



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



GÜNEŞ ENERJİSİ SİMÜLASYON
PROGRAMLARININ GERÇEK VERİLERLE
DOĞRULUK ANALİZİ

Mücahit Yasir KINALI

YÜKSEK LİSANS

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
PROGRAMI

Temmuz-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Mücahit Yasir KINALI tarafından hazırlanan "GÜNEŞ ENERJİSİ SİMÜLASYON PROGRAMLARININ GERÇEK VERİLERLE DOĞRULUK ANALİZİ" adlı tez çalışması 08/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan
Prof. Dr. Mehmet ÇUNKAŞ

Danışman
Doç. Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ

Üye
Dr. Öğr. Üyesi Faruk KÖSE

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK
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.



Mücahit Yasir KINALI

Tarih: 08.08.2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

GÜNEŞ ENERJİSİ SİMÜLASYON PROGRAMLARININ GERÇEK VERİLERLE DOĞRULUK ANALİZİ

Mücahit Yasir KINALI

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ

2019, 200 Sayfa

Jüri

**Prof. Dr. Mehmet ÇUNKAŞ
Doç. Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ
Dr. Öğr. Üyesi Faruk KÖSE**

Ülkemiz, güneş enerjisi potansiyeli bakımından Avrupa ülkelerinden avantajlı olmasına rağmen bu potansiyelin değerlendirilmesi bakımından avantajını istenen ölçüde koruyamamıştır. İlk olarak 2011 yılında 600 MW Güneş Enerjisi Lisans yarışmasının yapılacağı duyurulmuştur. Bu yarışma 2015 yılında sonuçlanmıştır. İkinci olarak 1 MW altı kurulu güçlerde lisanssız elektrik üretimine ilişkin yönetmelik 2013 yılında yayınlanmıştır. Bu tarihten sonra güneş enerjisinin elektrik üretiminde kullanımı ivme kazanmıştır.

Enerji Bakanlığı tarafından yayınlanan strateji belgelerinde ise 2023 yılı için yenilenebilir enerji kullanım oranının %30'lara yükseltilmesi hedeflenmiş, 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 simülasyon programları ile tahmini yıllık enerji üretimlerini, sistemdeki kayıplarını ve nakit akışlarını görmek istemektedir. Çalışma yatırımcıların yatırımları öncesi yaptığı simülasyonların Konya ve Karaman illeri için doğruluğunu üç farklı tesis için yapılan toplamda yirmi yedi simülasyon ile kontrol etme amacını taşımaktadır.

Bu çalışmada, Konya ve Karaman illerinde Mevlana Kalkınma Ajansı tarafından desteklenen Güneş Enerjisi Üretim Tesislerinin gerçek tasarım modelleri ve üretim verileri, piyasada kullanılan simülasyon programları ile karşılaştırılarak yazılımların bölgemizde ve ülkemizdeki performansı değerlendirilmiştir. Güneş Enerjisi Santralleri yatırımlarının fizibilite ve proje finansmanı aşamalarında yoğunlukla kullanılan PVSyst, PVSOL ve PVGIS simülasyon programlarının simülasyon değerleri ile Konya ve Karaman illerinde 250 kW ile 1 MW arasında değişen kurulu güçlere sahip arazi tipli 3 Güneş Enerjisi Santralının ölçülen değerleri kıyaslanmıştır. Tesislerin gerçek tasarımları simülasyon programlarında benzetim yapılarak IEC 61724 numaralı Güneş Enerjisi Santrallerinin Performans Analizi hesaplamalarında kullanılan parametreler kapsamında karşılaştırma yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik, Güneş Enerjisi, Güneş Enerjisi Santrali, Kapasite Faktörü, Performans Analizi, PVGIS, PVSOL, PVSyst, Simülasyon

ABSTRACT

MS THESIS

ACCURACY ANALYSIS OF PHOTOVOLTAIC SIMULATION SOFTWARES WITH REAL DATA

Mücahit Yasir KINALI

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Mechanical Engineering**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ

2019, 200 Pages

Jury

Prof. Dr. Mehmet ÇUNKAŞ

Assoc. Prof. Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ

Assist. Prof. Dr. Faruk KÖSE

Although Turkey is advantageous in terms of solar energy potential, it has not been able to maintain its advantage satisfactorily in terms of evaluating this potential. In 2011, it was announced that 600 MW Solar Energy Undergraduate Competition will be held. This competition ended in 2015. The regulation on the generation of unlicensed electricity in installed capacity below 1 MW was published in 2013. After this date, the use of solar energy in electricity generation has gained momentum.

In the strategy documents published by the Ministry of Energy, it is aimed to increase the use of renewable energy to 30% for 2023 and to increase renewable energy investments through various mechanisms. With the increase of energy investments, the feasibility of investments has become more important. Before making their investments, investors want to see estimated annual energy production, loss in system and cash flows through simulation programs. This study aims to control the accuracy of the simulations that investors made before their investments for Konya and Karaman provinces, with a total of twenty seven simulations for three different facilities.

In this study, the actual design models and production data of the Solar Energy Production Facilities supported by Mevlana Development Agency in Konya and Karaman provinces were compared with the simulation programs and the performance of the programs in our region and in our country was evaluated. Simulation values of PVSyst, PVSOL and PVGIS simulation programs which are being used in the feasibility and project financing stages of solar energy power plants investments, were compared with measured values of the land type 3 Solar Power Plants with installed capacities ranging from 250 kW to 1 MW in Konya and Karaman provinces.

Keywords: Capacity Ratio, Performance Analysis, Photovoltaics, PVGIS, PVSOL, PVSyst, Simulation, Solar Energy, Solar Energy Plant

ÖNSÖZ

Bu tezin her aşamasında emeği geçen ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. A. Afşın KULAKSIZ'a teşekkürü bir borç bilirim. Çalışmamda manevi desteğini ve yardımını esirgemeyen eşim Vildan KINALI'ya, tüm öğrenim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen annem Azime KINALI ve babam Mesut KINALI'ya şükranlarımı sunarım. Çalışmamda ayırdığım vakit için fedakârlıklarını esirgemeyen çocuklarım Yakup Emir, Zeynep Zümra ve Azime Beril'e kocaman sevgilerimi sunuyorum.

Mücahit Yasir KINALI
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Dünyada PV Teknolojisi ile Elektrik Üretimi	1
1.2. Ülkemizde Güneş Enerjisi Yatırımları	7
1.3. Konya ve Karaman İllerinde Güneş Enerjisi Yatırımları	12
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	22
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	44
3.1. Materyal.....	44
3.1.1. Simülasyon Programları	44
3.1.2. IEC 61724 Performans Analiz Standardı.....	53
3.2. Yöntem.....	55
3.2.1. Güneş Açıları	56
3.2.2. Teknik Analiz	66
4. SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI	70
4.1. Karşılaştırma Yapılan GES Bilgileri	70
4.1.1. Karaman Belediyesi 1000 kW Güneş Enerjisi Santrali	71
4.1.2. Konya OSB 500 kW Güneş Enerjisi Santrali	81
4.1.3. KOSKİ 250 kW Güneş Enerjisi Santrali	91
4.2. Karşılaştırma Yapılan GES Simülasyonları	101
4.2.1. PVSyst Simülasyonları	101
4.2.2. PVSOL Simülasyonları.....	122

4.2.3. PVGIS Simülasyonları.....	143
5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	160
5.1. Karaman Belediyesi 1000 kW Güneş Enerjisi Santrali	160
5.2. Konya OSB 500 kW Güneş Enerjisi Santrali	169
5.3. KOSKİ 250 kW Güneş Enerjisi Santrali	178
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	187
6.1 Sonuçlar	187
6.2. Öneriler	189
KAYNAKLAR	190
ÖZGEÇMİŞ	199



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Dünyada PV Kurulu Gücü Değişimi.....	1
Şekil 1.2. Kıtaların PV Kurulu Gücündeki Değişim	2
Şekil 1.3. PV Kurulu Gücündeki Artışın 2010 Yılına Göre Endeks Değişimi	2
Şekil 1.4. Ülkelerin Global PV Kurulu Gücündeki Payları.....	3
Şekil 1.5. Dünya 2020 PV Kurulu Güç Tahmini.....	4
Şekil 1.6. Dünya 2022 PV Kurulu Güç Tahmini.....	4
Şekil 1.7. İyimser Senaryoya Göre Bölgelerin PV Kurulu Güç Oranları.....	5
Şekil 1.8. En Fazla PV Kurulu Güce Sahip 20 Ülkede 2018-2022 Yılları Senaryoları ...	6
Şekil 1.9. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Kurulu Gücü Değişimi,.....	8
Şekil 1.10. Ülkemizde Yıllara Göre Kurulu Güç Değişimi.....	10
Şekil 1.11. Ülkemizde Kurulu Gücün Birincil Kaynaklara Göre Dağılımı, MW	10
Şekil 1.12. Konya Güneş Radyasyon Haritası.....	14
Şekil 1.13. Konya İli Güneşlenme Süreleri	14
Şekil 1.14. Karaman Güneş Radyasyon Haritası.....	15
Şekil 1.15. Karaman İli Güneşlenme Süreleri	15
Şekil 1.16. Elektrik Tüketimindeki Yıllık Artış Oranları.....	16
Şekil 1.17. Konya'nın Elektrik Tüketimindeki Kullanım Yerleri.....	16
Şekil 1.18. Karaman'ın Elektrik Tüketimindeki Kullanım Yerleri.....	17
Şekil 1.19. Elektrik Tüketimindeki Kullanım Yerlerinin Karşılaştırılması.....	17
Şekil 1.20. Kişi Başına Toplam Elektrik Tüketimi	18
Şekil 1.21. Konya ve Karaman İllerinde Lisanslı GES Başvuruları	18
Şekil 1.22. Lisanssız GES'lerde Konya ve Karaman İllerinin Durumu	21
Şekil 1.23. GES'lerde Üretilen Enerjinin Aylık Dağılımı	21
Şekil 3.1. PV*SOL Simülasyon Programı Ekran Görüntüsü	50
Şekil 3.2. PVSyst Simülasyon Programı Ekran Görüntüsü.....	51
Şekil 3.3. PVGIS Simülasyon Programı Ekran Görüntüsü	52
Şekil 3.4. Dünyanın Güneş Etrafındaki Hareketleri	57
Şekil 3.5. Yeryüzündeki P Noktasının Enlem ve Boylam Bilgileri $L=Enlem$, $\phi =$ Boylam.....	58
Şekil 3.6. Dünyanın Yaz ve Kış Gündönümleri	58
Şekil 3.7. Dünyanın İlkbahar ve Sonbahar Ekinoksları.....	59
Şekil 3.8. Gök küresi Görünümü (Sapma Açısı, Gündönümlerinde maksimum, Ekinokslarda sıfırdır.)	60
Şekil 3.9. P Noktası İçin Sapma Açısı (δ), Enlem (ϕ) ve Saat Açısı (ω)	61
Şekil 3.10. Güneşin P Noktasındaki Zenit Açısı (θ_z), Yükseklik Açısı (α) ve Azimut Açısı (Az).....	62
Şekil 3.11. Yıl Boyunca Sapma Açısındaki Değişim.....	63
Şekil 3.12. Ekvator'a Dönük Olmayan Eğimli Bir Yüzey	65
Şekil 3.13. Eğimli Yüzeylerde Solar Radyasyon Çeşitleri	66
Şekil 4.1. Karaman Belediyesi 1000 kW Güneş Enerji Santrali Uydu Görüntüsü	71
Şekil 4.2. Karaman Belediyesi 1000 kW GES Vaziyet Planı	71
Şekil 4.3. Karaman Belediyesi 1000 kW Güneş Enerjisi Santrali Vaziyet Planı-2.....	72
Şekil 4.4. Karaman Belediyesi 1000 kW Güneş Enerjisi Santrali Görünümü	73
Şekil 4.5. Karaman Belediyesi 1000 kW GES Tek Hat Şeması.....	74
Şekil 4.6. Konya OSB Müdürlüğü 500 kW Güneş Enerji Santrali Uydu Görüntüsü.....	81
Şekil 4.7. Konya OSB 500 kW GES Vaziyet Planı.....	81
Şekil 4.8. Konya OSB 500 kW Güneş Enerjisi Santrali Vaziyet Planı-2.....	82

Şekil 4.9. Konya OSB 500 kW Güneş Enerjisi Santrali Görünümü	83
Şekil 4.10. Konya OSB 500 kW GES Tek Hat Şeması.....	84
Şekil 4.11. KOSKİ 250 kW Güneş Enerji Santrali Uydu Görüntüsü.....	91
Şekil 4.12. KOSKİ 250 kW GES Vaziyet Planı.....	91
Şekil 4.13. KOSKİ 250 kW Güneş Enerjisi Santrali Vaziyet Planı-2.....	92
Şekil 4.14. KOSKİ 250 kW Güneş Enerjisi Santrali Görünümü.....	93
Şekil 4.15. KOSKİ 250 kW GES Tek Hat Şeması.....	94
Şekil 4.16. PVSyst Yazılımında Karaman Belediyesi GES Tesisi Meteororm Veri tabanı Seçimi.....	102
Şekil 4.17. PVSyst Yazılımında Karaman Belediyesi GES Tesisi PVGIS Veri tabanı Seçimi	103
Şekil 4.18. Karaman Belediyesi GES Simülasyonu Oryantasyon Ekranı	103
Şekil 4.19. Karaman Belediyesi GES Simülasyonunda 20 Modülden Oluşan Dizenin Tanımlandığı.....	104
Şekil 4.20. Karaman Belediyesi GES Simülasyonunda 21 Modülden Oluşan Dizenin Tanımlandığı Sistem Tasarım Ekranı	105
Şekil 4.21. Karaman Belediyesi GES Tesisi Simülasyonu Sistem Kayıpları Veri Girişi	106
Şekil 4.22. Karaman Belediyesi GES Tesisi Simülasyonu Gölgeleme için Ufuk Tanımlama Ekranı.....	106
Şekil 4.23. Karaman Belediyesi GES Tesisi Simülasyonu Ekonomik Analiz Veri Ekranı	107
Şekil 4.24. Karaman Belediyesi GES Tesisi Meteororm Veri tabanı Simülasyonu Sonuç Ekranı.....	108
Şekil 4.25. Karaman Belediyesi GES Tesisi PVGIS Veri tabanı Simülasyonu Sonuç Ekranı.....	108
Şekil 4.26. PVSyst Yazılımında Konya OSB GES Tesisi Meteororm Veri tabanı Seçimi	109
Şekil 4.27. PVSyst Yazılımında Konya OSB GES Tesisi PVGIS Veri tabanı Seçimi	109
Şekil 4.28. Konya OSB GES Simülasyonu Oryantasyon Ekranı	110
Şekil 4.29. Konya OSB GES Simülasyonunda 22 Modülden Oluşan Dizenin Tanımlandığı.....	111
Şekil 4.30. Konya OSB GES Tesisi Simülasyonu Sistem Kayıpları Veri Girişi	112
Şekil 4.31. Konya OSB GES Tesisi Simülasyonu Gölgeleme için Ufuk Tanımlama Ekranı.....	112
Şekil 4.32. Konya OSB GES Tesisi Simülasyonu Ekonomik Analiz Veri Ekranı	113
Şekil 4.33. Konya OSB GES Tesisi Meteororm Veri tabanı Simülasyonu Sonuç Ekranı	114
Şekil 4.34. Konya OSB GES Tesisi PVGIS Veri tabanı Simülasyonu Sonuç Ekranı ..	114
Şekil 4.35. PVSyst Yazılımında KOSKİ GES Tesisi Meteororm Veri tabanı Seçimi	115
Şekil 4.36. PVSyst Yazılımında KOSKİ GES Tesisi PVGIS Veri tabanı Seçimi	115
Şekil 4.37. KOSKİ GES Simülasyonu Oryantasyon Ekranı	116
Şekil 4.38. KOSKİ GES Simülasyonunda 12 Eviriciden Oluşan Dizenin Tanımlandığı	117
Şekil 4.39. KOSKİ GES Simülasyonunda 1 Eviriciden Oluşan Dizenin Tanımlandığı	117
Şekil 4.40. KOSKİ GES Tesisi Simülasyonu Sistem Kayıpları Veri Girişi.....	118
Şekil 4.41. KOSKİ GES Tesisi Simülasyonu Gölgeleme için Ufuk Tanımlama Ekranı	119
Şekil 4.42. KOSKİ GES Tesisi Simülasyonu Ekonomik Analiz Veri Ekranı.....	120

