ges pvgıs-era5 veritabanı ile yapılan simülasyon sonuçları

Ay	Azimuth-1 (kWh/m ²)	Azimuth-2 (kWh/m ²)	Azimuth-3 (kWh/m ²)	Toplam (kWh)/m ²	Azimuth-1 (kWh)	Azimuth-2 (kWh)	Azimuth-3 (kWh)	Toplam (MWh)	PR
Ocak	68,3	77,1	82,6	76,0	30437,0	18255,3	1885,0	50,58	0,77
Şubat	86,4	92,9	98,7	92,7	38823,4	22045,1	2238,0	63,11	0,79
Mart	134,8	141,2	146,8	140,9	59824,8	32826,0	3250,7	95,90	0,79
Nisan	172,1	175,6	180,2	176,0	74041,7	39512,2	3859,9	117,41	0,77
Mayıs	205,8	205,9	209,5	207,1	85946,6	44983,5	4353,0	135,28	0,76
Haziran	221,1	219,1	222,2	220,8	89950,2	46629,6	4496,6	141,08	0,74
Temmuz	240,1	240,4	243,2	241,2	95378,3	49910,0	4799,8	150,09	0,72
Ağustos	213,4	217,3	221,8	217,5	84936,9	45074,2	4386,6	134,40	0,72
Eylül	162,8	169,6	175,9	169,4	66962,4	36438,9	3601,5	107,00	0,73
Ekim	117,5	126,4	133,5	125,8	49940,1	28222,6	2845,3	81,01	0,75
Kasım	78,9	87,70	94,6	87,1	34164,4	20123,6	2088,5	56,38	0,75
Aralık	61,3	69,3	75,4	68,7	26470,6	16105,3	1690,3	44,27	0,75
Toplam	1762,5	1822,5	1884,4	1823,1	736876,4	400126,3	39495,2	1176,50	0,75

Çizelge 4.23. Dorte ges pvgıs-sarah veritabanı ile yapılan simülasyon sonuçları

Ay	Azimuth-1 (kWh/m ²)	Azimuth-2 (kWh/m ²)	Azimuth-3 (kWh/m ²)	Toplam (kWh)/m ²	Azimuth-1 (kWh)	Azimuth-2 (kWh)	Azimuth-3 (kWh)	Toplam (MWh)	PR
Ocak	61,5	67,8	72,7	67,3	27239,4	15962,2	1645,3	44,85	0,77
Şubat	75,6	81	85,1	80,6	33796,3	19034,8	1912,1	54,74	0,79
Mart	119,7	124,6	128,9	124,4	52743,7	28775,4	2835,8	84,35	0,79
Nisan	160,9	164,2	167,7	164,3	68824,0	36739,1	3570,6	109,13	0,77
Mayıs	198,4	199,8	202,2	200,1	82093,7	43277,5	4165,2	129,54	0,75
Haziran	222,8	221,9	224,2	223,0	89830,1	46845,6	4501,7	141,18	0,73
Temmuz	246,5	249,2	250,6	248,8	97366,1	51446,5	4922,1	153,73	0,72
Ağustos	218,9	224,5	227,9	223,8	86522,0	46349,2	4475,7	137,35	0,71
Eylül	164,2	171,7	177,1	171,0	67178,9	36769,0	3606,0	107,55	0,73
Ekim	114,5	122,4	128,6	121,8	48578,5	27248,7	2734,8	78,56	0,75
Kasım	76,8	85,10	91,5	84,5	33207,3	19484,4	2010,5	54,70	0,75
Aralık	60,4	67,9	73,6	67,3	26193,5	15659,6	1641,3	43,49	0,75
Toplam	1720,20	1780,10	1830,10	1776,80	713573,50	387592,00	38021,10	1139,19	0,74

4.2.3.2. Oylum güneş enerji santrali pvgis simülasyonu

Oylum Güneş Enerji Santralinin koordinatları girilerek iki farklı azimuth ve her azimuth da farklı DC güç yer aldığından dolayı, her azimuth için ayrı ayrı simülasyon yapıldıktan sonra elde edilen sonuçlar birleştirilmiştir. Pvsyst'te PVGIS veritabanı kullanılarak yapılan simülasyon çalışmasında ortaya çıkan toplam kayıp %21,68 olduğundan dolayı simülasyon sonucunda toplam kayıp olarak bu değer in sağlanabilmesi için ışıma kayıpları haricindeki kayıplar %10,27 olarak girilmiştir. PVGIS yazılımında radyasyon veri tabanı olarak PVGIS-ERA5 ve PVGIS-SARAH veri tabanı kullanılarak simülasyon yapılabilmektedir. Tez çalışmasında iki veri tabanı da karşılaştırılmıştır.

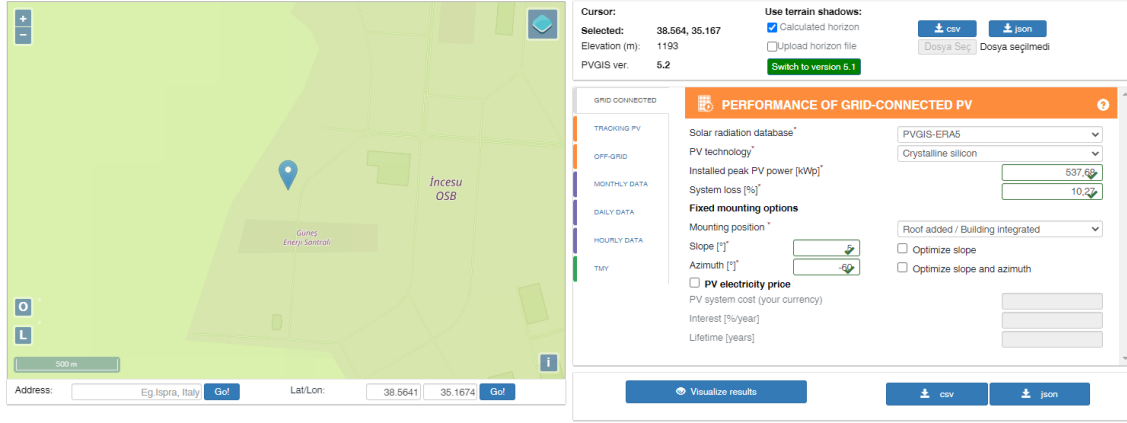
Azimuth 1; 120°C, 2090 adet panel ve 543,4 kWp güç yer almaktadır.

Azimuth 2; -60°C, 756 adet panel ve 537,68 kWp güç yer almaktadır.

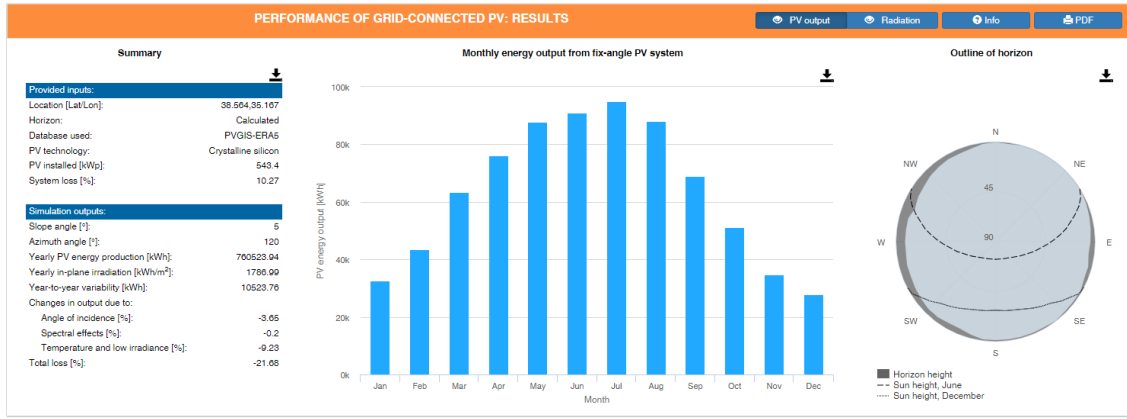
The screenshot displays the PVGIS-ERA5 web interface. On the left, a map shows the location of the solar panel array. The right panel contains the following input parameters:

- Cursor:** 38.570, 35.154
- Selected:** 38.564, 35.167
- Elevation (m):** 1193
- PVGIS ver.:** 5.2
- Use terrain shadows:** ☒ Calculated horizon
- Download buttons:** csv, json
- Switch to version 5.1** (button)
- GRID CONNECTED** (tab)
- PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV** (section)
- TRACKING PV** (tab)
- Solar radiation database:** PVGIS-ERA5
- PV technology:** Crystalline silicon
- Installed peak PV power [kWp]:** 543.4
- System loss [%]:** 10.27
- Fixed mounting options** (section)
- Mounting position:** Roof added / Building integrated
- Slope [°]:** 120
- Azimuth [°]:** 120
- PV electricity price** (checkbox)
- PV system cost (your currency):** [input field]
- Interest [%/year]:** [input field]
- Lifetime [years]:** [input field]
- Visualize results** (button)
- Download buttons:** csv, json

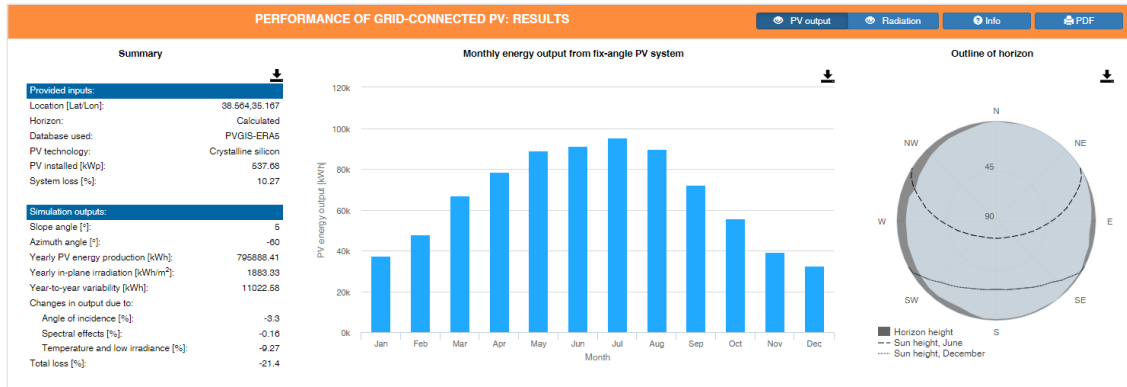
Şekil 4.143. Pvgis-era5 veri tabanı ile oylum ges simülasyonu azimuth-1 veri girişi ekranı



Şekil 4.144. Pvgis-era5 veri tabanı ile oylum ges simülasyonu azimuth-2 veri girişi ekranı



Şekil 4.145. Pvgis-era5 veri tabanı ile oylum ges azimuth-1 simülasyon sonuçları



Şekil 4.146. Pvgis-era5 veri tabanı ile oylum ges azimuth-2 simülasyon sonuçları

Cursor:
 Selected: 38.564, 35.167
 Elevation (m): 1193
 PVGIS ver.: 5.2

Use terrain shadows:
☒ Calculated horizon
☐ Upload horizon file

PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV

Solar radiation database: PVGIS-SARAH
 PV technology: Crystalline silicon
 Installed peak PV power [kWp]: 543.4
 System loss [%]: 10.2

Fixed mounting options
 Mounting position: Roof added / Building integrated
 Slope [°]: 12
 Azimuth [°]: 120

☐ PV electricity price
 PV system cost (your currency):
 Interest [%/year]:
 Lifetime [years]:

Buttons: Visualize results, csv, json

Şekil 4.147. Pvgis-sarah veri tabanı ile oylum ges simülasyonu azimuth-1 veri girişi ekranı

Cursor:
 Selected: 38.564, 35.167
 Elevation (m): 1193
 PVGIS ver.: 5.2

Use terrain shadows:
☒ Calculated horizon
☐ Upload horizon file

PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV

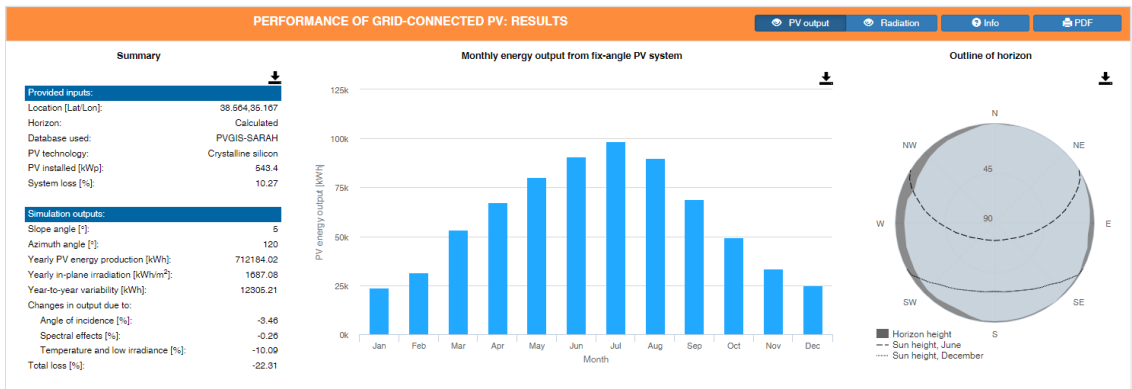
Solar radiation database: PVGIS-SARAH
 PV technology: Crystalline silicon
 Installed peak PV power [kWp]: 537.6
 System loss [%]: 10.2

Fixed mounting options
 Mounting position: Roof added / Building integrated
 Slope [°]: 12
 Azimuth [°]: 120

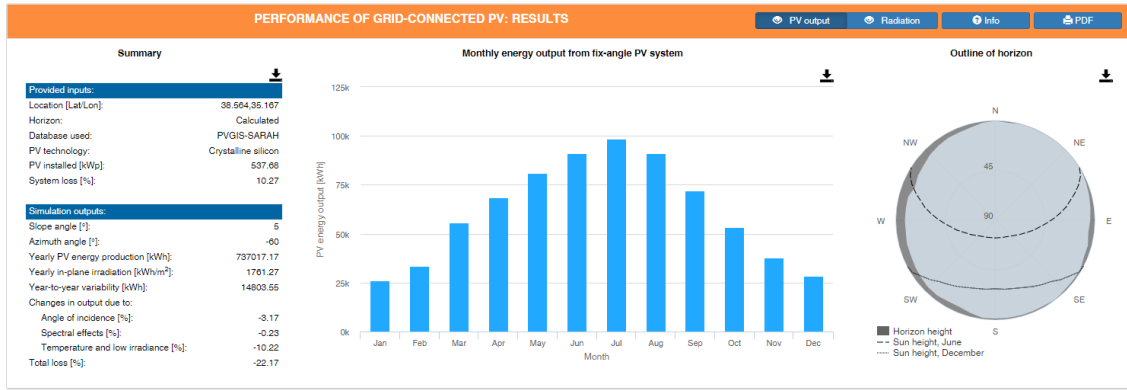
☐ PV electricity price
 PV system cost (your currency):
 Interest [%/year]:
 Lifetime [years]:

Buttons: Visualize results, csv, json

Şekil 4.148. Pvgis-sarah veri tabanı ile oylum ges simülasyonu azimuth-2 veri girişi ekranı



Şekil 4.149. Pvgis-sarah veri tabanı ile oylum ges azimuth-1 simülasyon sonuçları



Şekil 4.150. Pvgis-sarah veri tabanı ile oylum ges azimuth-2 simülasyon sonuçları

PVGIS yazılımında konum, veritabanı, azimuth, eğim, DC güç gibi parametrelerin girilmesi sonucunda yapılan elde edilen simülasyon çalışma sonuçları Çizelge 4.24 ve Çizelge 4.25’de yer almaktadır.

Çizelge 4.24. Oylum ges pvgis-era5 veritabanı ile yapılan simülasyon sonuçları

Ay	Azimuth-1 (kWh/m²)	Azimuth-2 (kWh/m²)	Toplam (kWh)/m²	Azimuth-1 (kWh)	Azimuth-2 (kWh)	Toplam (MWh)	PR
Ocak	71,4	81,10	76,3	32684,10	37362,40	70,05	0,85
Şubat	95,0	104,40	99,7	43532,70	47801,20	91,33	0,85
Mart	140,5	149,80	145,2	63499,70	67061,20	130,56	0,83
Nisan	174,3	182,10	178,2	76234,00	78677,20	154,91	0,80
Mayıs	206,7	211,90	209,3	87781,80	88832,00	176,61	0,78
Haziran	220,6	224,20	222,4	90890,10	91179,10	182,07	0,76
Temmuz	236,1	240,20	238,2	95080,70	95485,60	190,57	0,74
Ağustos	216,5	223,90	220,2	87943,10	89705,60	177,65	0,75
Eylül	165,1	174,80	170,0	69021,00	72280,80	141,30	0,77
Ekim	118,7	130,00	124,4	51207,40	55775,10	106,98	0,80
Kasım	78,90	88,70	83,8	34709,40	39326,20	74,04	0,82
Aralık	63,2	72,30	67,8	27939,90	32402,00	60,34	0,82
Toplam	1787,0	1883,4	1835,2	760523,90	795888,40	1556,41	0,78

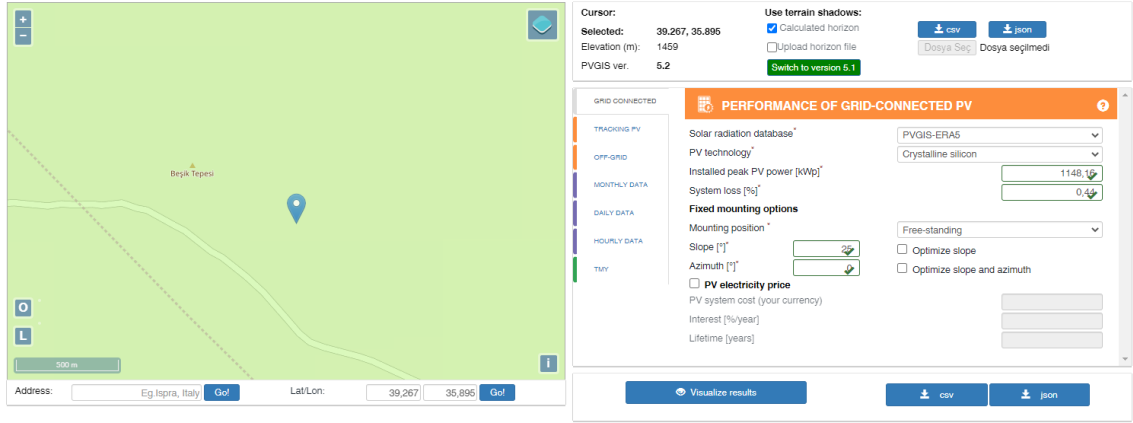
Çizelge 4.25. Oylum ges pvgis-sarah veritabanı ile yapılan simülasyon sonuçları

Ay	Azimuth-1 (kWh/m ²)	Azimuth-2 (kWh/m ²)	Toplam (kWh)/m ²	Azimuth-1 (kWh)	Azimuth-2 (kWh)	Toplam (MWh)	PR
Ocak	52,6	57,4	55,0	23719,00	25984,90	49,70	0,84
Şubat	69,8	74,5	72,2	31644,10	33586,10	65,23	0,84
Mart	118,7	125,2	122,0	53301,50	55694,30	109,00	0,83
Nisan	154,6	159,9	157,3	67256,00	68692,80	135,95	0,80
Mayıs	190,4	194,7	192,6	80175,80	80885,50	161,06	0,77
Haziran	221,6	225	223,3	90819,70	91023,80	181,84	0,75
Temmuz	244,8	248,4	246,6	98441,70	98537,70	196,98	0,74
Ağustos	222,3	228,3	225,3	90004,20	91170,30	181,17	0,74
Eylül	165,3	174,8	170,1	68956,10	72048,80	141,00	0,77
Ekim	114,7	124,3	119,5	49456,30	53218,10	102,67	0,79
Kasım	75,8	85,30	80,6	33369,50	37726,20	71,10	0,82
Aralık	56,6	63,3	60,0	25040,10	28448,70	53,49	0,83
Toplam	1687,2	1761,1	1724,2	712184,00	737017,20	1449,20	0,78

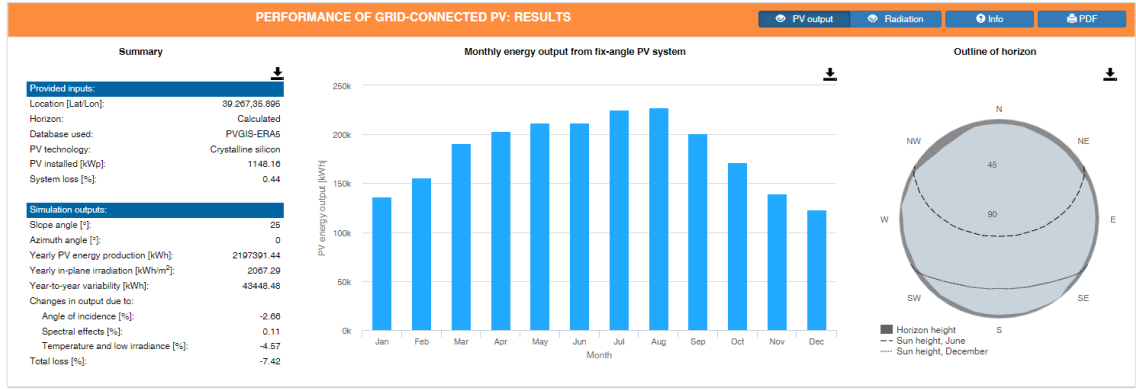
4.2.3.3. Alamettin-1 güneş enerji santrali pvgis simülasyonu

Alamettin-1 Güneş Enerji Santralinin koordinatları girilerek 0 °azimuth değerinde yer alan panel sistemin gücü girilerek simülasyon sonuçlarına ulaşılmıştır. Pvsyst'te PVGIS veritabanı kullanılarak yapılan simülasyon çalışmasında ortaya çıkan toplam kayıp %7,42 olduğundan dolayı simülasyon sonucunda toplam kayıp olarak bu değer in sağlanabilmesi için ışıma kayıpları haricindeki kayıplar %0,44 olarak girilmiştir. PVGIS yazılımında radyasyon veri tabanı olarak PVGIS-ERA5 ve PVGIS-SARAH veri tabanı kullanılarak simülasyon yapılabilir. Tez çalışmasında iki veri tabanı da karşılaştırılmıştır.

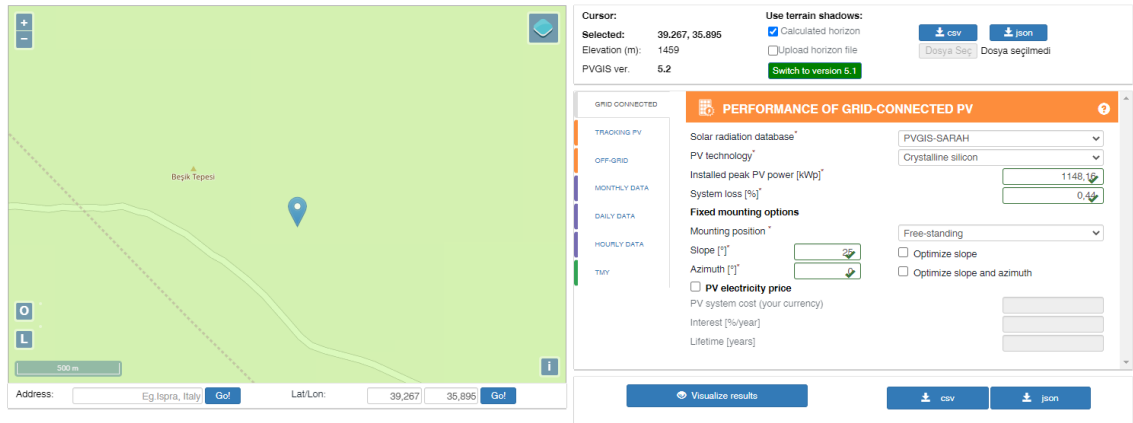
Azimuth-1; 0°C, 4416 adet panel ve 1148,16 kWp güç yer almaktadır.



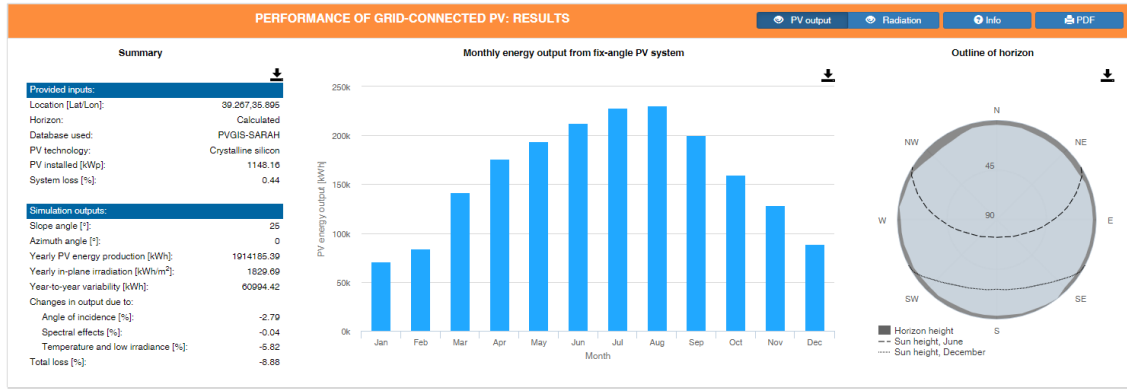
Şekil 4.151. Pvgis-era5 veri tabanı ile alamettin-1 ges simülasyonu azimuth-1 veri girişi ekranı



Şekil 4.152. Pvgis-era5 veri tabanı ile alamettin-1 ges azimuth-1 simülasyon sonuçları



Şekil 4.153. Pvgis-sarah veri tabanı ile alamettin-1 ges simülasyonu azimuth-1 veri girişi ekranı



Şekil 4.154. Pvgis-sarah veri tabanı ile alamettin-1 ges azimuth-1 simülasyon sonuçları

PVGIS yazılımında konum, veritabanı, azimuth, eğim, DC güç gibi parametrelerin girilmesi sonucunda yapılan elde edilen simülasyon çalışma sonuçları Çizelge 4.26 ve Çizelge 4.27’ de yer almaktadır.

Çizelge 4.26. Alamettin-1 ges pvgis-era5 veritabanı ile yapılan simülasyon sonuçları

Ay	Azimuth-1 (kWh/m ²)	Toplam (kWh)/m ²	Azimuth-1 (kWh)	Toplam (MWh)	PR
Ocak	116,1	116,1	136584,00	136,58	0,99
Şubat	135,9	135,9	156046,30	156,05	0,99
Mart	171,7	171,7	190904,00	190,90	0,97
Nisan	189,2	189,2	202922,40	202,92	0,93
Mayıs	203,6	203,6	211950,50	211,95	0,91
Haziran	209,2	209,2	211532,10	211,53	0,88
Temmuz	227,2	227,2	225416,50	225,42	0,86
Ağustos	227,2	227,2	227335,40	227,34	0,87
Eylül	194,9	194,9	200853,80	200,85	0,90
Ekim	160,3	160,3	171387,90	171,39	0,93
Kasım	124,50	124,5	139385,20	139,39	0,98
Aralık	107,5	107,5	123073,20	123,07	0,98
Toplam	2067,3	2067,3	2197391,30	2197,39	0,93

Çizelge 4.27. Alamettin-1 ges pvgıs-sarah veritabanı ile yapılan simülasyon sonuçları

Ay	Azimuth-1 (kWh/m ²)	Toplam (kWh)/m ²	Azimuth-1 (kWh)	Toplam (MWh)	PR
Ocak	62,3	62,3	70917,50	70,92	0,99
Şubat	75,1	75,1	83766,40	83,77	0,97
Mart	128,9	128,9	141674,20	141,67	0,96
Nisan	165,1	165,1	176073,10	176,07	0,93
Mayıs	187,2	187,2	193545,80	193,55	0,90
Haziran	210,7	210,7	212574,00	212,57	0,88
Temmuz	230,2	230,2	228267,60	228,27	0,86
Ağustos	231	231,0	230154,70	230,15	0,87
Eylül	195,2	195,2	200450,80	200,45	0,89
Ekim	149,8	149,8	159544,60	159,54	0,93
Kasım	115,70	115,7	128685,20	128,69	0,97
Aralık	78,6	78,6	88531,50	88,53	0,98
Toplam	1829,8	1829,8	1914185,40	1914,19	0,91

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuç

Bu tez çalışmasında, Güneş Enerji Santrali tasarım ve fizibilitelerinde kullanılan simülasyon programlarında Uşak ve Kayseri illerinde yer alan çatı/arazi projeleri için yapılan simülasyon çalışma sonuçlarının doğruluğunu tahmin etmek için üç farklı Güneş Enerji Santralinin bir yıllık gerçekleşen üretim ve performans oranı verileri karşılaştırılmıştır.

Simülasyon programlarının performanslarının doğru bir şekilde karşılaştırılması amacıyla IEC tarafından oluşturulan IEC 61724 numaralı performans analizi standardı kullanılmıştır. Bu amaçla yazılımlarda kullanılan meteorolojik veri tabanlarının seçiminde birbirleriyle karşılaştırma yapılabilecek olasılıklar olmasına dikkat edilmiştir. Pvsyst programı ile PVSOL programı sonuçlarının kıyaslanabilmesi için Meteonorm veritabanı, PVGIS programı ile kıyas edilebilmesi için ise PVGIS meteoroloji veri tabanı kullanılmıştır. Tez çalışmasında, her üç santral için Pvsyst yazılımında Meteonorm, Nasa, PVGIS veritabanı kullanılarak üç farklı simülasyon, PVSOL yazılımında Meteonorm veritabanı kullanılarak bir simülasyon, PVGIS yazılımında PVGIS-ERA5 ve PVGIS-SARAH veritabanı kullanılarak iki simülasyon yapılmıştır. Bu durumda her santral için altı adet simülasyon yapılarak sonuçları kıyaslanmıştır.

Literatürde yapılan çalışmalarda yer alan santraller arazi tipinde olup çalışma sonuçları yıllık gerçekleşen üretim üzerinden yapılmıştır. Bu tez çalışmasında hem arazi hem de çatı üzeri güneş enerji santralleri ele alınarak performans oranı üzerinden simülasyon programı ve veritabanı değerlendirilmesi yapılmıştır. Yıl içerisinde aylık olarak mevsimsel farklılık olduğundan dolayı yıllık üretim miktarı değişmektedir. Bu nedenle gelen ışıınım miktarı üzerinden sistem performans oranı değerlendirilmesi daha doğru olacaktır. Yapılan çalışmalar neticesinde ortalama %3,83 lik hata payıyla Pvsyst simülasyon programında Meteonorm veritabanı kullanılarak gerçekleştirilen simülasyon sonuçları ile gerçeğe en yakın sonuç elde edilmiştir.

5.1.1. Dorte güneş enerji santrali sonuçların kıyaslanması

Dorte Güneş Enerji Santrali için yapılan altı adet simülasyon sonucunda elde edilen aylık ve yıllık enerji üretim değerleri ve santralin Haziran 2021-Mayıs 2022 tarihleri arasında gerçekleşen üretim değerleri MWh olarak Çizelge 5.1’de yer almaktadır.

Çizelge 5.1. Dorte güneş enerji santrali simülasyon sonuçları ve gerçekleşen üretim değerleri

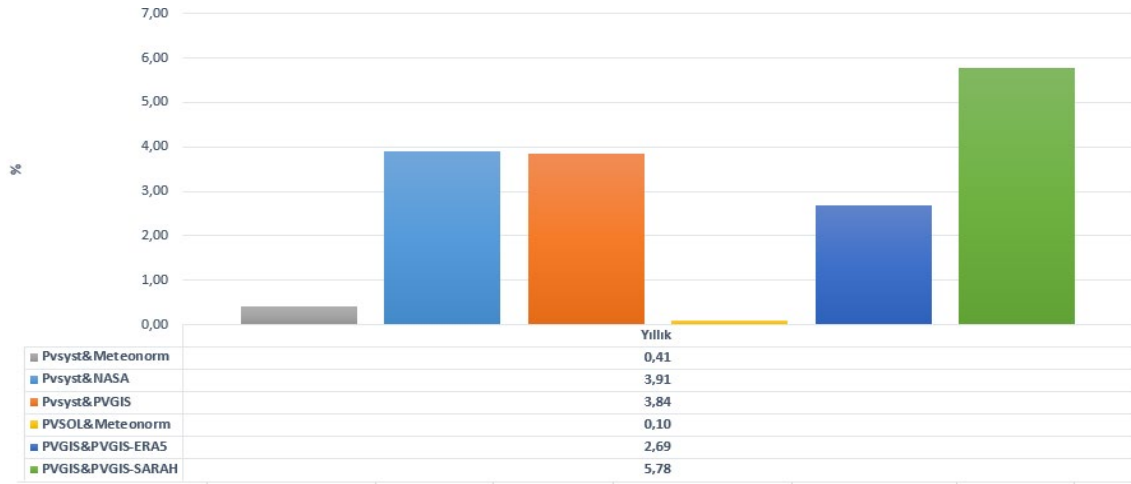
Simülasyon Programı Adı	PVSYST			PVSOL	PVGIS		Gerçekleşen
Veritabanı Adı	Meteonorm	NASA	PVGIS	Meteonorm	PVGIS-ERA5	PVGIS-SARAH	
Ocak	51,4	50,5	38,8	51,99	50,577	44,847	36,667
Şubat	60,5	61,7	55,4	57,95	63,107	54,743	60,561
Mart	92,1	95,1	93,4	88,61	95,902	84,355	97,846
Nisan	117,7	105,8	107,3	114,16	117,414	109,134	118,233
Mayıs	144,7	134,2	121,8	141,32	135,283	129,536	142,312
Haziran	150,2	147,3	155,4	149,73	141,076	141,177	141,343
Temmuz	152	150,4	161	159,99	150,088	153,735	160,424
Ağustos	139,3	134,1	137,9	142,66	134,398	137,347	146,655
Eylül	111,8	109,2	108,7	114,26	107,003	107,554	113,328
Ekim	81,8	79,6	84,1	82,49	81,008	78,562	91,259
Kasım	56,8	52,4	50,2	57,37	56,377	54,702	58,376
Aralık	45,9	41,4	48,6	47,33	44,266	43,494	42,072
Yıllık	1204,1	1161,8	1162,6	1207,86	1176,498	1139,187	1209,075

Dorte Güneş Enerji santrali için yapılan simülasyon çalışmalarında aylara göre üretilebilecek enerji miktarı tahminlerinde meydana gelen hata miktarları Şekil 5.1’de yer almaktadır. Simülasyon programlarının aylara göre tahmin hataları aylara göre değişkenlik göstermektedir.