Şekil 4.43. KOSKİ GES Tesisi Meteororm Veri tabanı Simülasyonu Sonuç Ekranı..	121
Şekil 4.44. KOSKİ GES Tesisi PVGIS Veri tabanı Simülasyonu Sonuç Ekranı.....	121
Şekil 4.45. PVSOL Yazılımında Karaman Belediyesi GES Tesisi Meteororm Veri tabanı Seçimi.....	122
Şekil 4.46. PVSOL Yazılımında Karaman Belediyesi GES Tesisi için Tasarım Ekranı	123
Şekil 4.47. PVSOL Yazılımında Karaman Belediyesi GES Tesisi PV Panel Seçimi ve Veri Girişi	124
Şekil 4.48. PVSOL Yazılımında Karaman Belediyesi GES Tesisi için Paneller ile ilgili Kayıp Girişi Ekranı	124
Şekil 4.49. PVSOL Yazılımında Karaman Belediyesi GES Tesisi için Paneller ile ilgili Kayıp Girişi Ekranı	125
Şekil 4.50. PVSOL Yazılımında Karaman Belediyesi GES Tesisi için Paneller ile ilgili Kayıp Girişi Ekranı	125
Şekil 4.51. PVSOL Yazılımında Karaman Belediyesi 1000 kW GES Tesisi Evirici Seçimi Ekranı.....	126
Şekil 4.52. PVSOL Yazılımında Karaman Belediyesi 1000kW GES Tesisinde Seçilen Evirici için Sistem Çalışabilirlik Kontrolü	126
Şekil 4.53. PVSOL Yazılımında Karaman Belediyesi 1000kW GES Tesisi için Evirici Konfigürasyon Ekranı.....	127
Şekil 4.54. PVSOL Yazılımında Karaman Belediyesi 1000kW GES Tesisi için Omik Kayıp Ekranı	127
Şekil 4.55. PVSOL Yazılımında Karaman Belediyesi GES Tesisi Ekonomik Analiz Veri Ekranı.....	128
Şekil 4.56. PVSOL Yazılımında Karaman Belediyesi 1000kW GES Tesisi Simülasyon Sonuç Ekranı.....	128
Şekil 4.57. PVSOL Yazılımında Konya OSB GES Tesisi Meteororm Veri tabanı Seçimi	129
Şekil 4.58. PVSOL Yazılımında Konya OSB GES Tesisi için Tasarım Ekranı	130
Şekil 4.59. PVSOL Yazılımında Konya OSB GES Tesisi PV Panel Seçimi ve Veri Girişi	131
Şekil 4.60. PVSOL Yazılımında Konya OSB GES Tesisi İçin Paneller ile İlgili Kayıp Girişi Ekranı.....	131
Şekil 4.61. PVSOL Yazılımında Konya OSB GES Tesisi İçin Paneller ile İlgili Kayıp Girişi Ekranı.....	132
Şekil 4.62. PVSOL Yazılımında Konya OSB GES Tesisi İçin Paneller ile İlgili Kayıp Girişi Ekranı.....	132
Şekil 4.63. PVSOL Yazılımında Konya OSB GES Tesisi Evirici Seçimi Ekranı	133
Şekil 4.64. PVSOL Yazılımında Konya OSB GES Tesisinde Seçilen Evirici için Sistem Çalışabilirlik Kontrolü	133
Şekil 4.65. PVSOL Yazılımında Konya OSB GES Tesisi için Evirici Konfigürasyon Ekranı.....	134
Şekil 4.66. PVSOL Yazılımında Konya OSB GES Tesisi için Omik Kayıp Ekranı ...	134
Şekil 4.67. PVSOL Yazılımında Konya OSB GES Tesisi Ekonomik Analiz Veri Ekranı	135
Şekil 4.68. PVSOL Yazılımında Konya OSB GES Tesisi Simülasyon Sonuç Ekranı	135
Şekil 4.69. PVSOL Yazılımında KOSKİ GES Tesisi Meteororm Veri tabanı Seçimi	136
Şekil 4.70. PVSOL Yazılımında KOSKİ GES Tesisi için Tasarım Ekranı	137
Şekil 4.71. PVSOL Yazılımında KOSKİ GES Tesisi PV Panel Seçimi ve Veri Girişi	138

Şekil 4.72. PVSOL Yazılımında KOSKİ GES Tesisi için Paneller ile İlgili Kayıp Girişi Ekranı.....	138
Şekil 4.73. PVSOL Yazılımında KOSKİ GES Tesisi için Paneller ile İlgili Kayıp Girişi Ekranı.....	139
Şekil 4.74. PVSOL Yazılımında KOSKİ GES Tesisi için Paneller ile İlgili Kayıp Girişi Ekranı.....	139
Şekil 4.75. PVSOL Yazılımında KOSKİ GES Tesisi Evirici Seçimi Ekranı.....	140
Şekil 4.76. PVSOL Yazılımında KOSKİ GES Tesisinde Seçilen Evirici için Sistem Çalışabilirlik Kontrolü	140
Şekil 4.77. PVSOL Yazılımında KOSKİ GES Tesisi için Evirici Konfigürasyon Ekranı	141
Şekil 4.78. PVSOL Yazılımında KOSKİ GES Tesisi için Omik Kayıp Ekranı.....	141
Şekil 4.79. PVSOL Yazılımında KOSKİ GES Tesisi Ekonomik Analiz Veri Ekranı .	142
Şekil 4.80. PVSOL Yazılımında KOSKİ GES Tesisi Simülasyon Sonuç Ekranı.....	142
Şekil 4.81. PVGIS Yazılımı Dördüncü Versiyonda PVGIS-CMSAF Veri tabanı ile Karaman Belediyesi GES Tesisi Simülasyonu Veri Girişi Ekranı	144
Şekil 4.82. PVGIS Yazılımı Dördüncü Versiyonda PVGIS-Klasik Veri tabanı ile Karaman Belediyesi GES Tesisi Simülasyonu Veri Girişi Ekranı	144
Şekil 4.83. PVGIS Yazılımı Dördüncü Versiyonda PVGIS-CMSAF Veri tabanı ile Karaman Belediyesi GES Tesisi Simülasyon Sonuçları.....	145
Şekil 4.84. PVGIS Yazılımı Dördüncü Versiyonda PVGIS-Klasik Veri tabanı ile Karaman Belediyesi GES Tesisi Simülasyon Sonuçları.....	146
Şekil 4.85. PVGIS Yazılımı Beşinci Versiyonda PVGIS-CMSAF Veri tabanı ile Karaman Belediyesi GES Tesisi Simülasyonu Veri Girişi Ekranı	147
Şekil 4.86. PVGIS Yazılımı Beşinci Versiyonda PVGIS-CMSAF Veri tabanı ile Karaman Belediyesi GES Tesisi Simülasyonu Sonuçları.....	147
Şekil 4.87. PVGIS Yazılımı Beşinci Versiyonda PVGIS-SARAH Veri tabanı ile Karaman Belediyesi GES Tesisi Simülasyonu Sonuçları.....	148
Şekil 4.88. PVGIS Yazılımı Beşinci Versiyonda PVGIS-ERA5 Veri tabanı ile Karaman Belediyesi GES Tesisi Simülasyonu Sonuçları	148
Şekil 4.89. PVGIS Yazılımı Beşinci Versiyonda PVGIS-COSMO Veri tabanı ile Karaman Belediyesi GES Tesisi Simülasyonu Sonuçları.....	148
Şekil 4.90. PVGIS Yazılımı Dördüncü Versiyonda PVGIS-CMSAF Veri tabanı ile Konya OSB GES Tesisi Simülasyonu Veri Girişi Ekranı	149
Şekil 4.91. PVGIS Yazılımı Dördüncü Versiyonda PVGIS-Klasik Veri tabanı ile Konya OSB GES Tesisi Simülasyonu Veri Girişi Ekranı.....	149
Şekil 4.92. PVGIS Yazılımı Dördüncü Versiyonda PVGIS-CMSAF Veri tabanı ile Konya OSB GES Tesisi Simülasyon Sonuçları.....	150
Şekil 4.93. PVGIS Yazılımı Dördüncü Versiyonda PVGIS-Klasik Veri tabanı ile Konya OSB GES Tesisi Simülasyon Sonuçları	151
Şekil 4.94. PVGIS Yazılımı Beşinci Versiyonda PVGIS-CMSAF Veri tabanı ile Konya OSB GES Tesisi Simülasyonu Veri Girişi Ekranı.....	152
Şekil 4.95. PVGIS Yazılımı Beşinci Versiyonda PVGIS-CMSAF Veri tabanı ile Konya OSB GES Tesisi Simülasyonu Sonuçları	152
Şekil 4.96. PVGIS Yazılımı Beşinci Versiyonda PVGIS-SARAH Veri tabanı ile Konya OSB GES Tesisi Simülasyonu Sonuçları	153
Şekil 4.97. PVGIS Yazılımı Beşinci Versiyonda PVGIS-ERA5 Veri tabanı ile Konya OSB GES Tesisi Simülasyonu Sonuçları	153
Şekil 4.98. PVGIS Yazılımı Beşinci Versiyonda PVGIS-COSMO Veri tabanı ile Konya OSB GES Tesisi Simülasyonu Sonuçları	153

Şekil 4.99. PVGIS Yazılımı Dördüncü Versiyonda PVGIS-CMSAF Veri tabanı ile KOSKİ GES Tesisi Simülasyonu Veri Girişi Ekranı	154
Şekil 4.100. PVGIS Yazılımı Dördüncü Versiyonda PVGIS-Klasik Veri tabanı ile KOSKİ GES Tesisi Simülasyonu Veri Girişi Ekranı	155
Şekil 4.101. PVGIS Yazılımı Dördüncü Versiyonda PVGIS-CMSAF Veri tabanı ile KOSKİ GES Tesisi Simülasyon Sonuçları	156
Şekil 4.102. PVGIS Yazılımı Dördüncü Versiyonda PVGIS-Klasik Veri tabanı ile KOSKİ GES Tesisi Simülasyon Sonuçları	157
Şekil 4.103. PVGIS Yazılımı Beşinci Versiyonda PVGIS-CMSAF Veri tabanı ile KOSKİ GES Tesisi Simülasyonu Veri Girişi Ekranı	158
Şekil 4.104. PVGIS Yazılımı Beşinci Versiyonda PVGIS-CMSAF Veri tabanı ile KOSKİ GES Tesisi Simülasyonu Sonuçları	158
Şekil 4.105. PVGIS Yazılımı Beşinci Versiyonda PVGIS-SARAH Veri tabanı ile KOSKİ GES Tesisi Simülasyonu Sonuçları	159
Şekil 4.106. PVGIS Yazılımı Beşinci Versiyonda PVGIS-ERA5 Veri tabanı ile KOSKİ GES Tesisi Simülasyonu Sonuçları	159
Şekil 4.107. PVGIS Yazılımı Beşinci Versiyonda PVGIS-COSMO Veri tabanı ile KOSKİ GES Tesisi Simülasyonu Sonuçları	159
Şekil 5.1. Karaman Belediyesi GES Tesisi Yıllık Enerji Üretimi Endeks Değerleri ...	163
Şekil 5.2. Karaman Belediyesi GES Tesisi için Aylık Enerji Üretim Farkları	164
Şekil 5.3. Karaman Belediyesi GES Tesisi için Referans Verim Farkları	166
Şekil 5.4. Karaman Belediyesi GES Tesisi için Final Verim Farkları	166
Şekil 5.5. Karaman Belediyesi GES Tesisi için Performans Oranı Farkları	167
Şekil 5.6. Karaman Belediyesi GES Tesisi için Kapasite Faktörü Farkları	168
Şekil 5.7. Karaman Belediyesi GES Tesisi için Tüm Parametrelerdeki Hata Payları..	168
Şekil 5.8. Konya OSB GES Tesisi için Yıllık Enerji Üretimi Endeks Değerleri	171
Şekil 5.9. Konya OSB GES Tesisi için Aylık Enerji Üretim Farkları.....	172
Şekil 5.10. Konya OSB GES Tesisi için Referans Verim Farkları	174
Şekil 5.11. Konya OSB GES Tesisi için Final Verim Farkları	175
Şekil 5.12. Konya OSB GES Tesisi için Performans Oranı Farkları	176
Şekil 5.13. Konya OSB GES Tesisi için Kapasite Faktörü Farkları	176
Şekil 5.14. Konya OSB GES Tesisi için Tüm Parametrelerdeki Hata Payları.....	177
Şekil 5.15. KOSKİ GES Tesisi için Yıllık Enerji Üretimi Endeks Değerleri	180
Şekil 5.16. KOSKİ GES Tesisi için Aylık Enerji Üretim Farkları.....	182
Şekil 5.17. KOSKİ GES Tesisi için Referans Verim Farkları.....	184
Şekil 5.18. KOSKİ GES Tesisi için Final Verim Farkları.....	184
Şekil 5.19. KOSKİ GES Tesisi için Performans Oranı Farkları	185
Şekil 5.20. KOSKİ GES Tesisi için Kapasite Faktörü Farkları.....	186
Şekil 5.21. KOSKİ GES Tesisi için Tüm Parametrelerdeki Hata Payları	186
Şekil 6.1. Simülasyonlardaki Performans Parametreleri Tahminlerindeki Hatalar.....	187
Şekil 6.2. Simülasyonların Tüm Parametrelerdeki Hata Payı Oranları	188
Şekil 6.3. Parametrelerde Hata Payı Ortalamaları	189

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1. Bazı İllerin Güneş Radyasyon Değerleri, (GEPA, 2019).....	12
Çizelge 1.2. Güneş Enerjisi Değerleri, (GEPA, 2019).....	13
Çizelge 1.3. Konya-Karaman GES Lisans İhale Yarışması Sonuçları, (Sonuçları, 2019)	19
Çizelge 1.4. Konya ve Karaman İllerinde Bulunan Lisanslı Tesislerde Son Durum, (EPDK, 2019a).....	19
Çizelge 3.1. Piyasada Yaygın Olarak Kullanılan PV Simülasyon Programları, (Jacques, Bissey, Ren, Caldeira, & Engineering, 2014).....	49
Çizelge 3.2. IEC 61724 Standardı Türetilen ve Hesaplanan Parametreler, (IEC61724, 1998).....	53
Çizelge 3.3. Perez Anizotropik Modeli İçin Parlaklık Katsayıları, (Perez et al., 1988). 68	
Çizelge 4.1. Karşılaştırma Yapılan GES Sahaları Bilgileri.....	70
Çizelge 4.2. Karaman 1000 kW GES Teknik Bilgiler Çizelgesi, (Karaman, 2017)	73
Çizelge 4.3. Karaman Belediyesi 1000kW GES Dizi ve Panel Bilgileri, (Karaman, 2017).....	75
Çizelge 4.4. Karaman Belediyesi 1000 kW GES'inde Kullanılan PV Panel Bilgileri, (Karaman, 2017).....	76
Çizelge 4.5. Karaman Belediyesi 1000 kW GES'inde Kullanılan Evirici Bilgileri, (Karaman, 2017).....	77
Çizelge 4.6. Karaman İline Ait Güneş Radyasyonu Verileri (kWh/m ² /Ay)	78
Çizelge 4.7. Karaman İline Ait Meteorolojik Veriler, (MGM, 2019b).....	79
Çizelge 4.8. Karaman Belediyesi 1000 kW GES'ine ait 2017-2019 Yılları Enerji Üretim Değerleri (kWh).....	80
Çizelge 4.9. Konya OSB 500 kW GES Teknik Bilgiler Çizelgesi, (KOSB, 2017)	83
Çizelge 4.10. Konya OSB 500kW GES Dizi ve Panel Bilgileri, (KOSB, 2017).....	85
Çizelge 4.11. Konya OSB 500 kW GES'inde Kullanılan PV Panel Bilgileri, (KOSB, 2017).....	86
Çizelge 4.12. Konya OSB 500 kW GES'inde Kullanılan Evirici Bilgileri, (KOSB, 2017)	87
Çizelge 4.13. Konya İline Ait Güneş Radyasyonu Verileri (kWh/m ² /Ay)	88
Çizelge 4.14. Konya İline Ait Meteorolojik Veriler, (MGM, 2019b).....	89
Çizelge 4.15. Konya OSB 500 kW GES'ine ait 2017-2019 Yılları Enerji Üretim Değerleri (kWh).....	90
Çizelge 4.16. KOSKİ 250 kW GES Teknik Bilgiler Çizelgesi, (KOSKİ, 2017).....	93
Çizelge 4.17. KOSKİ 250 kW GES Dizi ve Panel Bilgileri, (KOSKİ, 2017).....	95
Çizelge 4.18. KOSKİ 250 kW GES'inde Kullanılan PV Panel Bilgileri, (KOSKİ, 2017)	96
Çizelge 4.19. KOSKİ 250 kW GES'inde Kullanılan Evirici Bilgileri (20 kW), (KOSKİ, 2017).....	97
Çizelge 4.20. KOSKİ 250 kW GES'inde Kullanılan Evirici Bilgileri (10 kW), (KOSKİ, 2017).....	98
Çizelge 4.21. KOSKİ 250 kW GES'ine ait 2017-2019 Yılları Gerçek Enerji Üretim Değerleri (kWh).....	99
Çizelge 4.22. KOSKİ 250 kW GES'ine ait 2017-2019 Yılları Hesaplanan Enerji Üretim Değerleri (kWh).....	100
Çizelge 4.23. KOSKİ 250 kW GES Gerçek Enerji Üretim Değerlerine Eklenen Enerji ve Gün Verileri	100
Çizelge 5.1. Yazılımlar ile Gerçekleştirilen Simülasyonlar Listesi.....	160

Çizelge 5.2. Karaman Belediyesi GES Tesisi İçin Yapılan Simülasyonlarda Karşılaştırılan Değerler	161
Çizelge 5.3. Karaman Belediyesi GES Tesisi için Aylık Enerji Üretim Değerleri ve Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	162
Çizelge 5.4. Karaman Belediyesi GES Tesisi Performans Parametreleri Karşılaştırması	165
Çizelge 5.5. Konya OSB GES Tesisi için Yapılan Simülasyonlarda Karşılaştırılan Değerler	169
Çizelge 5.6. Konya OSB GES Tesisi için Aylık Enerji Üretim Değerleri ve Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	170
Çizelge 5.7. Konya OSB GES Tesisi Performans Parametreleri Karşılaştırması	174
Çizelge 5.8. KOSKİ GES Tesisi İçin Yapılan Simülasyonlarda Karşılaştırılan Değerler	178
Çizelge 5.9. KOSKİ GES Tesisi İçin Aylık Enerji Üretim Değerleri ve Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	179
Çizelge 5.10. KOSKİ GES Tesisi Performans Parametreleri Karşılaştırması	183



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

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

Kısaltmalar

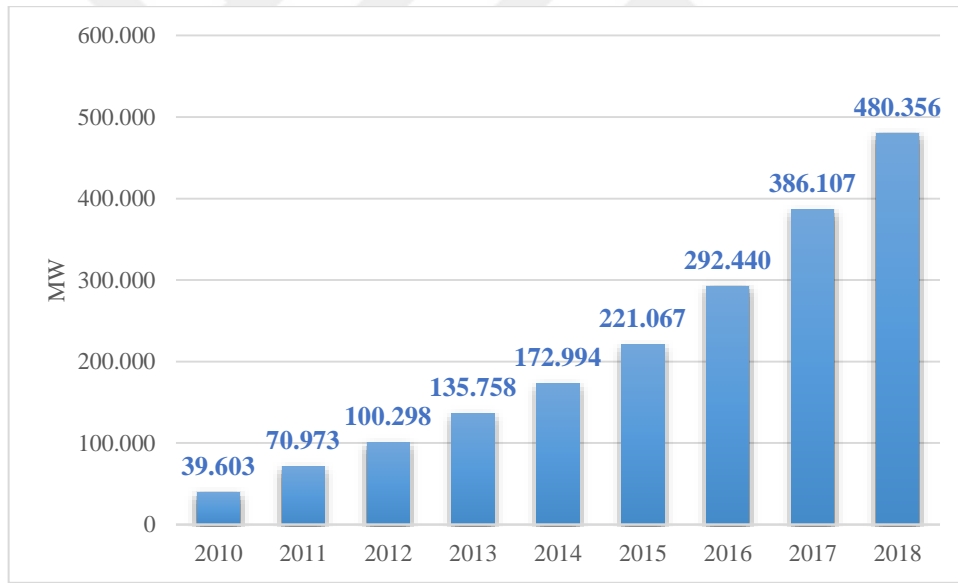
IRENA	: Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı
PV	: Fotovoltaik
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
EPIA	: Avrupa Fotovoltaik Endüstrisi Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
GDR	: Güneş Radyasyon Değeri
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
YEKA	: Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanı
ETKB	: Enerji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

1. GİRİŞ

Güneş enerjisi son yıllarda kullanımı en fazla artış gösteren yenilenebilir enerji kaynaklarından birisidir. Maliyetlerin düşmesi, kurulum kolaylığı ve teknolojinin gelişmesiyle verimliliğin artması gibi nedenler, güneş enerjisinden elektrik üretimini tercih edilir hale getirmiştir.