Şekil 5.1. Aylara göre enerji üretimi tahminlerinde meydana gelen hatalar

Yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda elde edilebilecek toplam yıllık enerji miktarı ile gerçekleşen toplam yıllık enerji miktarı kıyaslanması sonucunda en başarılı sonuçlar Pvsyst yazılımında Meteonorm veritabanı kullanılarak gerçekleştirilen ve Pvsol yazılımında gerçekleştirilen simülasyonlarda elde edilmiştir. Şekil 5.2’de yer aldığı üzere gerçek değere en yakın sonuç %0,10 hata payıyla Pvsol simülasyon programında elde edilmiştir. Pvsol yazılımı, Pvsyst yazılımına göre aynı veri tabanında daha doğru bir tahmin sonucu ortaya çıkarmıştır. Pvsyst yazılımda üç farklı veritabanı kullanılarak yapılan simülasyon çalışmalarında en başarılı sonuç %0,41 hata payıyla Meteonorm veritabanıyla elde edilmiştir. Pvsyst yazılımında NASA ve PVGIS veritabanlarında elde edilen sonuçlar birbirine yakındır. Gerçek değerlere en uzak simülasyon sonuçları %5,78 ile PVGIS-SARAH verileri kullanılarak PVGIS yazılımında gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarında elde edilmiştir.



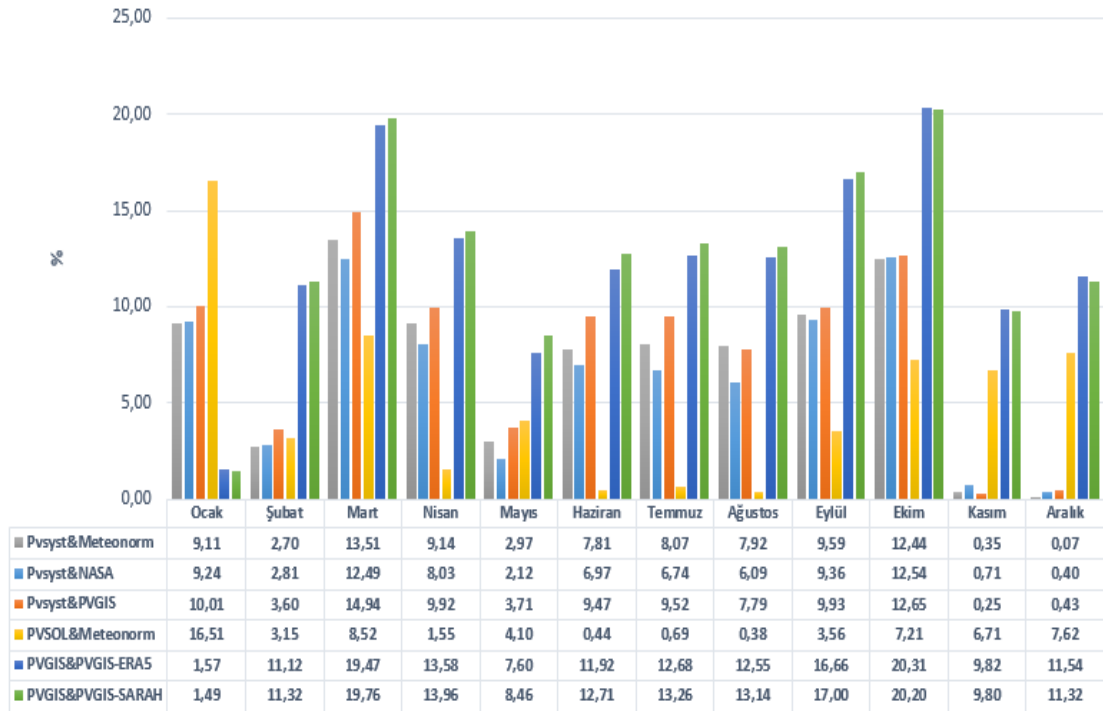
Şekil 5.2. Yıllık enerji üretim tahminlerinde meydana gelen hatalar

Tesisin gerçek performans oranı değerleri ile simülasyonlarda elde edilen performans oranları ise Çizelge 5.2’de yer almaktadır.

Çizelge 5.2. Dorte güneş enerji santrali simülasyon sonuçları ve gerçekleşen performans oranı değerleri

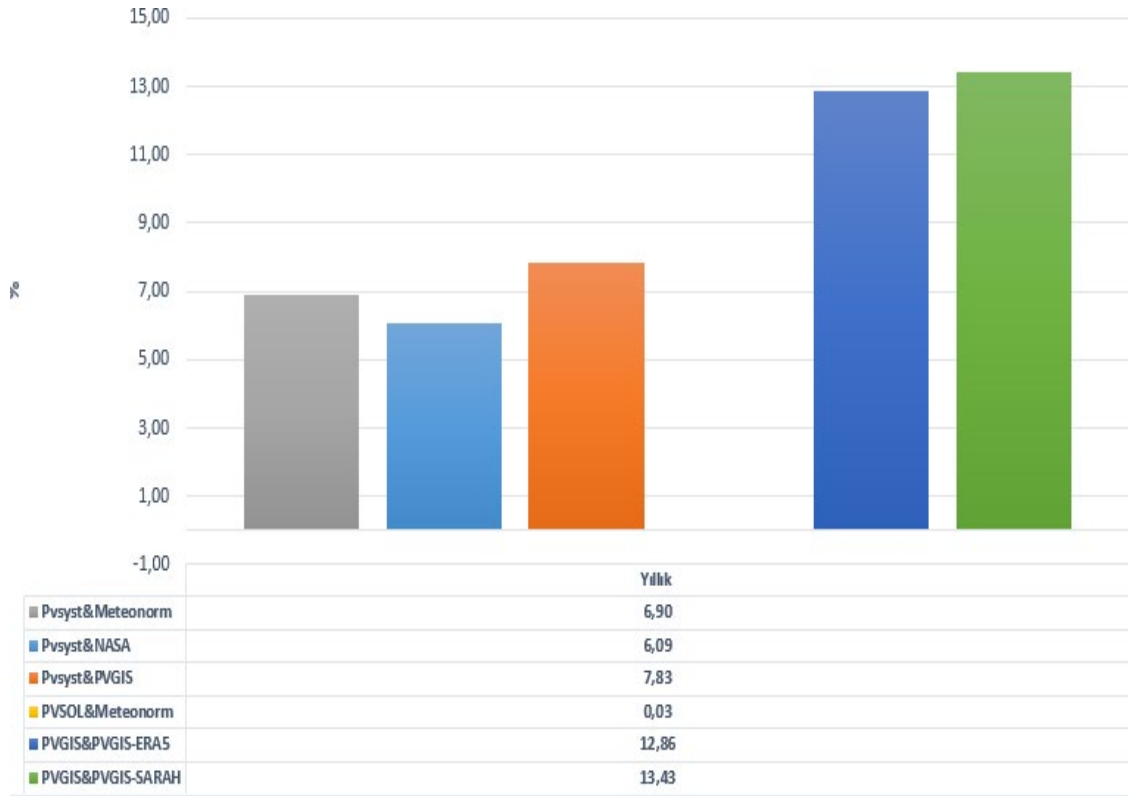
Simülasyon Programı Adı	PVSYST			PVSOL	PVGIS		Gerçekleşen
Veritabanı Adı	Meteonorm	NASA	PVGIS	Meteonorm	PVGIS-ERA5	PVGIS-SARAH	
Ocak	0,856	0,857	0,863	0,914	0,7722	0,7728	0,7845
Şubat	0,865	0,864	0,857	0,917	0,7902	0,7884	0,8890
Mart	0,848	0,858	0,834	0,897	0,7896	0,7868	0,9805
Nisan	0,814	0,824	0,807	0,882	0,7742	0,7709	0,8959
Mayıs	0,796	0,803	0,79	0,854	0,7581	0,7510	0,8204
Haziran	0,776	0,783	0,762	0,838	0,7414	0,7347	0,8417
Temmuz	0,76	0,771	0,748	0,821	0,7219	0,7171	0,8267
Ağustos	0,755	0,77	0,756	0,823	0,7170	0,7122	0,8199
Eylül	0,795	0,797	0,792	0,848	0,7328	0,7298	0,8793
Ekim	0,821	0,82	0,819	0,87	0,7472	0,7482	0,9376
Kasım	0,836	0,839	0,831	0,889	0,7513	0,7514	0,8331
Aralık	0,845	0,849	0,842	0,91	0,7480	0,7499	0,8456
Yıllık	0,80	0,807	0,792	0,859	0,7488	0,7439	0,8593

Şekil 5.3’de tesisin final verimle referans verimi oranı olan performans oranının (%) simülasyonlarda bulunan performans oranları ile gerçekleşen performans değerleri arasındaki fark görülmektedir.



Şekil 5.3. Aylara göre performans oranı tahminlerinde meydana gelen hatalar

Yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda santralin yıllık sistem performans oranı ile gerçekleşen sistem performans oranı kıyaslanması sonucunda en başarılı sonuçlar Pvsyst yazılımında NASA veritabanı kullanılarak gerçekleştirilen ve Pvsol yazılımında gerçekleştirilen simülasyonlarda elde edilmiştir. Şekil 5.4’de yer aldığı üzere gerçek değere en yakın sonuç %0,03 hata payıyla Pvsol simülasyon programında elde edilmiştir. Pvsol yazılımı, Pvsyst yazılımına göre aynı veri tabanında daha doğru bir tahmin sonucu ortaya çıkarmıştır. Pvsyst yazılımında üç farklı veritabanı kullanılarak yapılan simülasyon çalışmalarında en başarılı sonuç %6,09 hata payıyla NASA veritabanıyla elde edilmiştir. İki farklı veritabanı üzerinden simülasyon çalışmalarının gerçekleştirildiği PVGIS yazılımında ise birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5.4. Yıllık sistem performans oranı tahminlerinde meydana gelen hatalar

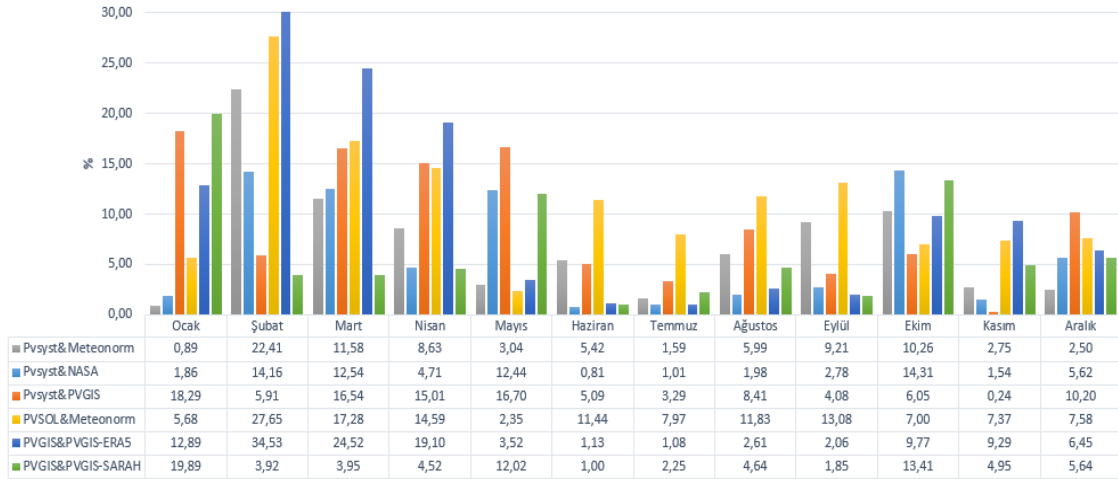
5.1.2. Oylum güneş enerji santrali sonuçların kıyaslanması

Oylum Güneş Enerji Santrali için yapılan altı adet simülasyon sonucunda elde edilen aylık ve yıllık enerji üretim değerleri ve santralin Ocak 2021-Aralık 2021 tarihleri arasında gerçekleşen üretim değerleri MWh olarak Çizelge 5.3’de yer almaktadır.