1.1. Dünyada PV Teknolojisi ile Elektrik Üretimi

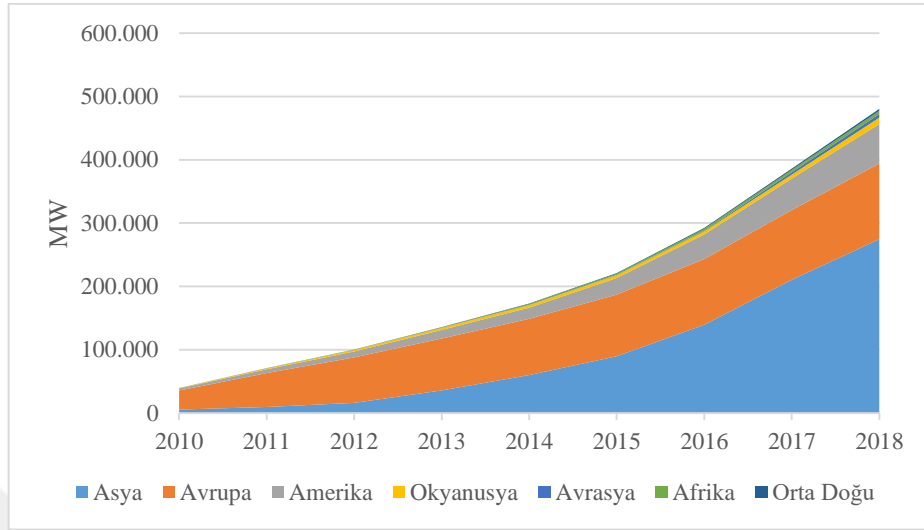
Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı'nın (IRENA) internet sitesindeki güncel verilerine göre, dünya Fotovoltaik (PV) panel ile elektrik üretim kapasitesinin üssel olarak arttığı görülmektedir (Şekil 1.1). 2018 yılında PV panel kurulu güç kapasitesi yıl içinde 94,7 GW ilave ile toplamda 480,3 GW kapasiteye ulaşmıştır (IRENA, 2019).



Şekil 1.1. Dünyada PV Kurulu Gücü Değişimi
Kaynak: (IRENA, 2019)

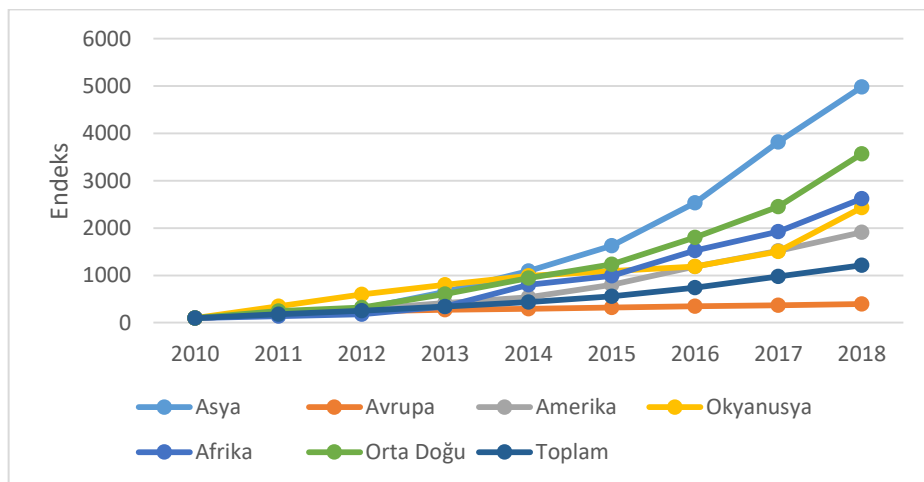
2018 yılı sonu itibari ile 16 ülkede PV kurulu gücündeki artış yıllık 1 GW'ın üzerinde gerçekleşmiştir. Diğer taraftan 2018 yılı sonu itibari ile 31 ülkede de kurulu güç kapasitesi toplam 1 GW'ın üstüne çıkmıştır. Avrupa, 2003'ten beri sürdürdüğü yıllık PV kurulu güç artışındaki birinciliğini kaybetmiş ve yıllık kurulu güç birinciliğini Asya'ya kaptırmıştır. Asya pazarını büyüten ülke ise Çin'dir. Çin daha önceleri ürettiği hücre ve panelleri dış pazarda satarken artık iç piyasada da kullanmaya başlamış ve yıllık kurulu

gücü üssel olarak artmıştır. Çin, 2018 yılında PV kurulu gücünü 44,2 GW arttırarak dünyadaki PV toplam kurulu gücün %36'sını oluşturmuştur (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Kıtaların PV Kurulu Gücündeki Değişim
Kaynak: (IRENA, 2019)

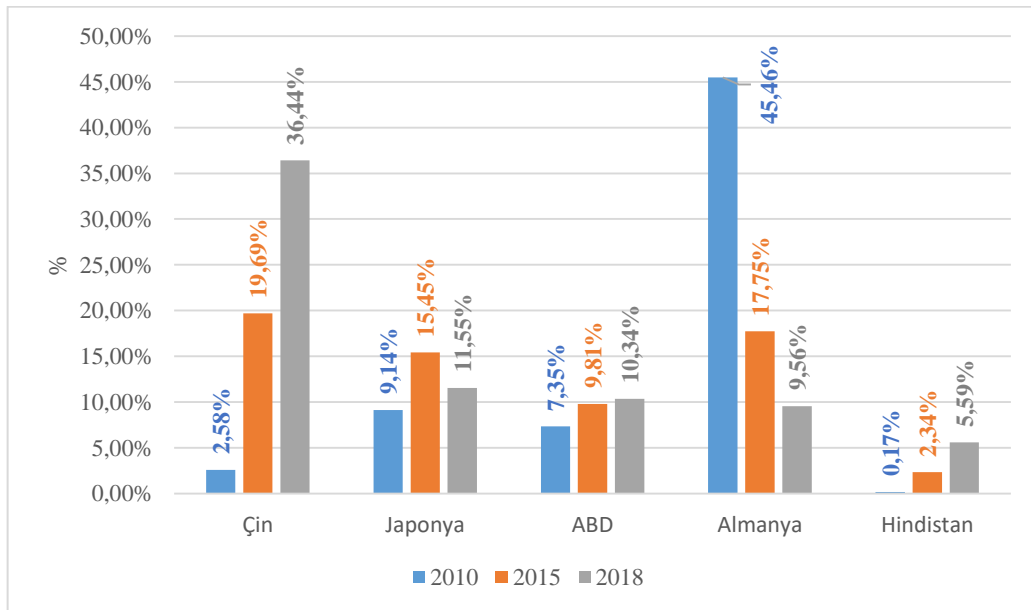
Kıtaların 2010 yılındaki kurulu güçlerine göre yıllık kurulu güç artış endeksleri incelendiğinde (Şekil 1.3), Avrupa'daki PV sektöründe daralma olduğu ve yatırımların gözle görülür bir şekilde azaldığı buna karşın Asya ve Orta Doğuda PV enerji yatırımlarının her geçen sene artış gösterdiği ve PV sektörü için yeni bir pazar haline geldiği görülmektedir. Asya'daki PV kurulu gücü artışının bölgenin PV teknolojisi üretimi ile ilgili olduğu, Orta Doğu'daki PV kurulu gücü artışının ise meteorolojik avantajlarla ilgili olduğu değerlendirilmektedir.



Şekil 1.3. PV Kurulu Gücündeki Artışın 2010 Yılına Göre Endeks Değişimi
Kaynak: (IRENA, 2019)

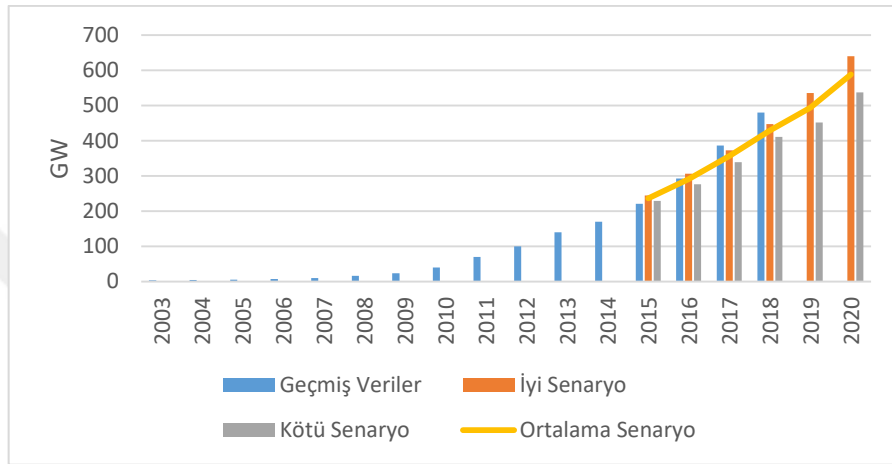
2018 yılı itibari ile ülkelerin kurulu güçlerinin toplam PV kurula güce oranları incelendiğinde, günümüz itibariyle dünya çapında yapılan her 3 MW'lık yatırımın 1 MW'ından fazlasının Çin'de yapıldığı görülmektedir. 2010 yılında toplam kurulu gücün sadece %3'üne sahip olan Çin, 8 yıl içinde toplam kurulu gücünü büyük bir ivme ile artırarak toplam kurulu gücün %37'sine kadar çıkarmıştır.

Çin'in PV kurulu gücünde sergilemiş olduğu büyük başarı, sektörde yapmış oldukları doğru ekonomik ve ticari hamlelerle ilgilidir. 10 yıla kadar PV teknoloji konusunda söz sahibi olan Almanya ve İspanya'nın önde gelen şirketlerini satın alarak ülkelerinde yapacakları PV seferberliği için bilgi transferi yapılmış, ülkelerinde yapılan üretimlerin genel karakteristiği PV sektörüne adapte edilerek üretim maliyetleri azaltılmış, PV sektörünün gelişmesine önemli bir katkı sağlanmıştır. Almanya'da son 8 yılda Çin'deki gelişmelerin aksine sektördeki üretim avantajı kaybedilmiş bunun sonucu olarak da güneş enerjisi ile elektrik üretimi konusundaki teşvikler azalmıştır. Almanya, dünyadaki PV kurulu gücü liderliğini kaptırarak dördüncülüğe kadar gerilemiştir. Ülkelerin PV kurulu güçlerindeki değişim, Hindistan ve Japonya'nın da Çin'deki gelişmelere benzer bir değişim olabileceğini göstermektedir. Diğer taraftan ülkelerin PV kurulu güçleri ile güneş enerjisi üretimini etkileyen en önemli iki faktör olan güneşlenme süreleri ile güneş radyasyonu arasında paralellik bulunmamaktadır. Kurulu güç daha çok güneş potansiyeli olan ülkeler yerine daha çok PV teknolojisi üreten ülkelere artmaktadır (Şekil 1.4).



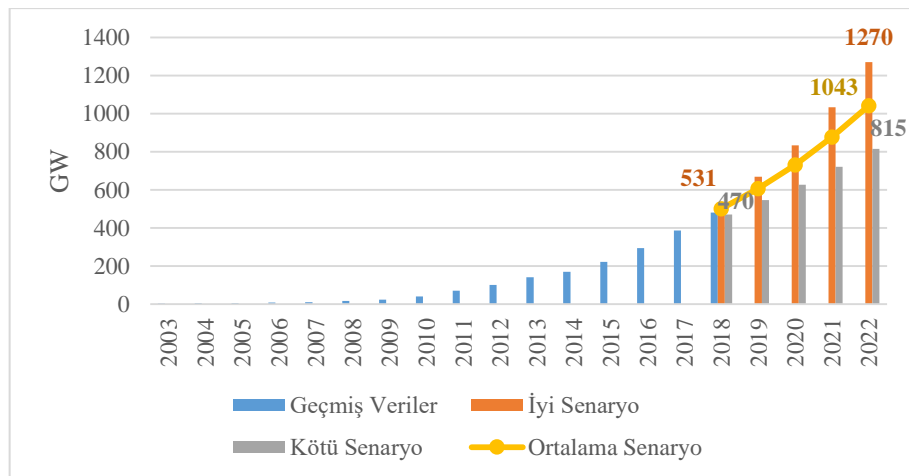
Şekil 1.4. Ülkelerin Global PV Kurulu Gücündeki Payları
Kaynak: (IRENA, 2019)

Eski adı EPIA, yeni adı Solarpower Europe olan kurumun 2016 yılında yayımladığı raporda, 2020 yılı PV kurulu güç tahminleri iyimser, kötümser ve ortalama senaryolara göre yapılmış, 2014 sonu itibari ile 172 GW olan PV kurulu gücü, iyimser senaryoda 640 GW, ortalama senaryoda 589 GW ve kötümser senaryoda ise 494 GW olarak tahmin edilmiştir (Şekil 1.5). Söz konusu raporda yapılan iyimser tahminler bile 2017 ve 2018 yıllarında gerçekleşen PV yatırımlarının büyüklüğünden az kalmıştır (Europe, 2016).



Şekil 1.5. Dünya 2020 PV Kurulu Güç Tahmini
Kaynak: (Europe, 2016)

Kurumun 2018 yılında revize ettiği rapora göre, 2018 yılında gerçekleşen kurulu güç, ortalama tahmin ile kötümser tahminin ortasında kalmıştır (Şekil 1.6). Gerçekleşen yatırımlar, 2022 yılında dünyanın 1 TW'lık kurulu güce ulaşabileceğini göstermektedir (Europe, 2018).

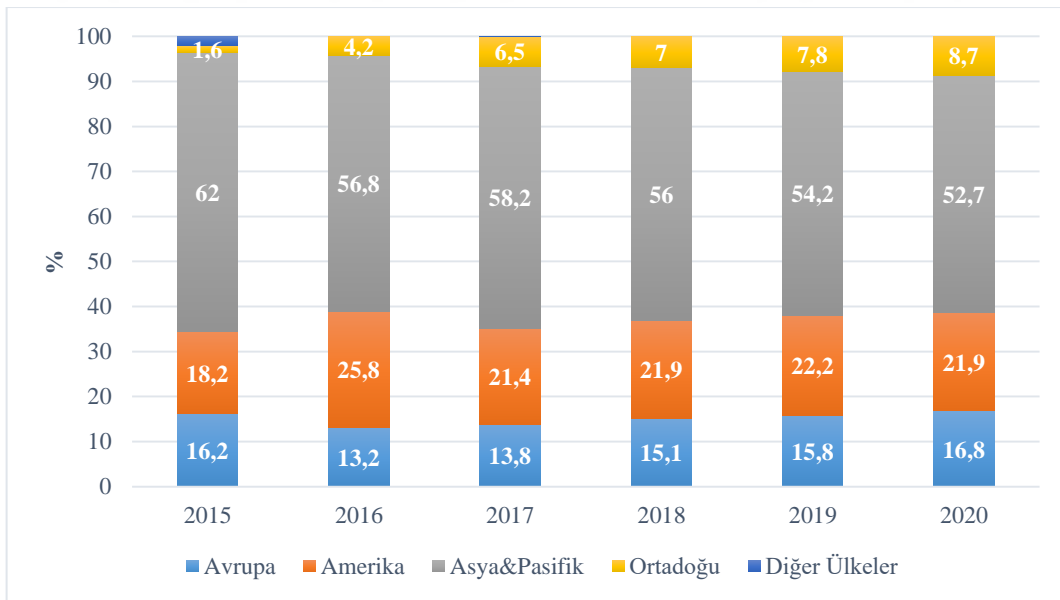


Şekil 1.6. Dünya 2022 PV Kurulu Güç Tahmini
Kaynak: (Europe, 2018)

Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) 2014 yılında yayınladığı PV Teknolojisi Yol Haritası Raporuna göre, 2013 yılında kurulu güç kapasitelerinin toplam PV kapasitesine oranı %60 olan Avrupa'nın kurulu güç kapasitesi oranının 2018 yılında %36 civarına düşeceği, 2013 yılında kurulu güç kapasitelerinin toplam PV kapasitesine oranı yaklaşık %24 olan Çin, ABD ve Ortadoğu ülkelerinin 2018 yılında kurulu güç kapasitesi oranının %45 civarına yükseleceği tahmin edilmiştir (Philibert, 2014).

2018 yılındaki dünyadaki toplam PV kurulu gücü, IEA tarafından yapılan tahmini yarı doğrular şekilde gerçekleşmiştir. 2018 yılında Avrupa ülkelerindeki PV kurulu gücü toplam PV kurulu gücün %25'ini, Çin, ABD ve Orta doğu ülkelerindeki PV kurulu gücü ise toplam kurulu gücün %50'sini oluşturmuştur. EIA tarafından 2014 yılında yapılan tahminin, Avrupa ülkeleri için iyimser, Çin, ABD ve Ortadoğu ülkeleri için kötümser olduğu görülmektedir.

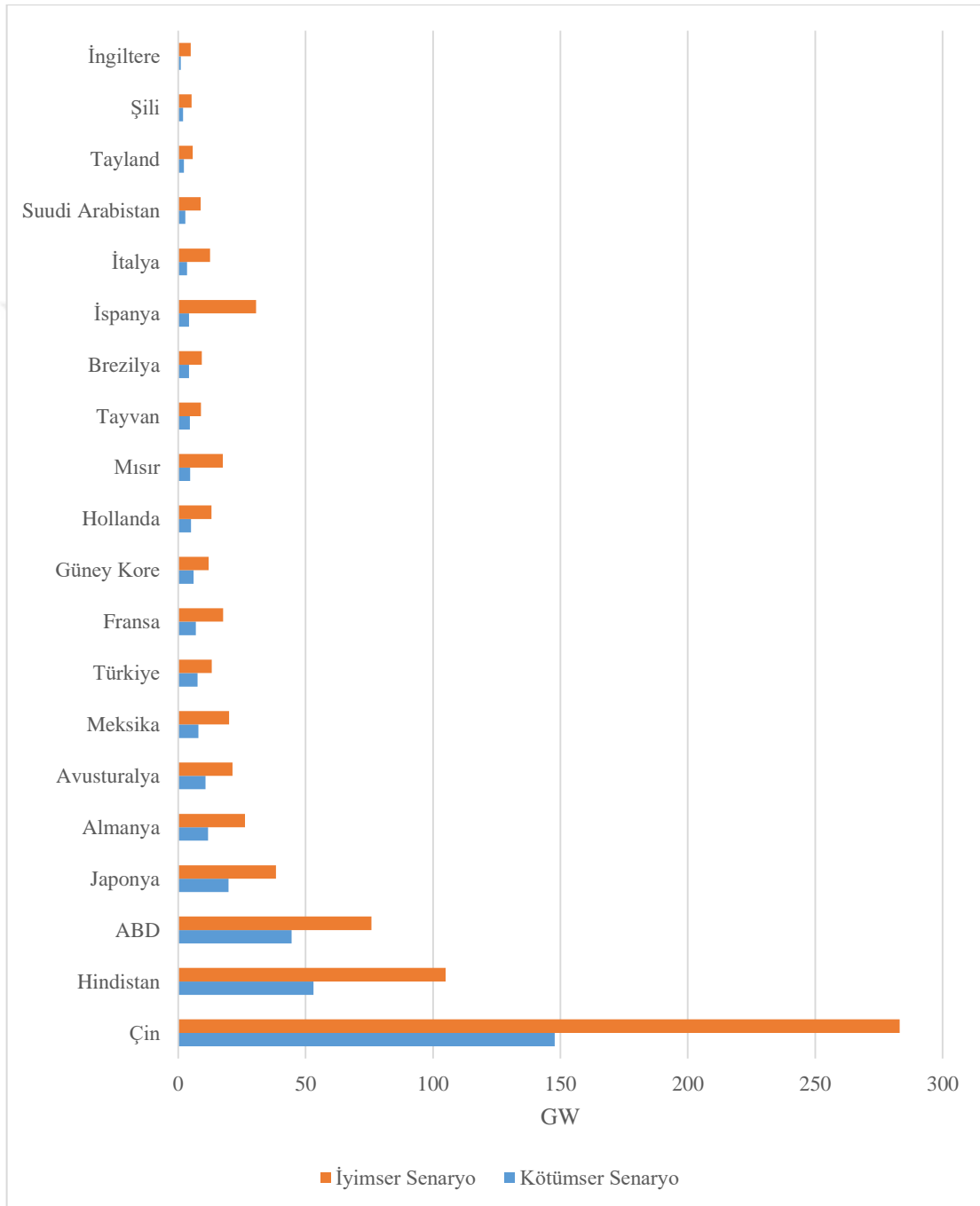
Gerçek verilere daha yakın bir tahmin, Solarpower Europe kurumu tarafından 2016 yılında yayımlanan 2016-2020 Global PV Görünümü adlı raporda ortaya atılmıştır (Şekil 1.7). Bu raporda, 2018 yılında Avrupa'daki kurulu gücün toplam kurulu güce oranının %15, Asya'daki kurulu gücün toplam kurulu güce oranının ise %56 olacağı tahmin edilmiştir (Europe, 2016).



Şekil 1.7. İyimser Senaryoya Göre Bölgelerin PV Kurulu Güç Oranları
Kaynak: (Europe, 2016)

Solarpower Europe'un 2018 yılında yayımladığı raporda 2022 yılında dünyada en fazla PV kurulu güce sahip olması beklenen 20 ülkenin kurulu güç tahminleri yer almıştır

(Şekil 1.8). Bu tahminlere göre 2022 yılında en fazla kurulu güce sahip olan Çin'in iyimser senaryoya göre kurulu gücü 283,1 GW oldu. Aynı raporda Türkiye'nin kurulu güç tahminleri iyimser senaryoya göre 13,2 GW, kötümser senaryoya göre ise 7,6 GW olmuştur (Europe, 2018).



Şekil 1.8. En Fazla PV Kurulu Güce Sahip 20 Ülkede 2018-2022 Yılları Senaryoları
Kaynak: (Europe, 2018)

1.2. Ülkemizde Güneş Enerjisi Yatırımları

Ülkemizde Güneş Enerjisi yatırımları, ilk olarak yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili yapılan mevzuat çalışmaları ile başlamıştır. Bu kapsamda yapılan ilk birincil mevzuat düzenlemesi 2005 yılında yayımlanan 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun'dur (YEK). Bu kanun ile Türkiye'de ilk kez Tarife Garantisi teşvik politikası (Feed-In-Tariff) uygulanmaya başlamıştır. Tarife garantisi teşvik mekanizması, piyasanın gelişim sürecine bağlı olarak sonradan birçok değişikliğe uğramıştır. Buna rağmen yatırımcılar, kanun kapsamındaki teşvik mekanizması, yatırımları için yeterli düzeye erişene kadar yatırımlarını bekletmişlerdir.

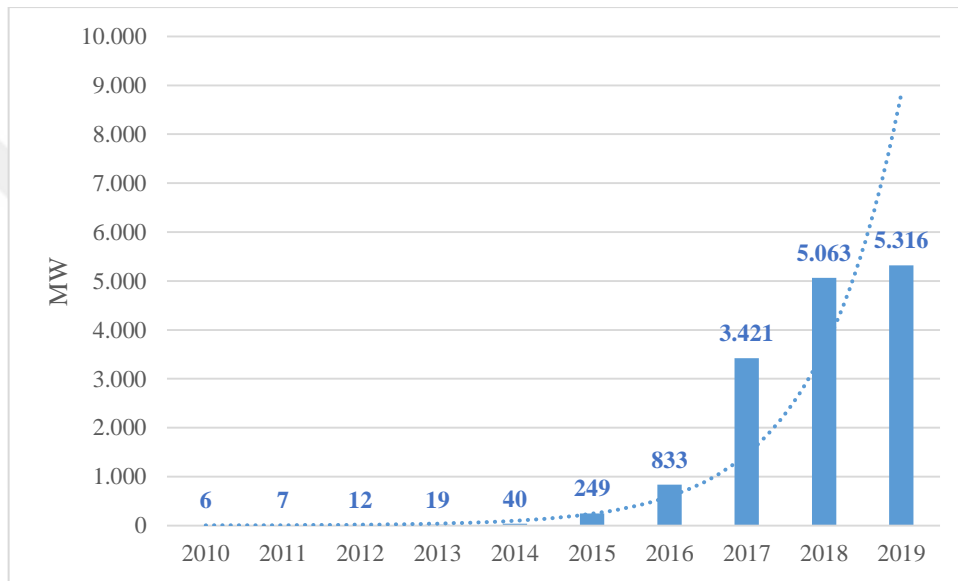
Yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının hedeflenen seviyelerde gerçekleşmemesi ve ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması bu kaynakların daha fazla teşvik edilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bunun sonucunda da 08.01.2011 tarih ve 27809 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren 6094 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun ile YEK Kanununda önemli değişiklikler yapılmıştır. Kanunda yapılan değişiklikle yeni bir Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması (YEKDEM) oluşturulmuş, söz konusu mekanizmada yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim faaliyeti gösterenlerin faydalanabileceği fiyat, süreler ve bunlara yapılacak ödemelere ilişkin usul ve esaslar belirlenmiştir (Cebeci, 2017).

Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilebilmesi özel sektör yatırımcılarının yatırımlarını yapabilmeleri amacıyla YEK haricinde de mevzuat çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar; 2007 yılında yayımlanan 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu ve 2013 yılında yayımlanan 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'dur. Ayrıca bu kanunların uygulanmasına yönelik olarak da Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği (LY), Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimi Yönetmeliği (LÜY), Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Enerjisi Üreten Tesislerde Kullanılan Aksamın Yurt İçinde İmalatı Hakkında Yönetmeliği yer almaktadır (Cebeci, 2017).

YEK Kanununun yayımlanmasından sonra Türkiye'de güneş enerjisi yatırımlarına olan ilgi hızla artmaya başlamıştır. Kanun ile ilk aşamada 600 MW'lık lisanslı üretim kapasitesinin oluşturulması söz konusu GES kapasitesi için toplam 7.930 MW kurulu güçteki 496 adet lisans başvurusu gerçekleşmiştir. Belirli bölgelere yapılan

başvuruların yoğunluklu olması lisanslı güneş enerjisi yatırım sürecinin uzamasına neden olmuştur. 2015 yılı içerisinde tamamlanan yarışmalar sonucunda MW başına verilen katkı payı ücretlerinin PV sistem kurulum maliyetinin üzerine çıkması talebin ne kadar yüksek olduğunu göstermektedir. Yarışmalar sırasında en yüksek katkı payı teklifi (2.960.000 TL/MW) Malatya-Adıyaman bölgeleri için verilmiştir (Cebeci, 2017).

6446 sayılı Enerji Piyasası Kanununda yapılan değişiklikler ve lisanslı Güneş Enerjisi Santralleri (GES) için yapılan yarışmalardaki rekabet lisanssız GES başvurularında hızlı bir yükselişe neden olmuştur (Şekil 1.9).



Şekil 1.9. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Kurulu Gücü Değişimi,
Kaynak: (TEİAŞ, 2019)

Ülkemizde elektrik şebekesine bağlı (ON-GRID) GES'lerde kurulu güç verileri Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) tarafından kayıt altına alınmaktadır. Bu verilere göre, GES yatırımlarının 2015 yılından itibaren ivme kazandığı görülmektedir. 2017 yılı, ülkemizdeki GES yatırımlarındaki en büyük artışın olduğu yıl olmuştur. Ülkemizde yapılan tüm GES yatırımlarının yaklaşık olarak yarısı (%48,7) bu yılda yapılmıştır. 2017 yılında yapılan yatırımların bu seviyede olmasının en büyük sebebi, 29 Aralık 2016 tarih ve 29933 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan 26.12.2016 tarih ve 6808 sayılı Kurul Kararı ile Dağıtım Lisansı sahibi Tüzel Kişiler ve Görevli Tedarik Şirketlerinin, Tarife Uygulamasına İlişkin Usul ve Esaslarda yapılan değişiklik olmuştur. Söz konusu değişiklik ile 31.12.2017 yılından sonra geçici kabul alacak GES'ler için tarife değişiklikleri yapılmış ve dağıtım bedelleri arttırılmıştır. Tarife değişiklikleri GES

yatırımlarındaki artışı yavaşlatsa da yatırımlardaki artış devam etmiştir. Ülkemizdeki işletmede olan GES'lerin 2019 Mart sonundaki kurulu gücü 5.316 MW'a ulaşmıştır. Mevcut kurulu gücün %98,5'ünü lisanssız GES'ler oluşturmaktadır (TEİAŞ, 2019).

Yapılan yatırımlarda dikkat çeken diğer bir husus ise her geçen yıl için GES'lerdeki kurulu güç miktarının azalmasıdır. 2017 yılında yapılan GES yatırımlarında bir santralin ortalama gücü 945 kW iken, 2018 yılında yapılan GES yatırımlarında bir santralin ortalama gücü 730 kW'a düşmüş, 2019 yılında ise bu değer 800 kW olmuştur. Santral başına düşen ortalama güçteki düşüşün nedenlerinden birisi elektrik şebekesindeki kapasite kullanımının azalması ile döviz kurlarındaki artış olduğu değerlendirilmektedir (TEİAŞ, 2019).

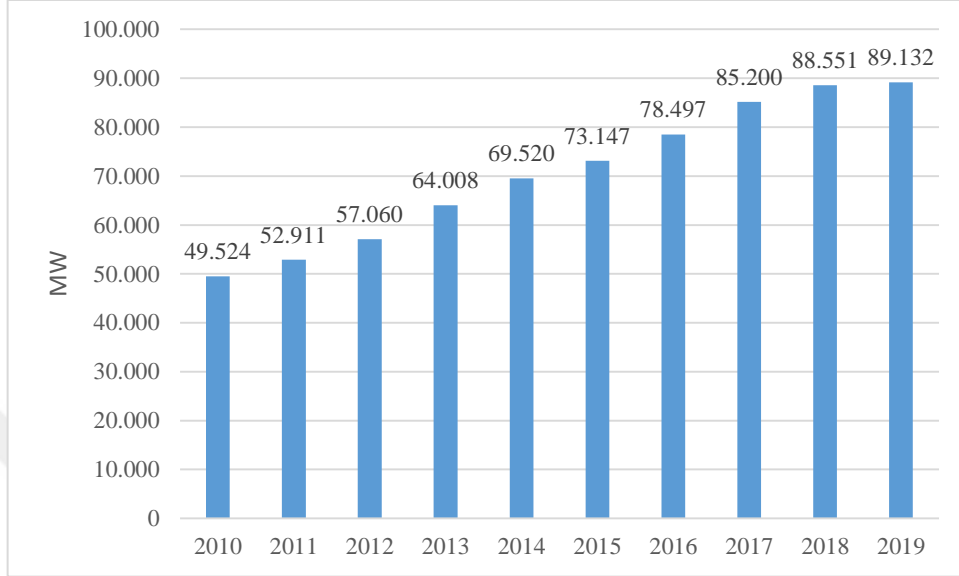
Söz konusu ortalama kapasite, lisanssız GES kurulumlarının büyük çoğunluğunun zemine monteli PV sistemlerden oluştuğunu, küçük ölçekli çatı tipi PV sistem uygulamalarının beklenen seviyede olmadığını göstermektedir. Türkiye'de lisanssız elektrik üretiminin teşvik edilmesindeki asıl amaçlardan biri kişilerin kendi ihtiyaçlarını karşılamaları için elektrik üretmeleri iken, mevcut durumda piyasada daha çok alım garantisinden faydalanarak kâr etmeyi amaçlayan yatırımcılar yer almaktadır (Cebeci, 2017).

Küçük ölçekli PV sistemlerin yaygınlaşmamasının sebeplerinden biri bürokratik sürecin uzun ve maliyetli olmasıdır. Küçük ölçekli çatıya monteli PV sistemlerin İndirgenmiş Birim Elektrik Üretim Maliyeti (LCOE) büyük ölçeklilere göre daha fazladır. Bu nedenle, Türkiye'de küçük ölçekli çatı tipi PV sistemleri için farklı bir teşvik mekanizması geliştirilmediği, sistemlerin başvuru sürecinde ortaya çıkan maliyetler azaltılmadığı takdirde bu sistemlerin yaygınlaştırılmasının zor olacağı düşünülmektedir (Cebeci, 2017).

Ülkemizdeki GES yatırımlarının yıllık artış oranı dünya ortalamasının üzerindedir. Dünyada 2010 yılından itibaren yıllık kurulu güç artış oranının ortalaması %37,5 iken ülkemizde bu oran %153 olmuştur.