Çizelge 5.3. Oylum güneş enerji santrali simülasyon sonuçları ve gerçekleşen üretim değerleri

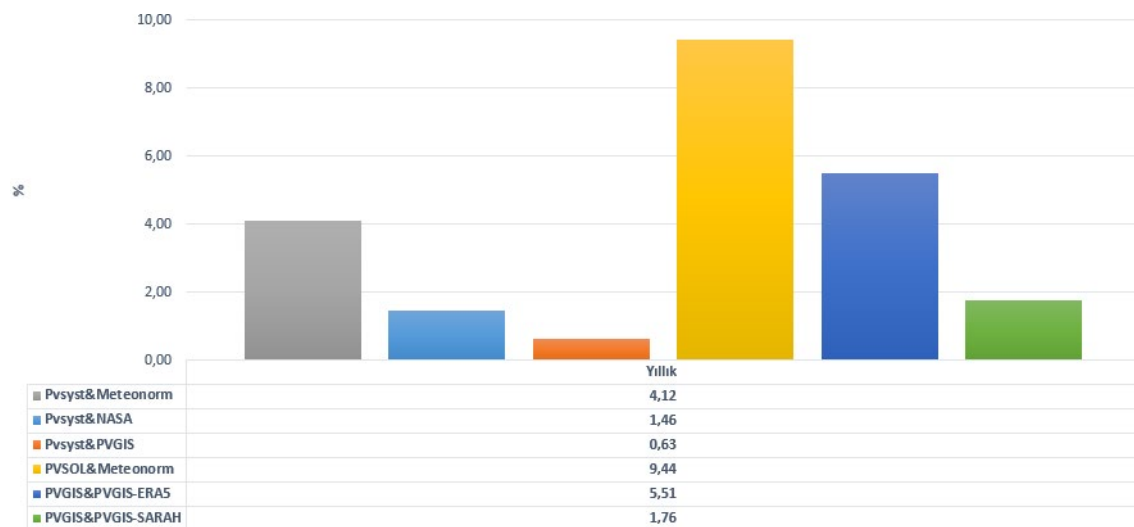
Simülasyon Programı Adı	PVSYST			PVSOL	PVGIS		Gerçekleşen
Veritabanı Adı	Meteonorm	NASA	PVGIS	Meteonorm	PVGIS-ERA5	PVGIS-SARAH	
Ocak	62,6	63,2	50,7	65,6	70,0	49,7	62,0
Şubat	83,1	77,5	71,9	86,7	91,3	65,2	67,9
Mart	117,0	118,0	122,2	123,0	130,6	109,0	104,9
Nisan	141,3	136,2	149,6	149,1	154,9	135,9	130,1
Mayıs	177,5	160,3	152,5	187,4	176,6	161,1	183,1
Haziran	189,8	181,5	189,2	200,6	182,1	181,8	180,0
Temmuz	195,7	190,7	186,3	208,0	190,6	197,0	192,6
Ağustos	183,5	169,7	187,7	193,6	177,6	181,2	173,1
Eylül	151,2	134,6	144,1	156,6	141,3	141,0	138,4
Ekim	106,4	101,6	111,4	110,3	107,0	102,7	118,6
Kasım	69,6	66,7	67,9	72,7	74,0	71,1	67,7
Aralık	58,1	53,5	50,9	61,0	60,3	53,5	56,7
Yıllık	1535,9	1453,6	1484,5	1614,4	1556,4	1449,2	1475,2

Oylum Güneş Enerji santrali için yapılan simülasyon çalışmalarında aylara göre üretilebilecek enerji miktarı tahminlerinde meydana gelen hata miktarları Şekil 5.5’de yer almaktadır. Simülasyon programlarının aylara göre tahmin hataları aylara göre değişkenlik göstermektedir.



Şekil 5.5. Aylara göre enerji üretimi tahminlerinde meydana gelen hatalar

Yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda elde edilebilecek toplam yıllık enerji miktarı ile gerçekleşen toplam yıllık enerji miktarı kıyaslanması sonucunda en başarılı sonuçlar Pvsyst yazılımında PVGIS ve NASA veritabanı kullanılarak gerçekleştirilen simülasyonlarda elde edilmiştir. Şekil 5.6'da yer aldığı üzere gerçek değere en yakın sonuç %0,63 hata payıyla Pvsyst yazılımında PVGIS veritabanı kullanılarak gerçekleştirilen simülasyon programında elde edilmiştir. Pvsyst yazılımı, Pvsol yazılımına göre aynı veri tabanında daha doğru bir tahmin sonucu ortaya çıkarmıştır.



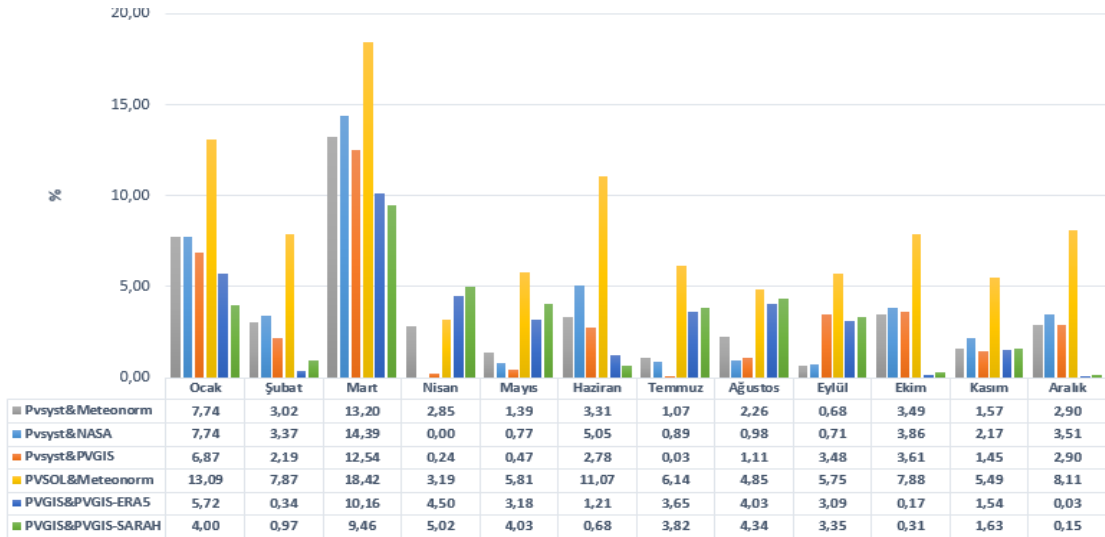
Şekil 5.6. Yıllık enerji üretim tahminlerinde meydana gelen hatalar

Tesisin gerçek performans oranı değerleri ile simülasyonlarda elde edilen performans oranları Çizelge 5.4’de yer almaktadır.

Çizelge 5.4. Oylum güneş enerji santrali simülasyon sonuçları ve gerçekleşen performans oranı değerleri

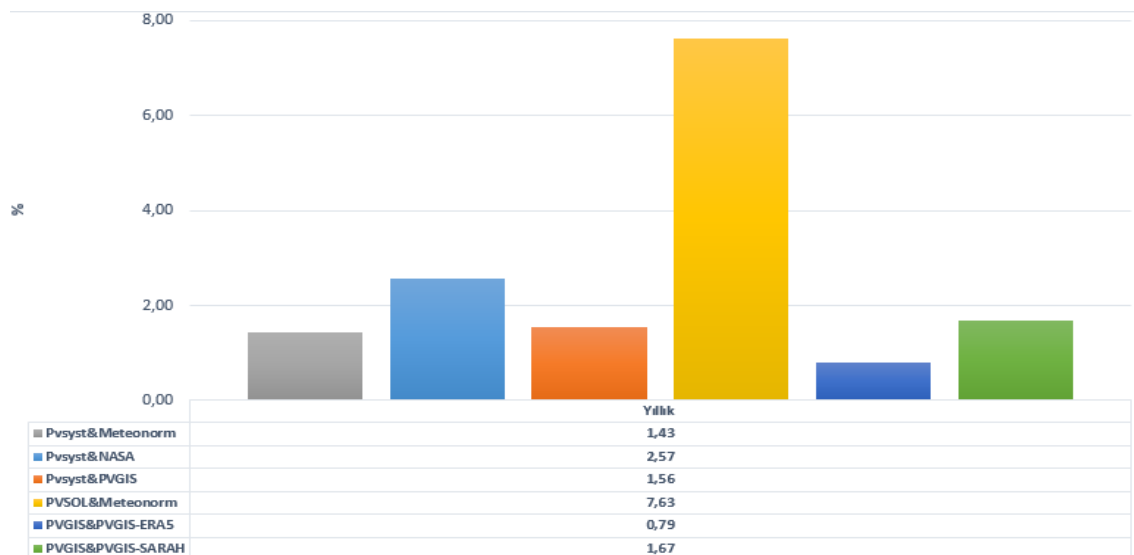
Simülasyon Programı Adı	PVSYST			PVSOL	PVGIS		Gerçekleşen
Veritabanı Adı	Meteonorm	NASA	PVGIS	Meteonorm	PVGIS-ERA5	PVGIS-SARAH	
Ocak	0,866	0,866	0,859	0,909	0,8497	0,8359	0,8038
Şubat	0,87	0,873	0,863	0,911	0,8474	0,8363	0,8445
Mart	0,855	0,864	0,85	0,8944	0,8320	0,8267	0,7553
Nisan	0,818	0,842	0,84	0,8689	0,8041	0,7997	0,8420
Mayıs	0,795	0,8	0,81	0,853	0,7805	0,7737	0,8062
Haziran	0,773	0,786	0,769	0,831	0,7573	0,7533	0,7482
Temmuz	0,76	0,775	0,768	0,8154	0,7402	0,7389	0,7682
Ağustos	0,76	0,77	0,769	0,8153	0,7463	0,7438	0,7776
Eylül	0,799	0,788	0,766	0,8392	0,7691	0,7670	0,7936
Ekim	0,825	0,828	0,826	0,86	0,7958	0,7948	0,7972
Kasım	0,843	0,848	0,842	0,8756	0,8172	0,8164	0,8300
Aralık	0,848	0,853	0,848	0,8909	0,8239	0,8253	0,8241
Yıllık	0,802	0,811	0,803	0,851	0,7845	0,7775	0,7907

Şekil 5.7’de tesisin final verimle referans verimi oranı olan performans oranının (%) simülasyonlar da bulunan performans oranları ile gerçekleşen performans değerleri arasındaki fark görülmektedir.