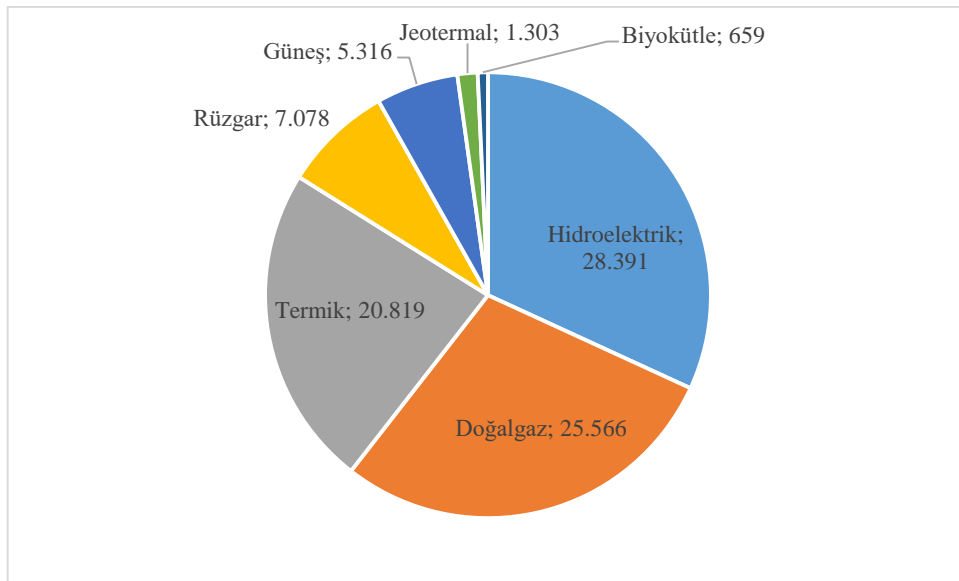
Solarpower Europe'un 2018 yılında yayımladığı raporda ülkemiz, PV sektörünün geliyeceği ilk yirmi ülke arasında yer almaktadır. Raporda ülkemizin 2022 yılında toplam kurulu gücünün ortalama senaryo ile 14.320 MW'a ulaşacağı ve 2017 yılından itibaren sisteme 10.900 MW yeni kapasite ekleneceği tahmin edilmektedir. Raporda ayrıca 2018-2022 yılları arasında yıllık kurulu gücün %33 oranında artacağı da tahmin edilmektedir (Europe, 2018).

Şekil 1.10’da görüldüğü üzere ülkemizde son dokuz yılda toplam kurulu güçteki artış yıllık ortalama %7,5 olmuştur. Diğer bir deyişle her yıl mevcut kurulu güce %7,5 oranında ilave kurulu güç eklenmiştir (TEİAŞ, 2019).



Şekil 1.10. Ülkemizde Yıllara Göre Kurulu Güç Değişimi
Kaynak: (TEİAŞ, 2019)

Şekil 1.11’de 2019 yılındaki kurulu gücümüzün kaynaklara göre dağılımı görülmektedir. Buna göre; %31,9’u hidroelektrik enerji, %28,7’si doğal gaz, %23,4’ü termik, %7,9’u rüzgâr, %6’sı güneş, %1,5’u jeotermal ve %0,7’si ise biyokütle olarak gerçekleşmiştir (TEİAŞ, 2019).



Şekil 1.11. Ülkemizde Kurulu Gücün Birincil Kaynaklara Göre Dağılımı, MW
Kaynak: (TEİAŞ, 2019)

Ülkemiz, dünyanın en hızlı büyüyen enerji pazarlarından biridir. Türkiye'nin toplam enerji talebi de kurulu gücü de hızla artmaktadır. Ülkemizin toplam elektrik enerjisi üretiminin %44'ü ithal edilen fosil yakıtlar ile gerçekleşmektedir. Elektrik enerjisinde dışa bağımlılığı azaltmak enerji politikalarında birinci hedef olmuş ve Elektrik Enerji Piyasası ve Arz Güvenliği Stratejisi Belgesindeki hedeflere göre 2023 yılına kadar yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam enerji üretiminin %30'unu gerçekleştirmesi planlanmıştır (ETKB, 2009).

Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planında 2023 yılında; kümülatif PV kapasitesinin 5.000 MW'a, üretiminin 7.500 GWh'a ulaşacağı belirtilmektedir. Bunun haricinde herhangi bir resmi politika dokümanında güneş enerjisi kurulu gücü hedefine yer verilmemektedir. Resmi Hedef Senaryosunda, 2017 yılında beklenen 2.000 MW'lık PV kurulu gücün 2023 yılında 5.000 MW'a ulaşması için PV kurulu gücüne her yıl ilâve edilmesi gereken miktar hesaplanmakta ve belirlenen yıllık kurulu güç artış miktarının 2030 yılına kadar devam edeceği varsayılmaktadır. Resmi hedef senaryosunda, 2030 yılında PV kümülatif kurulu gücünün 8.500 MW, üretimin 12,7 TWh seviyesinde gerçekleşeceği öngörülmektedir. Eylül 2017'de, Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB), planda revize yaparak önümüzdeki 10 yıl için yeni kurulu güç hedefinin 10.000 MW olacağını duyurdu. Bu gücün 4.000 MW'ının bina üstü çatı uygulamalarına geri kalan 6.000 MW'ının ise ticari uygulamalara bölündüğünü açıkladı (ETKB, 2014).

Kapasite tahmini yapan sektör uzmanları, 2030 yılında toplam elektrik talebinin yaklaşık yüzde 3'ünün güneş enerjisinden karşılanacağını öngörmektedir. Muhtemel senaryoda ETKB'nin elektrik talep projeksiyonu verilerinden faydalanılarak 2030 yılında PV kümülatif kurulu gücünün; yüksek talep senaryosunda 12.822 MW'a, referans talep senaryosunda 11.613 MW'a, düşük talep senaryosunda 10.290 MW'a ulaşacağı tahmin edilmektedir (Cebeci, 2017).

İyimser senaryoda, PV elektrik üretim maliyetlerinin gelecek yıllarda düşmeye devam edeceği, PV santrallerin düşük kapasite faktörünü telafi edecek bir yatırım maliyetine ulaşacağı, Türkiye'de zemine monte edilen alanlar haricinde çatı tipi PV sistemlerin yaygınlaşacağı, kendi elektriğini üreten nihai elektrik tüketicilerinin artacağı ve iletim kapasite kısıtının olmayacağı varsayımları altında güneş enerjisinden elektrik üretim miktarının 2030 yılında ulaşabileceği azami seviye belirlenmiştir. Söz konusu senaryoda 2030 yılında Türkiye'de toplam elektrik talebinin yüzde 5'inin güneş enerjisinden karşılanacağı varsayılmıştır. İyimser senaryoda 2030 yılında PV kümülatif

kurulu gücünün; yüksek talep senaryosunda 21.369 MW'a, referans talep senaryosunda 19.356 MW'a, düşük talep senaryosunda 17.150 MW'a ulaşacağı tahmin edilmektedir.

Resmi hedef, muhtemel ve iyimser senaryo sonuçlarına göre 2030 yılında güneş enerjisi kurulu gücünün 8.500 MW ilâ 21.369 MW aralığında (PV üretim miktarı 12,7 TWh ila 32,0 TWh arası) değişeceği tahmin edilmektedir (Cebeci, 2017).

Ayrıca Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanlar (YEKA) ihalesi 2017 yılında sona erdi ve ihale edilen santrallerin 2019 yılında devreye girebileceği planlandı. YEKA'lar 5346 sayılı Kanun'da yayımlanan ayrı bir yönetmelikle tanımlanmaktadır. YEKA, özel veya devlete ait arazilerde büyük ölçekli yenilenebilir enerji projeleri için uygulanabilir alanları belirlemektedir. Karapınar YEKA ihalesi Mart 2017'de yapılmış ve ihaleyi kazanan konsorsiyumun yatırım yapması beklenmektedir.

1.3. Konya ve Karaman İllerinde Güneş Enerjisi Yatırımları

Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlasından (GEPA) görüldüğü üzere, Konya ve Karaman, güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde edilebilecek Türkiye'nin en uygun bölgelerindedir. Konya ve Karaman bölgesi, güneş radyasyonu ve güneşlenme süresi, güneşin doğuş ve batışını engelleyen bir dağ olmaması, yağış miktarının az oluşu (özellikle kar yağışı), arazinin toprak ve bitki örtüsü yapısı sebebi ile rüzgar ve fırtına esnasında tozlanma olmaması, sıcaklık ortalamasının düşük olması, nem miktarının az oluşu, eğimin az olması, gibi sebeplerden dolayı, Türkiye'de güneş enerjisinden elektrik elde etmek için en uygun bölgesi haline gelmektedir. Karaman, Türkiye'nin en yüksek Güneş Radyasyon Değeri (GRD) ile GES kurulabilir en uygun ilidir (Çizelge 1.1).

Çizelge 1.1. Bazı İllerin Güneş Radyasyon Değerleri, (GEPA, 2019)

İL	Güneşlenme Süresi (saat-yıl)	Radyasyon Değeri (KWh/m ² -yıl)
Antalya	3.011	1.646
Gaziantep	2.978	1.582
Karaman	3.011	1.667
Konya	2.898	1.608
Van	3.007	1.652

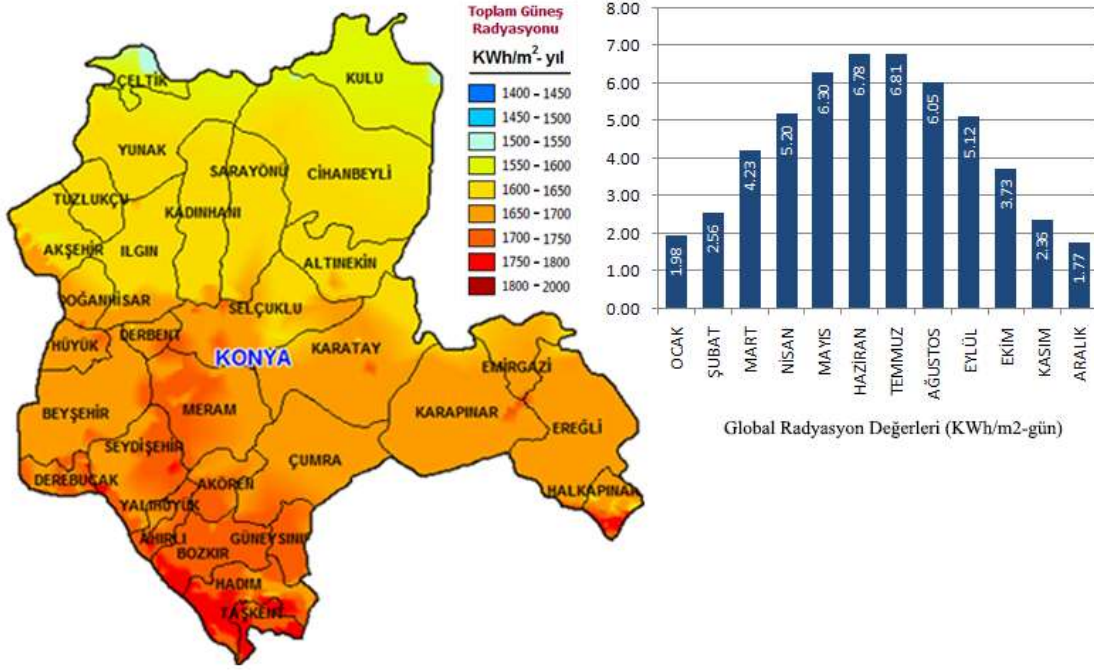
Çizelge 1.2'de yer alan Konya ve Karaman iline ait güneş radyasyon değerlerine göre Türkiye ortalaması olan 4,18 kWh/m²-gün değeri, Konya için 4,41 kWh/m²-gün Karaman için ise 4,55 kWh/m²-gündür. Ayrıca Konya ve Karaman illeri güneşlenme

sürelerinde de Türkiye ortalaması olan yıllık 2.741 saatin çok üzerinde ve yıllık sırasıyla 2.896 ve 3.011 saattir. Ayrıca Konya ve Karaman illerinde lisanslı üretim yapmak amacıyla ölçüm istasyonu kurup iki yılı aşkın süredir ölçüm yapan firmaların ölçüm verileri, bu değerlerin daha da yüksek olduğunu göstermektedir (GEPA, 2019).

Çizelge 1.2. Güneş Enerjisi Değerleri, (GEPA, 2019)

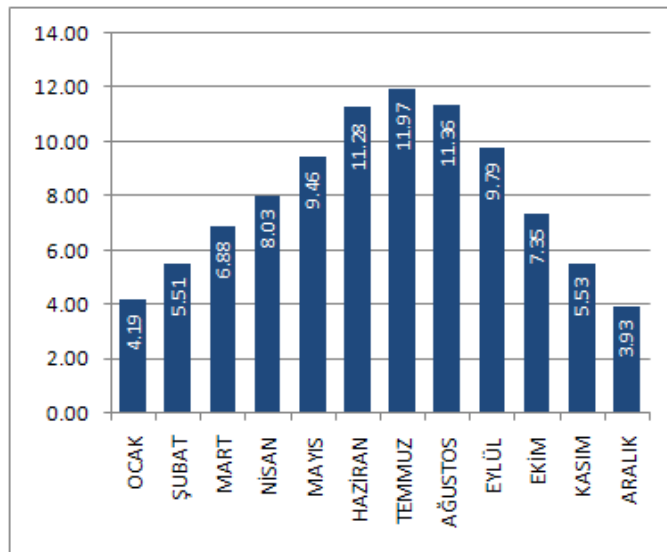
Aylar	Radasyon Değeri (kWh/m ² -gün)				Güneşlenme Saati (Saat)			
	Türkiye	Konya	Karaman	Karapınar	Türkiye	Konya	Karaman	Karapınar
Ocak	1,79	1,98	2,16	2,06	4,11	4,19	4,46	4,18
Şubat	2,5	2,56	2,69	2,59	5,22	5,51	5,85	5,65
Mart	3,87	4,23	4,38	4,33	6,27	6,68	7,14	6,91
Nisan	4,93	5,2	5,35	5,25	7,46	8,03	8,44	8,25
Mayıs	6,14	6,3	6,45	6,31	9,1	9,46	9,84	9,58
Haziran	6,57	6,78	6,98	6,85	10,81	11,28	11,51	11,53
Temmuz	6,5	6,81	6,91	6,8	11,31	11,97	12,02	12,22
Ağustos	5,81	6,05	6,15	6,07	10,7	11,35	11,47	11,6
Eylül	4,81	5,12	5,22	5,2	9,23	9,79	10,11	10,05
Ekim	3,46	3,73	3,86	3,8	6,87	7,35	7,77	7,6
Kasım	2,14	2,35	2,52	2,46	5,15	5,53	5,95	5,74
Aralık	1,59	1,77	1,91	1,81	3,75	3,93	4,31	3,98
Ortalama	4,18	4,41	4,55	4,46	2.741,07	2.896,01	3.011,41	2.963,47

Konya, 41.000 km² yüzey alanıyla Türkiye'nin yüzölçümü olarak en büyük ilidir. Dünya üzerinde 37° 52' kuzey – 37° 30' doğu boylamlarında bulunmaktadır. GEPA'ya göre Konya'nın, yıllık toplam gelen güneş enerjisi miktarının 1608 kWh/m²-yıl ve yıllık toplam güneşlenme süresinin 2896 saat olduğu tespit edilmiştir (Şekil 1.12). Günlük olarak baktığımızda bu rakamlar 4,41 kWh/m²'lik güneş enerjisi gücüne ve 8 saatlik güneşlenme süresine denk gelmektedir. Bu da Konya'da, yılın 121 tam gününün güneşli geçmesi ile eşit olmaktadır (GEPA, 2019).



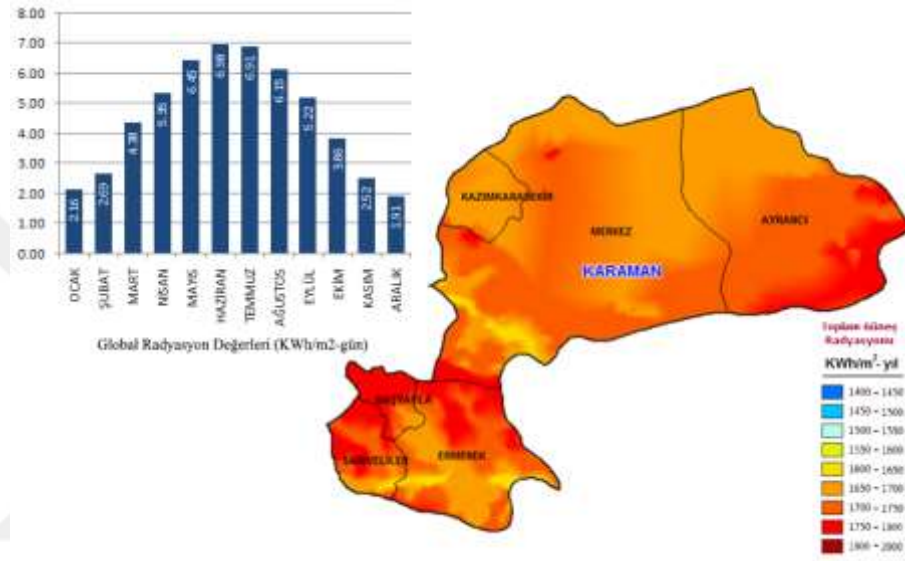
Şekil 1.12. Konya Güneş Radyasyon Haritası
Kaynak: (GEPA, 2019)

Şekil 1.12'deki haritadan da görüldüğü üzere Konya ilinin güneş radyasyon değerleri kuzeyden güneye doğru artmaktadır. Hadim ve Taşkent en güneyde olan ilçeler olmasına rağmen coğrafi yapıları nedeniyle GES yatırımcıları tarafından pek tercih edilmemiştir. Konya ilinin güneşlenme süreleri incelendiğinde en fazla güneş enerjisinin Temmuz, en az güneş enerjisinin ise Aralık ayında üretilebileceği görülmektedir (Şekil 1.13).



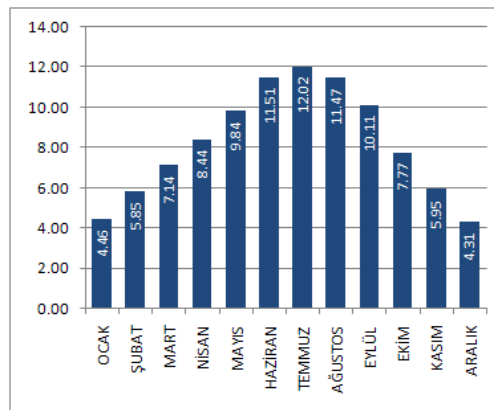
Şekil 1.13. Konya İli Güneşlenme Süreleri
Kaynak: (GEPA, 2019)

Karaman, 9.163 km² yüzey alanıyla Türkiye'nin yüzölçümü sıralamasında otuz beşinci sıradadır. Dünya üzerinde 37° 11' kuzey – 33° 14' doğu boylamlarında bulunmaktadır. GEPA'ya göre Karaman'ın, yıllık toplam gelen güneş enerjisi miktarının 1.667 kWh/m²-yıl ve yıllık toplam güneşlenme süresinin 3011 saat olduğu tespit edilmiştir (Şekil 1.14). Günlük olarak baktığımızda bu rakamlar 4,55 kWh/m²'lik güneş enerjisi gücüne ve 8,25 saatlik güneşlenme süresine denk gelmektedir. Bu da Karamanda, yılın 125,5 tam gününün güneşli geçmesi ile eşit olmaktadır (GEPA, 2019).



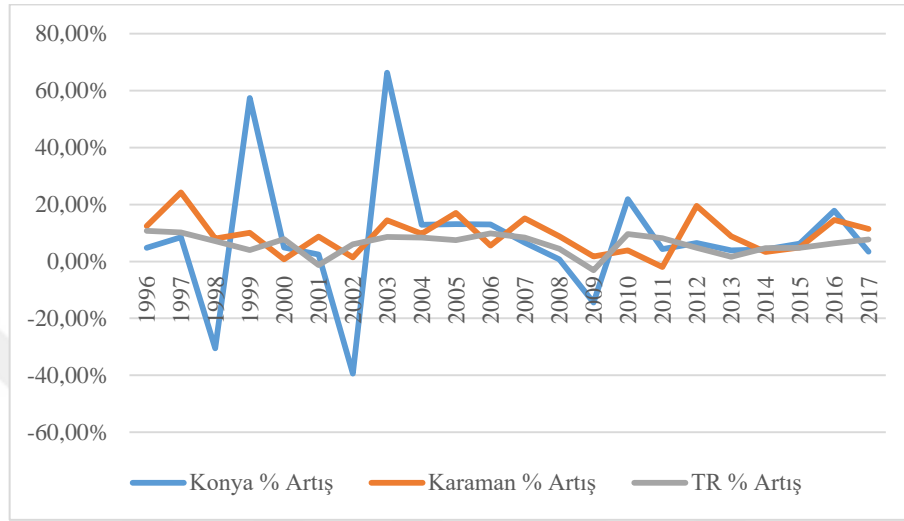
Şekil 1.14. Karaman Güneş Radyasyon Haritası
Kaynak: (GEPA, 2019)

Karaman ilinin güneşlenme süreleri incelendiğinde en fazla güneş enerjisinin Temmuz, en az güneş enerjisinin ise Ocak ayında üretilebileceği görülmektedir (Şekil 1.15).



Şekil 1.15. Karaman İli Güneşlenme Süreleri
Kaynak: (GEPA, 2019)

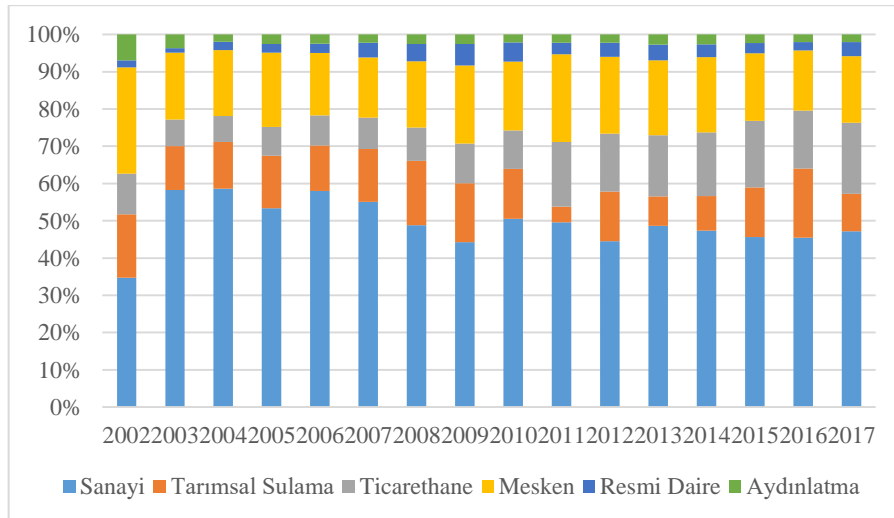
Konya ve Karaman illerinde yıllık elektrik tüketimindeki artış oranı ülkemizdeki yıllık elektrik tüketimi oranından fazladır. 1996-2017 yılları arasında Konya ilinde her yıl bir önceki yıla göre %7,95 oranında daha fazla elektrik tüketilirken bu oran Karaman ilinde %9,20 olmuştur (Şekil 1.16). Ülkemizde ise her yıl bir önceki yıla göre %6,20 daha fazla elektrik tüketilmiştir (TÜİK, 2019).



Şekil 1.16. Elektrik Tüketimindeki Yıllık Artış Oranları

Kaynak: (TÜİK, 2019)

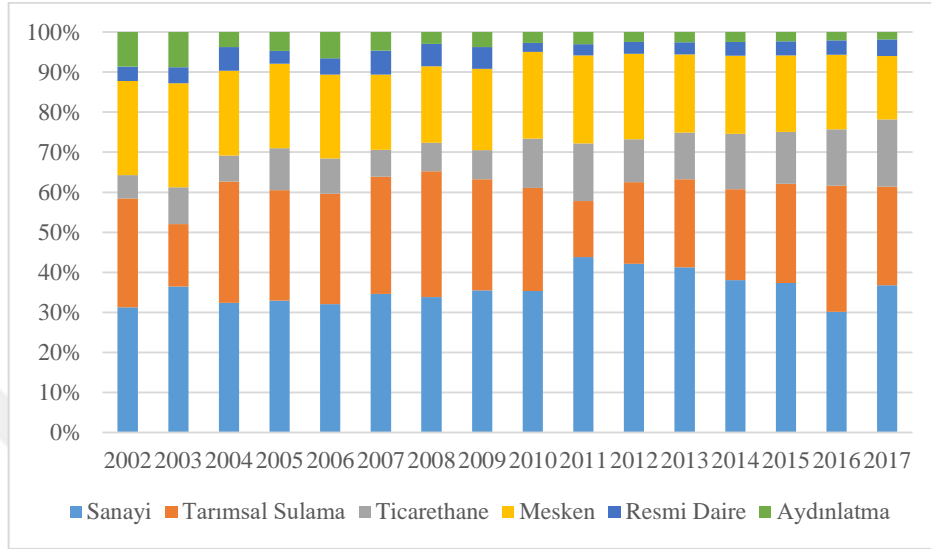
Konya ilinde en fazla elektrik enerjisini ortalama %46,58 oranla sanayi tüketmektedir. Elektrik enerjisinin tüketiminde ikinci sırayı %18,18 oranla meskenler almıştır (Şekil 1.17). Meskenleri ise %12,16 oranla tarımsal sulama, tarımsal sulamayı da %11,55 oranla ticarethaneler takip etmektedir (TÜİK, 2019).



Şekil 1.17. Konya'nın Elektrik Tüketimindeki Kullanım Yerleri

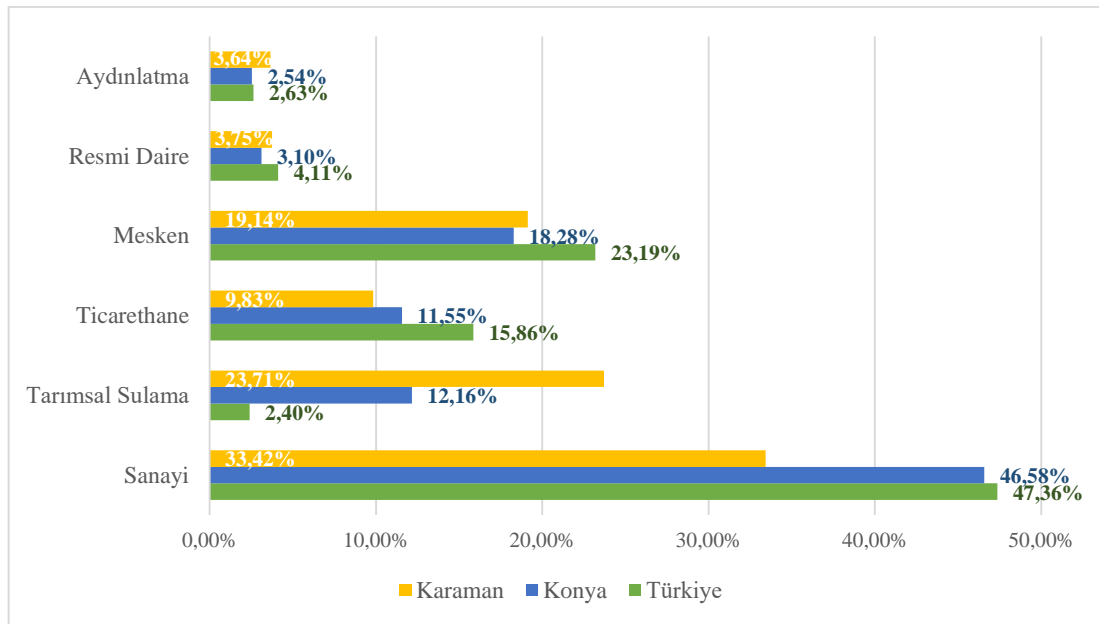
Kaynak: (TÜİK, 2019)

Karaman ilinde de en fazla elektrik enerjisini ortalama %33,42 oranla sanayi tüketmektedir. Tarımsal sulamada tüketilen elektrik, %23,71'lik oranla sanayiden sonra tüketilen en fazla alan olmuştur (Şekil 1.18). Tarımsal sulamayı %19,14 oranla meskenler, meskenleri ise %9,83 oranla ticarethaneler takip etmektedir (TÜİK, 2019).



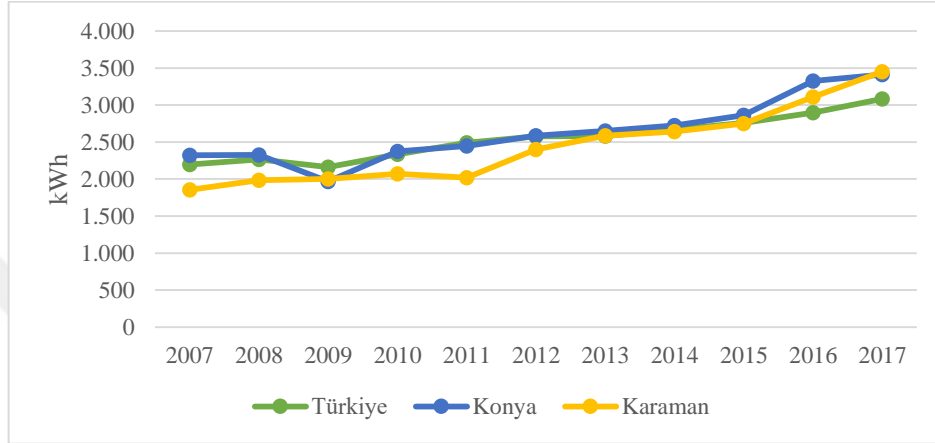
Şekil 1.18. Karaman'ın Elektrik Tüketimindeki Kullanım Yerleri
Kaynak: (TÜİK, 2019)

Türkiye'de elektrik enerjisinin kullanım yerleri ile Konya ve Karaman illerinin kullanım yerleri karşılaştırıldığında, Konya'daki elektrik tüketimindeki kullanım yerlerinin Türkiye ile benzerlik gösterdiği görülmektedir (Şekil 1.19).



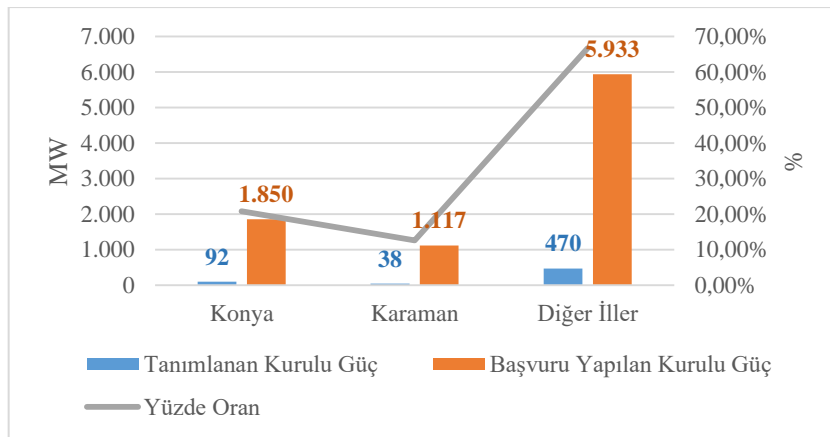
Şekil 1.19. Elektrik Tüketimindeki Kullanım Yerlerinin Karşılaştırılması
Kaynak: (TÜİK, 2019)

Ayrıca bir gelişmişlik göstergesi olan kişi başına kullanılan elektrik enerjisinin yıllara göre seyri incelendiğinde, Konya ve Karaman illerinin Türkiye ortalamasının üstünde seyrettiği görülmektedir. Karaman ilinin 2015 yılından sonra Konya'ya yaklaştığı ve Türkiye ortalamasının üstüne çıktığı görülmektedir (Şekil 1.20). 2017 yılında Konya ve Karaman ilinde kişi başına elektrik tüketimi 3.410 kWh iken Türkiye ortalaması 3.082 kWh olmuştur (TÜİK, 2019).



Şekil 1.20. Kişi Başına Toplam Elektrik Tüketimi
Kaynak: (TÜİK, 2019).

Konya ve Karaman illeri GES yatırımlarının yapılabileceği uygun özelliklere sahip olması, yatırımların bu bölgede yoğunlaşmasını sağlamıştır (Şekil 1.21). 2013 yılında yayımlanan “Rüzgâr Ve Güneş Enerjisine Dayalı Üretim Tesisi Kurmak Üzere Yapılan Önlisans Başvurularına İlişkin Yarışma Yönetmeliği” kapsamında 2015 yılında yapılan 600 MW kurulu güçteki GES Lisans yarışmasında 130 MW Konya ve Karaman illeri için ayrılmıştır (EPDK, 2019a).



Şekil 1.21. Konya ve Karaman İllerinde Lisanslı GES Başvuruları
Kaynak: (EPDK, 2019a)

Türkiye’de 600 MW’lık Lisanslı güneş enerjisi üretimi için EPDK’ya 15 katı olan yaklaşık 8.900 MW’lık başvuru yapılırken, Konya ve Karaman illeri için belirlenen 130 MW’lık kurulu güç için 2.967 MW büyüklüğünde ve kotanın yaklaşık 23 katı başvuru yapılmıştır (Çizelge 1.3). Yapılan ihale sonucu firmalar 130 MW Lisans için yaklaşık 280 Milyon TL ödemeyi taahhüt etmişlerdir. Yapılan başvurulara göre Konya-Karaman illeri için yapılan başvurular toplam başvuruların %33,34’ünü kapsamaktadır (Çizelge 1.4).

Çizelge 1.3. Konya-Karaman GES Lisans İhale Yarışması Sonuçları, (Sonuçları, 2019)

İli	Bölge Kapasitesi	Teklif Edilen Fiyat (Mw/TL)	Tahsis Edilen Kapasite	Toplam Lisans Bedeli (TL)
Karaman	38 MW	2.711.000	4,88	13.218.836
		2.555.000	33,12	84.631.820
Konya - 1	46 MW	2.510.000	5,0	12.550.000
		2.153.000	9,9	21.314.700
		1.756.055	18,0	31.608.990
Konya - 2	46 MW	1.602.000	13,1	20.986.200
		2.510.000	6,0	15.060.000
		2.053.000	10,0	20.530.000
		2.053.000	10	20.530.000
		2.026.127	9,8	19.856.045
		1.914.000	8	15.312.000
		1.713.000	2,2	3.768.600
TOPLAM	130 MW		130 MW	279.367.191

Çizelge 1.4. Konya ve Karaman İllerinde Bulunan Lisanslı Tesislerde Son Durum, (EPDK, 2019a)

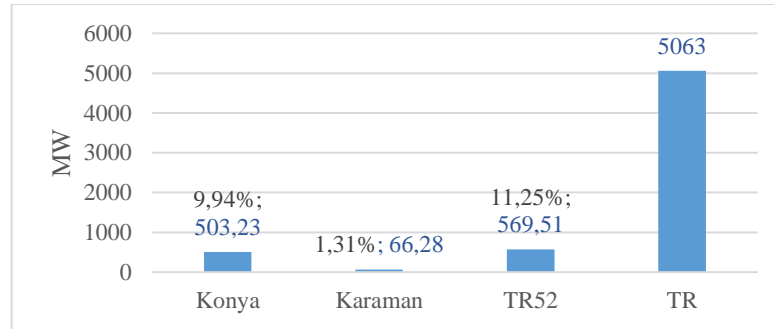
S.	Tesis Adı	Şehir	D.	Güç (MW)
1	Teksin Enerji GES	Karaman	Değerlendirme Aşamasında	33,12
2	Alibeyhüyüğü GES	Konya	Yatırım Aşamasında	18
3	Konya Apa GES	Konya	Yatırım Aşamasında	13,1
4	Yaysun GES	Konya	İşletmede	9,98
5	MT GES	Konya	İşletmede	9,98
6	ME-SE GES	Konya	İşletmede	9,9
7	Afta GES	Konya	Yatırım Aşamasında	9,8
8	Gitaş 1 GES	Konya	Yatırım Aşamasında	8
9	Işıklar GES	Konya	Yatırım Aşamasında	6
10	Alibey GES	Konya	Değerlendirme Aşamasında	5
11	Mümine Hatun GES	Karaman	Ön Lisansı Sonlandırıldı	4,88

Konya ilinde lisans yarışmasını kazanıp ön lisans sürecini tamamlayan Yaysun, MT ve ME-SE GES toplamda 29,86 MW kurulu güçle enerji üretimine başlamıştır.