Şekil 5.7. Aylara göre performans oranı tahminlerinde meydana gelen hatalar

Yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda santralin yıllık sistem performans oranı ile gerçekleşen sistem performans oranı kıyaslanması sonucunda en başarılı sonuç %0,79 hata payıyla PVGIS ERA5 veritabanı kullanılarak PVGIS yazılımında gerçekleştirilen simülasyonda elde edilmiştir. Aynı veritabanının kullanıldığı Pvsol ve Pvsyst yazılımı sonuçlarına bakıldığında Pvsyst yazılımı gerçekleşen değere daha yakın bir tahmin sonucu ortaya çıkarmıştır.



Şekil 5.8. Yıllık sistem performans oranı tahminlerinde meydana gelen hatalar

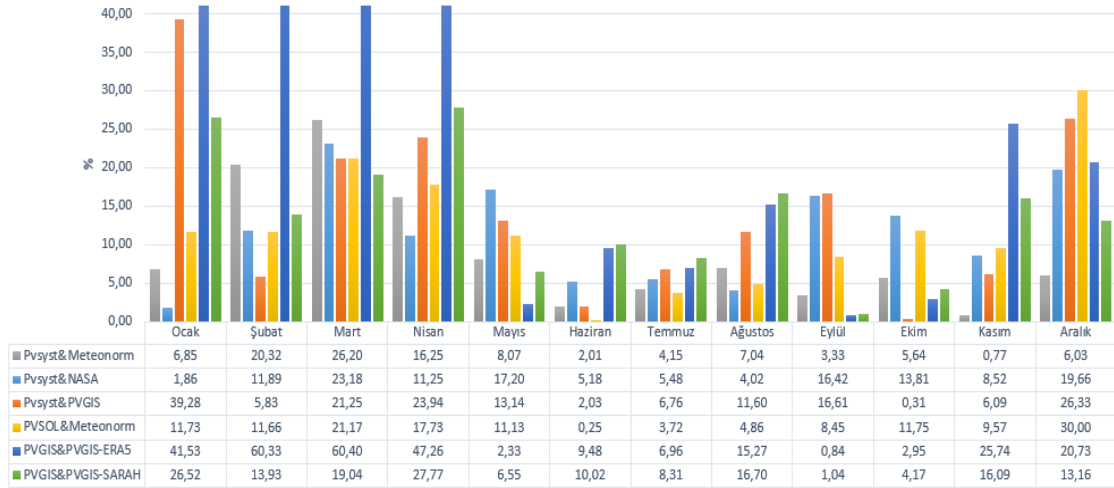
5.1.2. Alamettin-1 güneş enerji santrali sonuçların kıyaslanması

Alamettin-1 Güneş Enerji Santrali için yapılan altı adet simülasyon sonucunda elde edilen aylık ve yıllık enerji üretim değerleri ve santralin Haziran 2021-Mayıs 2022 tarihleri arasında gerçekleşen üretim değerleri MWh olarak Çizelge 5.5’de yer almaktadır.

Çizelge 5.5. Alamettin-1 güneş enerji santrali simülasyon sonuçları ve gerçekleşen üretim değerleri

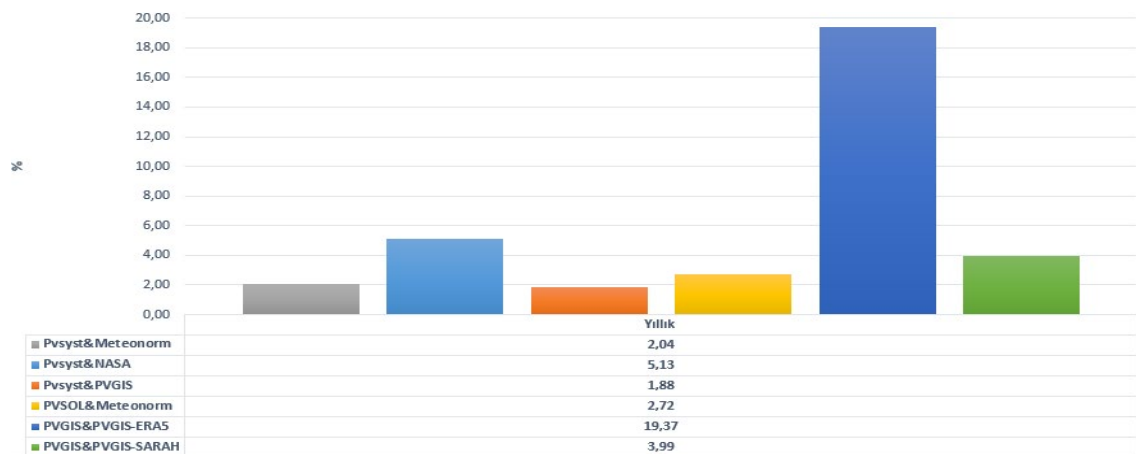
Simülasyon Programı Adı	PVSYST			PVSOL	PVGIS		Gerçekleşen
Veritabanı Adı	Meteonorm	NASA	PVGIS	Meteonorm	PVGIS-ERA5	PVGIS-SARAH	
Ocak	89,9	98,3	58,6	85,2	136,6	70,9	96,5
Şubat	117,1	108,9	103,0	108,7	156,0	83,8	97,3
Mart	150,2	146,6	144,3	144,2	190,9	141,7	119,0
Nisan	160,2	153,3	170,8	162,2	202,9	176,1	137,8
Mayıs	190,4	171,5	179,9	184,1	212,0	193,5	207,1
Haziran	197,1	183,2	189,3	192,7	211,5	212,6	193,2
Temmuz	202,0	199,2	225,0	202,9	225,4	228,3	210,8
Ağustos	211,1	189,3	220,1	206,8	227,3	230,2	197,2
Eylül	195,8	169,3	168,9	185,4	200,9	200,5	202,5
Ekim	157,1	143,5	167,0	146,9	171,4	159,5	166,5
Kasım	111,7	101,4	104,1	100,2	139,4	128,7	110,8
Aralık	95,8	81,9	75,1	71,4	123,1	88,5	101,9
Yıllık	1878,3	1746,4	1806,1	1790,8	2197,4	1914,2	1840,8

Alamettin-1 Güneş Enerji santrali için yapılan simülasyon çalışmalarında aylara göre üretilebilecek enerji miktarı tahminlerinde meydana gelen hata miktarları Şekil 5.9’da gösterilmiştir. Simülasyon programlarının aylara göre tahmin hataları aylara göre değişiklik göstermektedir.



Şekil 5.9. Aylara göre enerji üretimi tahminlerinde meydana gelen hatalar

Yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda elde edilebilecek toplam yıllık enerji miktarı ile gerçekleşen toplam yıllık enerji miktarı kıyaslanması sonucunda en başarılı sonuçlar Pvsyst yazılımında Meteonorm ve PVGIS veritabanı kullanılarak gerçekleştirilen ve Pvsol yazılımında gerçekleştirilen simülasyonlarda elde edilmiştir. Şekil 5.10'da yer aldığı üzere gerçek değere en yakın sonuç %1,88 hata payıyla Pvsyst yazılımında PVGIS veritabanı kullanılarak gerçekleştirilen simülasyon programında elde edilmiştir. Pvsyst yazılımı, Pvsol yazılımına göre aynı veri tabanında daha doğru bir tahmin sonucu ortaya çıkarmıştır.



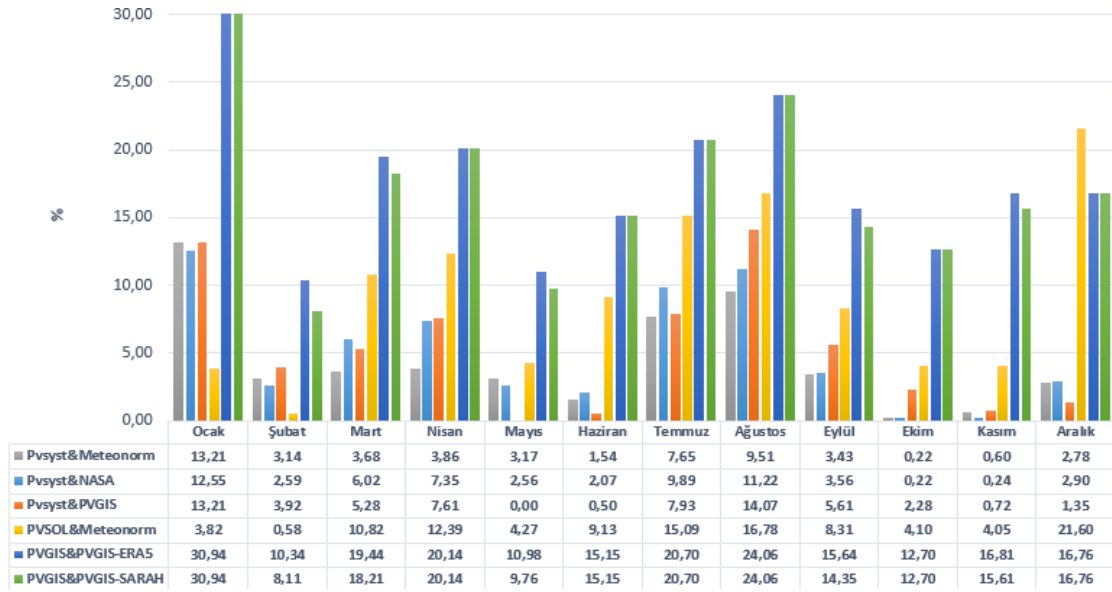
Şekil 5.10. Yıllık enerji üretim tahminlerinde meydana gelen hatalar

Tesisin gerçek performans oranı değerleri ile simülasyonlar da elde edilen performans oranları Çizelge 5.6’da yer almaktadır.

Çizelge 5.6. Alametlin-1 güneş enerji santrali simülasyon sonuçları ve gerçekleşen performans oranı değerleri

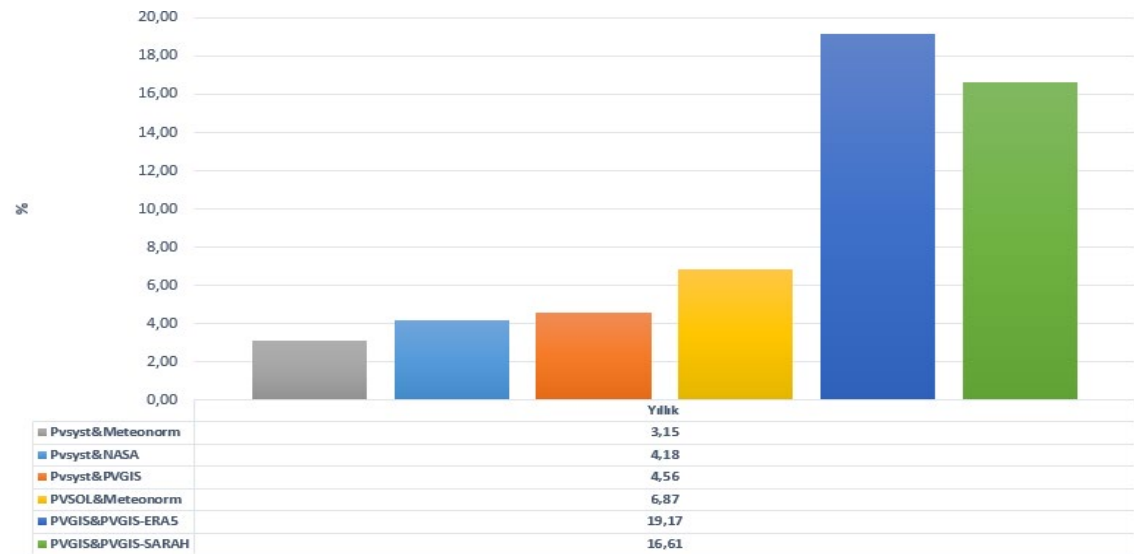
Simülasyon Programı Adı	PVSYST			PVSOL	PVGIS		Gerçekleşen
Veritabanı Adı	Meteonorm	NASA	PVGIS	Meteonorm	PVGIS-ERA5	PVGIS-SARAH	
Ocak	0,856	0,851	0,856	0,785	0,99	0,99	0,756
Şubat	0,869	0,874	0,862	0,892	0,99	0,97	0,897
Mart	0,842	0,861	0,855	0,900	0,97	0,96	0,812
Nisan	0,804	0,831	0,833	0,870	0,93	0,93	0,774
Mayıs	0,794	0,799	0,820	0,855	0,91	0,9	0,820
Haziran	0,776	0,780	0,768	0,834	0,88	0,88	0,764
Temmuz	0,767	0,783	0,769	0,820	0,86	0,86	0,713
Ağustos	0,768	0,780	0,800	0,819	0,87	0,87	0,701
Eylül	0,805	0,806	0,822	0,843	0,9	0,89	0,778
Ekim	0,827	0,827	0,844	0,859	0,93	0,93	0,825
Kasım	0,834	0,837	0,845	0,805	0,98	0,97	0,839
Aralık	0,816	0,815	0,828	0,658	0,98	0,98	0,839
Yıllık	0,805	0,813	0,816	0,834	0,93	0,91	0,780

Şekil 5.11’de tesisin final verimle referans verimi oranı olan performans oranının (%) simülasyonlar da bulunan performans oranları ile gerçekleşen performans değerleri arasındaki fark görülmektedir.



Şekil 5.11. Aylara göre performans oranı tahminlerin de meydana gelen hatalar

Yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda santralin yıllık sistem performans oranı ile gerçekleşen sistem performans oranı kıyaslanması sonucunda en başarılı sonuçlar Pvsyst yazılımında Meteonorm ve NASA veritabanı kullanılarak gerçekleştirilen simülasyonlarda elde edilmiştir. Şekil 5.12’de yer aldığı üzere gerçek değere en yakın sonuç %3,15 hata payıyla Pvsyst yazılımında Meteonorm veritabanının kullanıldığı simülasyon programında elde edilmiştir.



Şekil 5.12. Yıllık sistem performans oranı tahminlerinde meydana gelen hatalar

Yıldan yıla ve yıl içerisinde ayların ışınlım, yağış vb. durumları değişkenlik gösterdiğinden dolayı üretilen enerji yerine, sistem performans oranına göre simülasyon programlarının değerlendirmesi daha doğrudur. Her santral için yapılan altı farklı simülasyon raporlarından elde edilen performans oranları ve gerçekleşen performans oranı değerleri arasındaki hata payları Şekil 5.13’de yer almaktadır. Gerçek değerlere en yakın sonuçlar ortalama %3,83 hata payı ile Pvsyst yazılımında Meteororm veritabanı kullanılarak yapılan simülasyon çalışmalarında elde edilmiştir.



Şekil 5.13. Simülasyon programlarının karşılaştırılması

5.2. Öneriler

Yapılan tüm simülasyonlar ve simülasyonların sonuçlarının gerçek verilerle karşılaştırılması sonucunda aşağıdaki değerlendirmeler ve öneriler yapılabilir.

- Her üç simülasyon programının da başarılı tahminler yapabilmektedir. Gerçek değere en yakın sonuçlar Pvsyst yazılımında Meteororm veritabanı kullanılarak yapılan simülasyon çalışmalarında elde edildiğinden dolayı fizibilite çalışmalarında bu program ve veritabanı kullanılması daha uygun olacaktır.
- Simülasyon programlarında tahmin başarısını etkileyen en önemli faktör kullanılan meteorolojik veri tabanıdır. Bu nedenle santral sahanın koordinatları doğru belirlenerek o alana en yakın meteorolojik veri tabanı verileri kullanılmalıdır.

- Simülasyonlar sahada meydana gelen arızaların tespiti veya mühendislik hatalarının tespiti amacıyla kullanılabilir.
- Simülasyon programları santral tasarımı esnasında panellerin optimum eğim açısının belirlenmesinde, en uygun string dizaynlarının yapılmasında, panel yerleşimindeki gölge etkilerinin minimuma indirgenme amaçlı kullanılarak tesisin maksimum enerji üretiminin sağlanması açısından önemlidir.



KAYNAKLAR

- Abbasoğlu, S., & Babatunde, A. A. (2015). Evaluation of Field Data and Simulation Results of a Photovoltaic System in Countries with High Solar Radiation. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 23(6), 1608-1618.
- Ahmad, G., Hussein, H., & El-Ghetany, H. J. R. E. (2003). Theoretical Analysis and Experimental Verification of Pv Modules. 28(8), 1159-1168.
- Albudak, M. (2018). *Economic Analysis and Efficiency Evaluation of Pv Systems in Different Cities of Turkey*. Bahçeşehir University,
- Axaopoulos, P. J., Fylladitakis, E. D., Gkarakis, K., & Engineering, E. (2014). Accuracy Analysis of Software for the Estimation and Planning of Photovoltaic Installations. 5(1).
- Becker, G., Schiebelserger, B., Weber, W., Schumacher, J., Zehner, M., Wortuba, G., & Vodermaier, C. Y. V. (2008). Energy Yields of PV Systems-Comparison of Simulation and Reality.
- Boughamrane, L., Boulaid, M., Tihane, A., Sdaq, A., & Bouabid, K. (2016). Comparative Analysis of Measured and Simulated Performance of the Moroccan First MV Grid Connected Photovoltaic Power Plant of Assa. 7(12), 4682-4691.
- Ceylan, O. (2017). *Fotovoltaik Programlarının Simülasyon Sonuçlarının Doğruluğunun İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi,
- Ceylan, Y. (2016). *Türkiye'nin Güneşlenme Potansiyelinin Analizi VE Güneş Enerjisinin Enerji Politikasındaki Yeri*. (Yüksek Lisans), Bahçeşehir Üniversitesi,
- Chow, T. T., Chan, A. L. S., Fong, K. F., Lin, Z., & Ji, J. (2008). Computer Modeling and Experimental Validation of a Building-Integrated Photovoltaic and Water Heating System. 28(11-12), 1356-1364. doi:10.1016/j.applthermaleng.2007.10.007
- Clavadetscher, L., & Nordmann, T. J. S. (1993). Prediction and Effective Yield of a 100 KW Grid-Connected Pv-Installation. 51(2), 101-107.
- Colak, M., & Cubukcu, M. (2013). Simulation and Comparative Practical Performance Analysis of a Stand-Alone PV Power System in Gökçeada. 19(5), 201-208. doi:10.5505/pajes.2013.08108
- Cura, D. (2015). *Evaluation of the Technical and Economic Aspects of Solar Photovoltaic Plants Which Were Built Under Different Climate Conditions and Feed-In Tariff Zones*. (Yüksek Lisans Tezi), Marmara University, Institute for Graduate Studies in Pure and Applied Sciences,.
- Çayır, G. (2022). *Fotovoltaik Güneş Enerji Sistemlerinin Uygulama Alanları Verimliliği ve Maliyet Analizi*. (Yüksek Lisans Tezi), Adıyaman Üniversitesi,
- Çetin, M. (2010). *Turkey's Solar Energy Market Study and Potential Economic Benefits*. (Yüksek Lisans Tezi), Yeditepe University,
- Çıtanak, N. (2014). *Güneş Enerji Kaynağından Elektrik Enerjisi Üretimi*. (Yüksek Lisans), Fırat Üniversitesi,
- Çubukçu, M. (2011). *Türkiye'nin Farklı Konumlarında Farklı Topolojilerde Fotovoltaik-Rüzgâr-Yakıt Pili Hibrid Güç Sistemlerinin Modellenmesi, Karşılaştırmalı Simülasyonu ve Uygulamalı Performans Analizi*. (Doktora Tezi),
- Deniz, E. (2013). Güneş Enerjisi Santrallerinde Kayıplar.

- Detrick, A., Kimber, A., & Mitchell, L. (2005). *Performance Evaluation Standards for Photovoltaic Modules and Systems*. Paper presented at the Paper presented at the Conference Record of the Thirty-first IEEE Photovoltaic Specialists Conference.
- Durusu, A. (2011). *Fotovoltaik Güneş Enerji Sistemlerinde Kullanılan Maksimum Güç Noktası Takip Ediciler için Farklı Algoritmaların Karşılaştırılması*. (Yüksek Lisans), Yıldız Teknik Üniversitesi,
- Eicker, U., Pietruschka, D., Schumacher, J., Fernandes, J., & Bollin, E. (2005). *Improving the Energy Yield of Pv Power Plants Through Internet Based Simulation, Monitoring and Visualisation*. Paper presented at the Paper presented at the 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Barcelona.
- Eke, R. (2000). *Fotovoltaik (PV) Güç Sistemlerinde Performansın Modellenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi
- ETKB. (2022). Yenilenebilir Enerji. Retrieved from <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes>
- Freeman, J., Whitmore, J., Kaffine, L., Blair, N., & Dobos, A. P. (2013). System Advisor Model: Flat Plate Photovoltaic Performance Modeling Validation Report.
- Fu-Sheng, P., Ru-Min, C., Hong, K. S., & Tai-Sheng, L. (2011). Performance Evaluation of Parabolic Prediction to Maximum Power Point Tracking for PV Array. *IEEE Transactions On Sustainable Energy*, 2.1, 60-68.
- GEPA. (2022). Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası. Retrieved from <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/>
- González-Peña, D., Díez-Mediavilla, M., Simón-Martín, M., Rodríguez-Amigo, M., García-Calderón, T., & Alonso-Tristán, C. (2012). *Photovoltaic Prediction Software and Their Evaluation with Real Data in Spain*. Paper presented at the Paper presented at the 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Germany.
- Gültuna, K. M. (2015). *Gürsu-Bursa Fotovoltaik Güç Santralinin Simülasyonu; Teknoekonomik ve Çevresel Optimizasyon*. Başkent Üniversitesi,
- Güneş, C. (2021). *Fotovoltaik Güneş Enerji Santrallerinin Tasarımı, Bakımı, Onarımı ve İşletilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Adıyaman Üniversitesi,
- Gürses, Y. Ç. (2021). *Güneş Enerji Santrallerinde Kullanılan Depolama Sistemlerinin İncelenmesi ve Verim Arttırma Yöntemleri*. (Yüksek Lisans Tezi), Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi,
- Hasimah, A., Khalid, M., & Mohammad, Y. H. (2009). *Assessment of PV Cell Performance Under Actual Malaysia Operating Condition*. Paper presented at the Paper presented at the 2009 Australasian Universities Power Engineering Conference.
- Haydaroglu, C. (2017). *Dicle Üniversitesi Güneş Enerjisi Santralinin Performans Analizi*. (Yüksek Lisans Tezi), Dicle Üniversitesi
- Haydaroglu, C., & Gümüş, B. (2016). Dicle Üniversitesi Güneş Enerjisi Santralinin PVsyst ile Simülasyonu ve Performans Parametrelerinin Değerlendirilmesi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 7(3), 491-500.
- Hove, T. J. R. E. (2000). A Method for Predicting Long-Term Average Performance of Photovoltaic Systems. *21(2)*, 207-229.
- Huld, T., Müller, R., & Gambardella, A. (2012). A New Solar Radiation Database for Estimating PV Performance in Europe and Africa. *86(6)*, 1803-1815. doi:10.1016/j.solener.2012.03.006
- IRENA. (2022). İstatiksel Veriler.