Konya ilinde 600 MW kurulu güçteki lisans yarışmasından farklı olarak YEKA lisansı da bulunmaktadır. YEKA, 9.10.2016 tarihinde 29852 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları Yönetmeliği ile kamu ve hazine taşınmazları ile özel mülkiyete konu taşınmazlarda büyük ölçekli YEKA oluşturularak yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılması, bu alanların yatırımcılara tahsisıyla yatırımların hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik enerjisi üretim tesislerinde kullanılan ileri teknoloji içeren aksamın yurt içinde üretilmesi ya da yurt içinden temin edilmesinin sağlanması, teknoloji transferinin teminine katkı sağlanması amacıyla yatırımcılara tahsis edilen alanlardır.

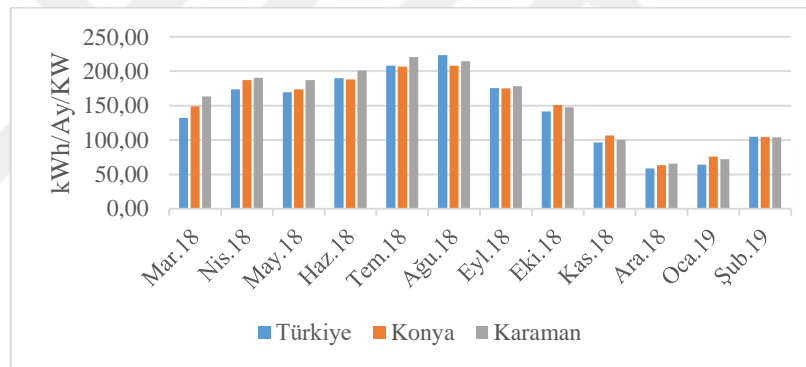
Bu kapsamda ilki Konya Karapınar ilçesinde yer alan YEKA için 1.000 MW lisans öngörülmüş, lisans yarışması 20.03.2017 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Türkiye'nin en büyük güneş enerjisi santralının kurulacağı Karapınar YEKA ihalesine 4 ortak girişim grubu katılmıştır. İhalede kWh başına en düşük teklif 6,99 dolar/cent ile Türk ve Güney Koreli şirketlerin yaptığı konsorsiyum vererek lisans yarışmasını kazanmıştır. İhale sonrasında yapılacak proje kapsamında, Türkiye'de yılda minimum 500 MW PV modül üretim kapasitesine sahip fabrika kurulumu gerçekleştirilecek ve 10 yıl boyunca da Ar-Ge yapmak şartıyla Karapınar YEKA'da 1.000 MW bağlantı kapasitesi tahsisi yapılacaktır (YEKA, 2017).

Diğer taraftan Konya ve Karaman illeri Lisanssız Güneş Enerjisi başvurularında da ülkemizde en fazla rağbet edilen illerinden olmuştur. Konya ilinde Şubat ayı itibarıyla 503,23 MW, Karaman ilinde ise 66,28 MW kurulu gücünde aktif olarak şebekede olan GES mevcuttur (Şekil 1.22). İki ilimizdeki enerji üreten GES'lerin toplam mevcut kurulu güce oranı %11,25'dir. Ayrıca bu iki ilimizde GES'ler ile üretilen enerji tüm ülkede GES'ler ile üretilen enerjinin %13,21'idir (EPDK, 2019b).



Şekil 1.22. Lisanssız GES'lerde Konya ve Karaman İllerinin Durumu
Kaynak: (EPDK, 2019b)

Konya ve Karaman'da işletmede olan Lisanssız GES'lerde bir yılda 1.008.255 MWh/yıl elektrik enerjisi üretilip satılmıştır. Konya'daki GES'lerde ortalama her KW için yıllık 1.787 kWh/yıl/kW enerji üretilmiştir (Şekil 1.23). Bu rakam Karaman için 1.845 kWh/yıl/kW olmuştur. Türkiye'de ise ortalama her 1 kW GES ile yılda 1.737 kWh/yıl/kW olmuştur (EPDK, 2019b).



Şekil 1.23. GES'lerde Üretilen Enerjinin Aylık Dağılımı
Kaynak: (EPDK, 2019b)

Bu çalışmada, Konya ve Karaman illerinde üretim yapan Güneş Enerjisi Santral Tesislerinin gerçek tasarım modelleri ve üretim verileri, piyasada kullanılan simülasyon programları ile karşılaştırılarak yazılımların bölgemizde ve ülkemizdeki performansı değerlendirilmiştir. Güneş Enerjisi Santralleri yatırımlarının fizibilite ve proje finansmanı aşamalarında yoğunlukla kullanılan PVSyst, PVSOL ve PVGIS simülasyon programlarının simülasyon değerleri ile Konya ve Karaman illerinde 250 kW ile 1 MW arasında değişen kurulu güçlere sahip arazi tipli 3 Güneş Enerjisi Santralinin ölçülen değerleri kıyaslanmıştır. Tesislerin gerçek tasarımları simülasyon programlarında benzetim yapılarak IEC 61724 numaralı Güneş Enerjisi Santrallerinin Performans Analizi hesaplamalarında kullanılan parametreler kapsamında karşılaştırma yapılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Birinci bölümde değinildiği üzere son on yıllık periyotta GES yatırımları maliyetlerin azalması ile de birlikte artarak devam etmektedir. GES yatırımcıları, yatırım öncesi yapacakları yatırımın ne kadar enerji üreteceğini ve yatırımlarının ne kadar sürede geri ödeneceğini simülasyon yazılımları ile hesaplamaktadırlar. Bu hesaplar ve enerji üretim tahminleri banka ve diğer finans kurumları için önemli bir referans özelliği taşımaktadır. Bu nedenle yapılan simülasyonların gerçeği ne kadar yansıttığı hep merak edilmiş ve birçok akademik makale, tez ve raporda araştırılmıştır. Bu tezde Konya ve Karaman illerindeki GES tesisleri için literatürdeki eksikliğin giderilmesi amaçlanmıştır.

Clavadetscher ve Nordmann, İsviçrede 100 kW büyüklüğündeki N13 güneş enerjisi santralının 1990 ve 1991 yıllarındaki üretim değerleri ile Metenorm yazılımının meteorolojik verileri ve modeli ile hesaplanan üretim değerleri ile kıyasladılar. Yapılan karşılaştırmalarda; 1990 yılında gerçek değerlerin tahmin edilen değerlerden %6 daha az olduğu, 1991 yılında gerçek değerlerin tahmin edilen değerlerden ise %8 daha fazla olduğu tespit edildi (Clavadetscher & Nordmann, 1993).

Cardona ve Lopez, Malaga Üniversitesi yerleşkesinde bulunan 2 kW büyüklüğündeki sistem için 1997 yılı boyunca performans testleri yaptılar. Üreticiler tarafından öngörülen veriler ile yapılan matematiksel hesaplamalarla bir yıl boyunca gerçek üretim değerlerini kıyasladıklarında; panellerin güç değerlerinin üreticiler tarafından verilen değerlerden %9,4 daha az olduğunu tespit ettiler. Ayrıca üreticilerin öngördüğü değerler ile yapılan kWh/kWp değerinin gerçekte %4,4 daha az olduğunu da deneysel olarak buldular (Sidrach-de-Cardona & Lopez, 1999).

Hove, fotovoltaik sistemlerin tasarımı için uzun vadeli sistem performansı tahmini yapabilen TRNSYS simülasyon programının kullandığı tahmin modelleri ile kendi geliştirdiği basitleştirilmiş hesaplamalara dayalı modeli kıyasladı. Siegel ve Klein tarafından (Siegel ve Klein, 1981) geliştirilen ve TRNSYS yazılımının kullandığı model ile çalışmada geliştirilen model, dizinin aylık ortalama elektrik üretimi, sistemin akülü/aküsüz durumlarda kayıpları, PV sistemin aylık ortalama ürettiği elektrik enerjisi parametreleri kapsamında kıyaslandı. Yapılan kıyaslamalarda diziler 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 edildi (Hove, 2000).

2000 yılında Eke, PVSYST 3.02 paket programı kullanarak Didim’de kurulu olan 3,8kWp gücündeki şebekeye bağlı PV güç sistemi örnek olarak ele alınıp optimum performans için yapılan simülasyon verileri ile gerçek verileri karşılaştırmıştır. Hesaplanan değerler ile 3,8kWp gücündeki PV sistemin, sabit eğim açısı için optimum hale getirildiğinde yıllık %1,25 ve sezonluk eğim açısı uygulaması gerçekleştirildiğinde %6,7 oranında daha fazla elektrik enerjisi elde edilebileceği gösterilmiştir. 3,8kWp gücündeki şebeke bağlantılı PV güç sisteminden elde edilen deneyimleri kullanarak Muğla Üniversitesi Merkez Kütüphanesi çatısında 54 kWp gücündeki şebeke bağlantılı daha büyük bir PV sistemin tasarımı ve optimum verimlilik çalışmalarını yapmıştır (Eke, 2000).

Sukamongkol ve arkadaşları, fotovoltaik sistemi oluşturan panel, evirici, akü ve yük bileşenlerinin matematiksel performans modellemesini yaparak her bileşen için performans katsayısı elde ettiler. 600 W gücünde sekiz panelin, iki adet 12 V, 200 Ah akünün, kontrol ünitesi ve eviricinin ve farklı güçlerdeki yüklerin oluşturduğu sistem, gerçek koşullarda test edilerek performans değerleri ile geliştirilen model sonuçlarıyla karşılaştırıldı. Yapılan karşılaştırmalarda en büyük farkın güneşli havalarda çıktığı gözlemlendi. Geliştirilen model ile kapalı havalarda %1 oranında doğru tahmin sonuçlarına ulaşılırken, açık ve güneşli havalarda modelin tahmin oranı, %14,5'lere kadar düştü (Sukamongkol, Chungpaibulpatana, & Ongsakul, 2002).

Pietruszko ve Gradzki, 2000 yılı boyunca 1 kW şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemin performans değerlerini IEC 61724 standartlarına göre izlediler. Pietruszko ve Gradzki, bir yıl sonunda sistemin 830 kWh enerji ürettiğini, tahmin edilen ve simüle edilen verilerin üstünde enerji üretildiğini, performans katsayısının 0,8'lere kadar çıktığını ve sistem verimliliğinin %4-5 seviyelerinde olduğunu gözlemlediler (Pietruszko & Gradzki, 2003).

Ahmad ve arkadaşlarının 2002 yılında yaptıkları çalışmada, TRNSYS (<http://www.trnsys.com>) simülasyon programında FORTRAN üzerinde geliştirilen matematiksel tahmin yöntemini kullanarak altı adet 50 W gücündeki mono kristal panelin gerçek test sonuçlarını karşılaştırdılar. Deney düzeneğinde kullanılan paneller, gerçek hava koşullarında ilk üçü yatay diğerleri de sırasıyla 30, 60 ve 90 derecelerde olacak şekilde performansları ölçüldü. Ayrıca deneylerde farklı sıcaklık ve rüzgar hızları da gözlemlendi. Yapılan kıyaslamalarda, tahmin modelinin deney sonuçlarına yakın olduğu görüldü. Yapılan simülasyonlarda, yüzey sıcaklıklarının %2,02 hata payıyla, kısa devre akımlarının %2,67 hata payıyla ve açık devre voltajının da %1,43 hata payıyla tahmin

edildiği görüldü. Simülasyonun, maksimum güç tahmininde %4,38 oranında hata verdiği tespit edildi (Ahmad, Hussein, & El-Ghetany, 2003).

Hussein ve arkadaşları, 2003 yılında yaptıkları çalışmada, mono-kristal fotovoltaik panelin farklı açılarda ve ortamlarda enerji üretimi teorik olarak incelendi. Çalışmada, TRNSYS simülasyon programında FORTRAN üzerinde geliştirilen matematiksel tahmin yöntemi ile daha önce yazarlar tarafından Kahire için yapılan deneysel çalışmaların verileri kıyaslandı. Yapılan çalışmalar sonucunda, Kahire için enerji üretim değerlerini en fazla etkileyen faktörün yatay eğim açısının olduğu, bu bölge için en uygun açının yatayda güney 20-30 dereceler olduğu, yatayda bulunan panellerin yıllık güneş enerjisinin %95'ini absorbe edebildiği, buna karşın dikey yerleştirilen panellerin yıllık güneş enerjisinin sadece %41'ini absorbe edebildiği tespit edildi (Hussein, Ahmad, & El-Ghetany, 2004).

Davis ve arkadaşları, 2003 yılında yaptıkları çalışmada, Sandia Ulusal Laboratuvarının (SNL) geliştirdiği I-V Eğrisi İzleyici Modelinin çalıştığı yazılımla yapılan tahminler ve TRNSYS simülasyon programında FORTRAN üzerinde Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST) tarafından geliştirilen matematiksel yöntem ile yapılan tahminler, enstitü tarafından oluşturulan Fotovoltaik Entegreli Bina deney seti ile ölçülen değerler ile kıyaslanmıştır. Çalışmada, teknolojileri polikristal, monokristal, amorf ve ince film olan sekiz panelin yarısı arka yüzeyi yalıtılmış yarısı da yalıtılmamış şekilde bir yıl boyunca üretim değerleri gözlemlendi. Gözlemlenen değerler, SNL modeli tahminleri ve SNL/NIST modeli tahminleri ile kıyaslandı. Sonuç olarak, SNL modelinin daha doğru tahminler sunduğu, yalıtımlı paneller için en fazla %5,4 hata payının olduğu, yalıtımsız paneller için en fazla %6,2 hata payının olduğu gözlemlendi. SNL/NIST modelinin ise panel yüzey sıcaklıklarını daha doğru tahmin ettiği tespit edildi (Davis, Fanney, & Dougherty, 2003).

Labad ve Lorenzo yaptığı çalışmada, farklı meteorolojik veri tabanlarının enerji üretim tahminlerine etkisini inceledi. Yirmi iki farklı noktadan alınan meteorolojik veriler ile CENSOLAR (Centro de Estudios de la Energía Solar), Meteororm (<http://www.meteororm.com>), ve NASA (<https://eosweb.larc.nasa.gov/sse>) kaynaklarından alınan meteorolojik verileri kıyasladı. Yapılan incelemelerde NASA, Meteororm ve Censolar tarafından elde edilen tahmin verilerinin gerçek verilerle %10 farklı olabildiğini ve bu durumun enerji üretim tahminlerinde yanlışlara sebep olabileceğini tespit etti (Labad & Lorenzo, 2004).

Jahn ve arkadaşları, 2004 yılında Uluslararası Enerji Ajansı tarafından Fotovoltaik Sektörün güçlendirilmesi amacıyla uyguladığı Fotovoltaik Güç Sistemleri Programı (PVPS) kapsamında Almanya'da 235, diğer Avrupa ülkelerinde 133 kurulu güneş enerjisi sistemi üzerinde performans değerlendirmesi yapmıştır. Söz konusu çalışmada, PVSOL simülasyon programı ile değerlendirme yapılan santraller simüle edilerek gerçek verilerle karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmada gerçek durumda yıllık 820 kWh/kWp enerji üretimi olurken simüle edilen durumda yıllık 793 kWh/kWp enerji üretimi sonucu elde edildiği, gerçekte yıllık performans oranının %76,5 olmasına karşın simülasyonda %73,6 bulunduğu tespit edilmiştir. Gerçek verilerle simüle edilen veriler arasında %3-4 arasında sapma olduğu tespit edilmiştir (Jahn & Nasse, 2004).

Perez ve arkadaşları, ABD'de temiz enerji ticareti ve yenilenebilir enerji teknolojileri üretimi yapan SMUD (www.smud.org) şirketinin geliştirdiği internet tabanlı yenilenebilir enerji üretim tahmini yapan CPE (Clean Power Estimator) programının (<http://smud.cleanpowerestimator.com/smud.htm>) tahmin verilerini, altı farklı bölge için SNL tarafından geliştirilen simülasyon programı olan PVFORM (www.sandia.gov) tahminleriyle kıyasladılar. Çalışmada, Albuquerque, Albany, Austin, Miami, Phoenix ve Seattle için güney, güneydoğu, doğu, 45 derece güney, 30 derece güneybatı gibi ihtimaller için tahmin kıyaslamaları yapıldı. Sonuç olarak, internet tabanlı CPE tahmin programının güneydoğu ile 30 derece güneybatı tahminlerinin PVFORM ile çok yakın benzerlikler içerdiği tespit edildi (Perez, Reed, & Hoff, 2004).

Sözen ve arkadaşları, Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelini tahmin etmek için geliştirdikleri yapay sinir ağları modeli ile buldukları tahminleri, 17 farklı istasyonda (Ankara, Samsun, Edirne, İstanbul, Van, İzmir, Denizli, Şanlıurfa, Mersin, Adana, Gaziantep, Aydın, Bursa, Diyarbakır, Yozgat, Antalya ve Muğla) kurdukları ölçüm istasyonlarından alınan gerçek veriler ile kıyasladılar. İstasyonlardan 11 adeti çalışma, 6 adeti test istasyonu olarak kullanıldı. Meteorolojik ve coğrafik veriler (enlem, boylam, rakım, ay, ortalama güneşlenme saati ve ortalama sıcaklık) geliştirilen yapay sinir ağları modelinin giriş kısmını oluşturdu. Güneş radyasyon verisi ise modelin çıkışını oluşturdu. Test istasyonları ile model arasında en fazla %6,735 fark bulunurken, çalışma istasyonlarında en büyük fark %4,398 olarak bulundu. Geliştirilen yapay sinir ağları modelinin ülkemizdeki güneş enerjisi potansiyeli tahminlerinde başarılı sonuçlar ortaya koyduğu tespit edildi (Sözen, Arcaklioğlu, & Özalp, 2004).