- İşler, Y. S. (2020). *Şebeke Bağlantılı, Depolamalı Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemleri için Performans Analizi ve Verim Artırılması*. (Doktora Tezi), Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi,
- Jahn, U., & Nasse, W. (2004). Operational Performance of Grid-Connected Pv Systems on Buildings in Germany. *12(6)*, 441-448. doi:10.1002/pip.550
- Kalogirou, S. (2009). *Solar Energy Engineering Processes and Systems*. Elsevier.
- Kanters, J. (2011). *Adequacy of Current Design Tools and Methods for Solar Architecture— Results of IEA-SHC Task 41's International Survey*. Paper presented at the Paper presented at the Proceedings of PLEA conference.
- Kanyarusoke, K., Gryzagoridis, J., & Oliver, G. (2016). Validation of TRNSYS Modelling for a Fixed Slope Photovoltaic Panel. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, *24*, 4763-4772. doi:10.3906/elk-1502-38
- Karamanav, M. (2007). *Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri*. (Yüksek Lisans Tezi), Sakarya Üniversitesi
- Keskin, A. (2019). *Niğde İli Güneş Enerji Santrali Modellenmesi ve Performans Parametreleri Değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi,
- Keskin, A., Martin, K., & Boran, K. (2019). *Niğde İli Güneş Enerji Santrali Modellemesi ve Performans Parametreleri Değerlendirmesi*. Paper presented at the SETSCI Conference Proceedings, Ankara.
- Keskin, E. (2012). *Türkiye İklim Koşullarında Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Tasarımı ve Maliyet Analizi*. (Yüksek Lisans Tezi), Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Keskinel, S. (2015). *Enerji Verimliliği Kapsamında Binalarda Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Uygulamalı Analizi*. İstanbul Teknik Üniversitesi,
- Kınalı, M. (2019). *Güneş Enerjisi Simülasyon Programlarının Gerçek Verilerle Doğruluk Analizi* (Yüksek Lisans Tezi), Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- 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.
- Kılıcı, O. (2020). *Değişken Özellikli Fotovoltaik Güneş Enerji Santrallerinin Mevcut Verilerle PVsyst Programında Üretim ve Performans Analizi*. (Yüksek Lisans Tezi), Selçuk Üniversitesi,
- Knutsson, L. G. (2016). Solar Power on the Top of the World: Possibilities to Provide the School in Thade, in Nepal, with Electricity from a Solar Cell System.
- Küçükgoze, O. M. (2016). *Erzincan İlinde Güneş Enerjili Elektrik Üretim Sisteminin Ekonomik Analizi*. (Yüksek Lisans), Erzincan Üniversitesi,
- Labad, S., & Lorenzo, E. (2004). The Impact of Solar Radiation Variability and Data Discrepancies on the Design of Pv Systems. *29(7)*, 1007-1022. doi:10.1016/j.renene.2003.12.009
- Mahachi, T. (2016). Energy Yield Analysis and Evaluation of Solar Irradiance Models for a Utility Scale Solar PV Plant in South Africa.
- Marion, B., Adelstein, J., Boyle, K., Hayden, H., Hammond, B., Fletcher, T., & Mitchell, L. (2005). *Performance Parameters for Grid-Connected Pv Systems. Paper Presented at the Conference Record of the Thirty-first Ieee Photovoltaic Specialists Conference*.
- Mondol, J. D., Yohanis, Y. G., & Norton, B. (2005). Long-term Validated Simulation of a Building Integrated Photovoltaic System. *78(2)*, 163-176. doi:10.1016/j.solener.2004.04.021

- Mondol, J. D., Yohanis, Y. G., & Norton, B. (2007). Comparison of Measured and Predicted Long Term Performance Of Grid a Connected Photovoltaic System. *48(4)*, 1065-1080. doi:10.1016/j.enconman.2006.10.021
- Nakir, İ. (2007). *Fotovoltaik Güneş Panellerinde GTS ve MGTS Kullanarak Verimliliğin Arttırılması*. (Yüksek Lisans), Yıldız Teknik Üniversitesi,
- Okumuş, H. (2016). *Fotovoltaik Sistemlerin Elektrik Enerjisi Üretim Modeli*. (Yüksek Lisans Tezi), Karadeniz Teknik Üniversitesi,
- Olukan, T. A. (2014). A Comparative Analysis of PV Module Temperature Models. *Energy Procedia*, *62*, 694-703
doi:10.1016/j.egypro.2014.12.433
- Palmero-Marrero, A., Matos, J. C., & Oliveira, A. C. (2015). Comparison of Software Prediction and Measured Performance of a Grid-Connected Photovoltaic Power Plant *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, *7(6)*. doi:10.1063/1.4935376
- Perez, R., Stewart, R., Seal, R., & Guertin, T. (1988). The Development and Verification of the Perez Diffuse Radiation Model.
- Petrović, I., Šimić, Z., & Vražić, M. (2013). Comparison of PV Plant Energy Generation Prediction Tools with Measured Data. *89(6)*.
- Pietruszko, S. M., & Gradzki, M. (2003). Performance of a Grid Connected Small Pv System in Poland. *74(1-2)*, 177-184. doi:0.1016/s0306- 2619(02)00144-7
- Quesada, B., Sánchez, C., Cañada, J., Royo, R., & Payá, J. (2011). Experimental Results and Simulation with TRNSYS of a 7.2kWp Grid-Connected Photovoltaic System. *88(5)*, 1772-1783. doi:10.1016/j.apenergy.2010.12.011
- Ransome, S. (2009). *Understanding kWh/kWp by Comparing Measured Data with Modelling Predictions and Performance Claims*. Paper presented at the Paper presented at the 2009 34th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC).
- Ransome, S., & Funtan, P. (2005). *Why Hourly Averaged Measurement Data is Insufficient to Model Pv System Performance Accurately*. Paper presented at the Paper presented at the 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Barcelona.
- Roberts, J. J., Cassula, A. M., Junior, J. C. F., & Prado, P. O. (2015). *Simulation and Validation of Photovoltaic System Performance Models*. Paper presented at the Paper presented at the Book of Abstracts and Proceedings of 11th Latin-American Congress on Electricity Generation and Transmission.
- Sağlam, E. (2018). *Fotovoltaik Sistemlerin Kurulum Aşamaları ve İşletimdeki Santrallerin Gerçekleşen Üretim Değerlerinin Simulasyon Sonuçları ile Karşılaştırılması*.
- Salas, V., Oli'as, E., Barrado, A., & zaro, A. L. (2006). Review of the Maximum Power Point Tracking Algorithms for Stand-Alone Photovoltaic Systems. *Solar Energy Mater*, *90*, 1555.
- Sarıyıldız, R. (2021). *Cizre Bölgesinde 1 Mw'lık Güneş Enerjisi Santralinin Enerji Üretim Değerlendirmesi Ve Taşıyıcı Konstrüksiyon Yük Analizi* (Yüksek Lisans Tezi), Harran Üniversitesi,
- Shahrestani, M., Yao, R., Essah, E., Shao, L., Oliveira, A. C., & Hepbasli, A. (2017). Experimental and Numerical Studies to Assess the Energy Performance of Naturally Ventilated PV Façade Systems. *Solar Energy* *147*, 37-51. doi:10.1016/j.solener.2017.02.034
- Sharma, V., & Chandel, S. S. (2013). Performance Analysis of a 190 kWp Grid Interactive Solar Photovoltaic Power Plant in India. *476-485*. doi:10.1016/j.energy.2013.03.075

- Sidrach-de-Cardona, M., & Lopez, L. M. J. E. (1999). Performance Analysis of a Gridconnected Photovoltaic System. *24(2)*, 93-102.
- Siraki, A. G., & Pillay, P. (2010). *Comparison of PV System Design Software Packages for Urban Applications*. Paper presented at the Paper presented at the Word Energy Congress Montreal.
- Sözen, A., Arcaklioğlu, E., & Özalp, M. (2004). Estimation of Solar Potential in Turkey by Artificial Neural Networks Using Meteorological and Geographical Data. *24(2)*, 3033-3052. doi:10.1016/j.enconman.2003.12.020
- Stein, J. S., Cameron, C. P., Bourne, B., Kimber, A., Posbic, J., & Jester, T. (2010). *A Standardized Approach to PV System Performance Model Validation*. Paper presented at the Paper presented at the 2010 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference.
- Suresh, P., & Thomas, J. J. (2014). Performance Analysis of Stand-alone PV Systems Under Non-Uniform Operating Conditions Using PVsyst. *1(4)*, 19-25.
- Suri, M., Huld, T., Dunlop, E., Albuissou, M., Lefèvre, M., & Wald, L. (2007). Uncertainties in Solar Electricity Yield Prediction from Fluctuation of Solar Radiation.
- Sülü, M. (2019). *Fotovoltaik Güç Santrallerinde Enerji Kaybı ve Verimlilik Entegrasyonu*. (Yüksek Lisans Tezi), Kilis 7 Aralık Üniversitesi
- Şençicek, H. (2017). Yüzer ve Arazi Kurulumu Fotovoltaik Sistemlerin Teknik ve Ekonomik Açısından İncelenmesi.
- Şimsek, S. (2018). *Fotovoltaik Sistemlerde Verimliliği Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi*
- Tanış, Z. (2019). *Elazığ İlinde Yer Alan Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralinin Performans Analizi*. (Yüksek Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Tapia, M. (2014). Evaluation of Performance Models Against Actual Performance of Grid Connected PV Systems.
- TEİAŞ. (2022). Aylık Kurulu Güç Raporları. Retrieved from <https://www.teias.gov.tr/>
- Tekkale, G. (2018). Türkiye'nin Çeşitli İllerinde Yapılacak Arazi Tipi Lisanssız Güneş Enerjisi Santrali Yatırımlarının Teknik ve Finansal Analizi.
- Tozkoparan, C. (2021). *Çatı Tipi Güneş Enerjisi Santrallerinde Optimizer Kullanımının Üretim Verimliliği, Güvenlik ve Maliyet Bakımından Değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi),
- Umar, N., Bora, B., Banerjee, C., & Panwar, B. (2018). Comparison of Different PV Power Simulation Softwares: Case Study on Performance Analysis of 1 MW Grid-Connected PV solar Power Plant. *Int J Eng Sci Invent*, 7, 11-24.
- Wittner, B., & Mermoud, A. (2014). A Tool to Optimize the Layout of Ground-Based PV Installations Taking into Account the Economic Boundary Conditions. *Proc. 29th European Photovoltaic Solar Energy Conf. and Exhibition*.
- Yılmaz, S., Ozcalık, H. R., & Dinçer, F. (2015). Assessment and Analysis on Numerical and Experimental Performance of the Photovoltaic Systems for Germany and Turkey. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*. 7(5). doi:10.1063/1.4933063
- Zaninelli, D., & Leva, S. (2009). Hybrid Renewable Energy-Fuell Cell System: Design and Performance Evaluation. *Electric Power System Researce*, 79, 316.