Mondol ve arkadaşları, binaya entegre fotovoltaik bir sistemin elektriksel ve termal davranış tahminlerini TRNSYS yazılımı ile simüle ettiler. Modül sıcaklığını

tahmin etmek için, modül ile ortam arasındaki sıcaklık farkını güneşlenmeye bağlayan doğrusal bir korelasyon denklemi geliştirdiler. Eğik yüzey radyasyon modelinin farklı kombinasyonları, global difüzyon korelasyon modeli ve tahmin edilen modül sıcaklığı, en az hata veren en iyi kombinasyonu belirlemek üzere gerçek verilerle karşılaştırıldı. Sonuçlar, küresel difüzyon korelasyon modeli ve modül sıcaklık tahmininin gerçek verilerle güncellenmesinin simülasyon modelinin genel doğruluğunu geliştirdiğini gösterdi. Ölçülen ve tahmin edilen PV çıkışı arasındaki aylık hata % 16'nın altındaydı. Simülasyon dönemi boyunca, ölçülen ve tahmin edilen PV çıkışı arasındaki aylık ortalama hata % 6.79, ölçülen ve tahmin edilen evirici çıkışı arasındaki aylık ortalama hata ise % 4.74 olarak hesaplandı (Mondol, Yohanis, Smyth, & Norton, 2005).

Eicker ve arkadaşları, yalnızca planlama aşamasında değil, aynı zamanda internet üzerinde anlık izleme yapılabilecek bir simülasyon programı olan INSEL yazılımının anlık verilerini sahadaki gerçek verilerle karşılaştırmıştır. Bu çalışmada anlık izleme yapabilen INSEL yazılımının 1 dakika aralıklar ile aktardığı verilerin gerçek verilerle sadece %2 aralığında hata oranı olduğunu tespit etmiştir (Eicker et al., 2005).

Ransome ve Funtan 2005 yılında yaptıkları çalışmada, simülasyon programlarının tahmin modellemelerinde kullandıkları hava sıcaklıkları ve sıcaklık istatistiklerinin saatlik ya da dakikalık değerlerini toplayarak oluşturdukları yöntemin aksine 15 saniyelik periyotlar ile değerleri topladılar ve simülasyon algoritmalarında kullandılar. Geliştirdikleri model ile hava durumları sıklıkla değişen Avrupa ülkelerinde daha doğru tahminlerin oluştuğunu gözlemlediler (Ransome & Funtan, 2005).

Notton ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada eğimli yüzeyler üzerindeki küresel ışınımı hesapladılar. Çalışmalarının ilk adımında, yatay yayılmış bileşen ile küresel ışınım arasında birkaç korelasyon olduğunu tahmin ettiler. İkinci adımında ise, Ajaccio bölgesinde toplanan güneş verileri kullanılarak yatay yayılmış ve küresel ışınımardan, eğimli düzlemlerdeki saatlik küresel ışınımaları hesaplamak için çeşitli modelleri test ettiler. Test ettikleri modeller ise simülasyon programları tarafından kullanılan 15 adet izotropik ve izotropik olmayan modellerdi. Yaptıkları deneyler ile test edilen 15 modelden 6 adetinin (Klucher, Hay&Davies, Wilmott, Ma&Iqbal, Perez ve Skartveit&Olsen) tahmin değerlerinin ölçülen değerlerle %10'dan daha az oranda hata payı olduğunu tespit ettiler (Notton, Cristofari, & Poggi, 2006).

Detrick ve arkadaşları 2005 yılında yaptıkları çalışmada, simülasyon programlarının yaptıkları tahminler ile gerçek üretim değerleri arasındaki oluşan farkların sebepleri konusunda teorik bilgiler verdi. Çalışmalarında, panel üreticilerinin panellerin

test edilmesi sürecindeki hata toleranslarının büyük bir tesiste nelere mal olacağını, PVWatts, PVGrid, PVDesignPro gibi simülasyon programlarında kullanılan bazı kabullerin, tahminleri ne kadar değiştirebildiğini, tozlanma ve kayıpların tahmin ile gerçek veriler arasındaki farkı ne kadar arttırabileceğini teorik olarak belirttiler (Detrick, Kimber, & Mitchell, 2005).

Marion ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada şebeke bağlantılı PV sistemlerinde performans değerlendirme ve tahmin modelleme çalışmalarında kullanılacak parametrelerin standartlaştırılması konusunda Uluslararası Enerji Ajansının yaptığı ve IEC 61724 numarası ile tamamlanan çalışmalar hakkında bilgi verdiler. Toplam sistem verimi (Y_F), Referans verimi (Y_R), Performans Oranı (PR) parametrelerinin sistemin performans ölçümünde kullanıldığı alanlar ile ilgili bilgi verdiler (Marion et al., 2005).

Mondol ve arkadaşları, simülasyon programlarının doğruluğunu arttırmak için TRNSYS programında dinamik yeni bir model geliştirdi. Geliştirilen yeni model ile tahmin edilen değerleri gerçek değerleri ile karşılaştırdı. Çalışmalarında, Global yatay yayılma modelinin ışınım 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. Simülasyon doğruluğu, geliştirilen global yayılma korelasyonu ve modül sıcaklık denklemi kullanılarak geliştirildi. İzotropik gök eğimli yüzey radyasyon modeli için, TRNSYS modifikasyonundan önce ve sonra ölçülen ve tahmin edilen PV çıkışı arasındaki ortalama aylık fark sırasıyla % 10.2 ve % 3.3; Anizotropik bir gökyüzü modeli için ise sırasıyla % 15.4 ve % 10.7 olarak ölçüldü. Ölçülen PV verimliliği, genel sistem verimliliği, evirici verimliliği ve performans oranı, beklenen sonuçlarla karşılaştırıldı. Tahmin edilen PV performans parametrelerinin, yaz aylarında ölçülen parametrelere daha yakın tespit edildi (Mondol, Yohanis, & Norton, 2007).

Loutzenhiser ve arkadaşları, binaya entegre PV sistemleri ile ilgili olarak dış cephelerde güneş ışınımını doğru şekilde hesaplayarak, binaların ısıl davranışlarını ve soğutma yüklerini güvenilir bir şekilde tahmin etmek için bina enerji simülasyonu kodlarının oluşturulmasında kullanılan radyasyon modelleri ve algoritmalarının doğrulanması konusunda çalışma yaptılar. Çalışmalarında, dört farklı simülasyon

programında (EnergyPlus, DOE-2.1 E, Trnsys-TUD ve ESP-r) kullanılan yedi güneş radyasyon modeli (İzotropik gökyüzü, Klucher, Hay-Davies, Reindl, Muneer, 1987 Perez, ve 1990 Perez) incelendi. İsviçre'nin Duebendorf kentinde EMPA kampüsünde çeşitli atmosferik koşulları ve güneş yüksekliklerini kapsayacak şekilde ölçülen iki adet 25'er günlük güneş radyasyonu verileri, modellerin doğrulanması amacıyla kullanıldı. Ölçülen her iki dönemde tahminler ile gerçek değerler arasındaki ortalama mutlak farklar; izotropik gökyüzü modeli için %13.7 ve %14.9, Hay – Davies modeli için %9.1, Reindl modeli için %9.4, Muneer modeli için %7.6, Klucher modeli için %13.2, 1990 Perez modelleri için %6.0, %7.7 ve 1987 Perez modeli için %7.9 olarak tespit edildi. Çalışmada, ortalama sapma hesaplamaları yapılarak en tutarlı modelin %2,6 ve %3 değerleri ile Perez 1987 ile Perez 1990 modellerinin olduğu bulundu (Loutzenhiser et al., 2007).

Mondol ve arkadaşlarının şebeke bağlantılı PV sistemlerinin simülasyonun doğruluğu üzerine yaptıkları çalışmada, küresel yayılmış korelasyonların ve eğimli yüzey radyasyon modellerinin 12 farklı kombinasyonunun etkisi, istatistiksel yöntemler kullanılarak incelendi. Çalışmalarında sahaya özgü olarak geliştirdikleri küresel yayılma korelasyon modelini sahadan alınan ölçüm değerleri ve yaygın olarak kullanılan farklı iki küresel yayılma korelasyonu ile güçlendirdiler. Modeller yıllık, mevsimlik ve aylık olarak dört farklı eğim için denendi. 45° eğimli düzlemin ve PV çıktısının tahmin doğruluğu, ana simülasyon modelinde sahaya özgü küresel yayılmış korelasyon modeli kullanıldığında arttı. Simülasyonda tahmin edilen değerler ile ilgili en fazla doğruluk, Liu ve Jordan modelleri ile sahaya özgü küresel yayılma korelasyonu kullanıldığında elde edildi (Mondol, Yohanis, & Norton, 2008).

Tin Tai Chow ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada binaya entegre PV sistemler için tahmin ve simülasyon modeli geliştirdiler. Geliştirdikleri dinamik modelleme ve denklemlerin doğruluğunu gerçek veriler ile test ettiler. Geliştirdikleri model ile PV sisteminin termal verimi %1 hata payı ile tahmin edilebilirken elektriksel verim %13 hata payı ile tahmin edilebilmiştir. Model, hem yaz hem de kış mevsimi için termal verimi aynı hata payını tahmin edebilirken, sisteme termosifon veya pompa eklendiğinde de sonuçlar değişmemiştir (Chow et al., 2008).

Suri ve arkadaşları, PVGIS simülasyon programı tarafından da veri tabanı olarak kullanılan HelioClim-1 veri tabanında, Akdeniz ve Karadeniz bölgelerine yönelik uzun dönem ortalama meteorolojik değerler ile yıllık ve aylık değerleri arasındaki değişkenlikleri incelediler. 18 yıllık bir dönemin incelendiği çalışmalarında, yıllık toplam global güneş radyasyon değerlerinin daha az farklılık göstererek standart sapmanın %4

ile %6 arasında kaldığını tespit ettiler. Çöl ikliminde bulunan bölgelerin uzun dönem ortalama değerleri ile yıllık ve aylık değerleri arasındaki standart sapmanın +4 ile %10'a çıktığını belirlediler. Ayrıca toplam periyotta standart sapmanın nadiren %9'un üstüne çıktığını ve en fazla da %15'lere çıktığını tespit ettiler. Simülasyon programları tarafından kullanılan bu tür veri tabanlarının yıllık ortalama güneş enerjisi değerlerinin, yapılan tahminlerde hata yapılmasına etkili olduğunu ortaya koydular (Suri et al., 2007).

Blair ve arkadaşları, Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı ve Sandia Ulusal Laboratuvarı bünyesinde "Solar Advisor Model" adını verdikleri bir simülasyon analiz modeli ve yazılımı geliştirdiler. Model ile fotovoltaik sistemler, yoğunlaştırılmış termal güneş enerji sistemleri ve parabolik oluk sistemler ile ilgili performans, maliyet ve teşvikler konusunda kullanıcılara bilgi aktarıldı. Modelin en önemli özelliği, kullanıcılara performans ve maliyet değişimlerine etkisini araştırmalarına olanak vermesiydi. Model, değişen maliyetlere göre sistem için gerekli finansal parametrelerin değişimini de gözlemleme imkânı sundu. Geliştirilen model ile farklı güneş teknolojilerinin performans ve maliyet analizleri yapılabilir hale geldi (Blair, Mehos, Christensen, & Cameron, 2008).

Cameron ve arkadaşları, ABD Enerji Bakanlığı tarafından desteklenen bir proje ile Sandia Laboratuvarı tarafından geliştirilen "Solar Advisor Model" SAM modelinin tahmin modellerinin performansını ölçülen değerler ile karşılaştırmışlardır. Yapılan çalışmada, dört radyasyon modeli, (Perez, Hay&Davies, Reindl, İsoptopik Gökyüzü) üç modül performans modeli, bir evirici modeli ile PVWATTS ile PvMod modelleri gerçek değerler ile karşılaştırılmıştır. Çalışma ile, radyasyon modellerinin isotopik model hariç %2 hata payının olduğu, modül modellerinin radyasyon modeli hata payları dahil, sistem kayıpları hariç olmak üzere; Sandia SAM modelinin %5 (± 3), Beşli parametrik modelin %10 (± 3), PvMod modelinin %4 (± 1), PVWATTS modelinin ise %11 (± 1) hata payının olduğu tespit edilmiştir. Karşılaştırma yapılan evirici modelinin ise %1 hata payının olduğu görülmüştür (Cameron, Boyson, & Riley, 2008).

Becker ve arkadaşları, PVSyst ve PVsol simülasyon yazılımlarının simülasyon değerleri ve gerçeklik arasındaki farkları ortaya koymak için çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada, "Güneş Okulda" projesi ile okullarda bulunan 1 kWp büyüklüğünde üç sistemin ölçülen değerleri ile 1016 kWp büyüklüğünde Münih Ticaret Merkezinde bulunan sistemin ölçülen değerleri, PVSyst ve PVsol yazılımları kullanılarak karşılaştırılmıştır. Programlarda kullanılan meteorolojik değerler Meteororm yazılımından alınmıştır. Çalışma sonucunda, simülasyon ve ölçüm arasındaki toplam yıllık sapma, ölçülen modül verisine uyması durumunda % +5,2 olarak bulunmuştur.

Tespit edilen yıllık sapma, kablo kayıpları, uyumsuzluk kayıpları vs. hiç dikkate alınmadan bulunmuştur (Becker et al., 2008).

Evseev ve Kudish yaptığı çalışmada, küresel ve yayılmış güneş ışınımı yoğunluklarının, sabit güneş enerjisi dönüştürme sistemlerinin toplayıcı yüzeyindeki güneş ışınması olayının miktarını maksimize etmek için güneşe doğru eğilmesinden dolayı yatay yüzeyler üzerinde ölçüldüğü farklı 10 modelin (Liu-Jordan, Temps-Coulson, Hay, Klucher, Willmott, Skartveit-Olseth, Gueymard, Reindl, Perez ve Muneer Modelleri) performansını ölçülen değerler ile karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında kullanılan ölçüm değerleri 40° eğimle kurulan sistem üzerinde yapılmıştır. Karşılaştırmalarda, açık hava, az bulutlu, güneşli ve kapalı hava şartları gözlemlenerek modellerin bu hava şartlarında farklı performansları değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda Beer Sheva bölgesi için, 40 derecelik güneşe eğimli bir yüzey üzerinde küresel güneş ışınımını en iyi şekilde tahmin eden modelin, açık hava güneşli ve kapalı hava şartlarında Ma-Ikbal Modeli olduğu, bulutlu hava şartları için de Muneer modelinin olduğu tespit edildi (Evseev & Kudish, 2009).

Mondol ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, TRNSYS simülasyon modeli kullanıp gerçek verilerle karşılaştırma yaparak; şebekeye bağlı bir PV sistemin, PV modül büyüklüğünün, yönünün ve eğiminin, yük profiline, elektrik alış fiyatlarının, tarifelerinin, PV/Evirici büyüklük oranının, PV/Evirici maliyet oranının ekonomik fizibilitesini yaptılar. Çalışmalarında, TRNSYS “Radyasyon İşlemcisi” bileşenini, yatay küresel ve dağınık yansıma ile düzlem içi güneş radyasyonunu hesaplamak için kullandılar. Modelde, zemin yansımalarının sabit ve 0,2'ye eşit olduğu varsayıldı. Eğimli bir yüzey üzerinde güneşlenmeyi belirlemek için bir izotropik gökyüzü eğimli yüzey radyasyonu modeli kullanıldı. Üç yıllık bir dönemde Kuzey İrlanda'daki ECOS Millennium Çevre Merkezinde monte edilen şebekeye bağlı PV sisteminin ölçülen değerleri ile model ile tahmin edilen verilerle karşılaştırıldı. Çalışma sonucunda, ölçülen ve tahmin edilen sonuçlar arasındaki uyumsuzluğu gösteren “R2” değerinin 0.97 olduğu, yıllık ortalama üretilen enerjideki hata payının da % 5'in altında olduğu tespit edildi (Mondol, Yohanis, & Norton, 2009).

Rahman ve arkadaşları, şebekeye bağlı sistem için dört farklı PV teknolojiyi (monokristalin, polikristalin, amorf silikon ve kadmiyum) Malezya Meteoroloji Hizmetleri Biriminden alınan meteorolojik verilerin kullanıldığı PVSyst ve RETSCREEN simülasyon programları ile tahmin modellemesi yaparak programların performanslarını karşılaştırmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda simülasyon

programlarının birbirine en yakın tahmin modellemesini %13,6 farkla monokristalin modüllerde yaptığı görüldü. Simülasyon sonuçları hata paylarının sırasıyla hata farkı ile polikristalin modüllerde %15,2, amorf silikon modüllerde %18,9, kadmiyum modüllerde ise %60 çıkmıştır (Hasimah, Khalid, & Mohammad, 2009).

Ransome yaptığı çalışmada, simülasyon programlarının tahmin modellemelerinde algoritmada kullandıkları saatlik hava tahminlerinin, simülasyon ile gerçek veriler arasında farklılıklar ortaya çıkardığını araştırdı. Çalışmasında, monokristal ve ince film teknolojileri kullanan yedi farklı PV modül deney seti olarak kullanılmış ve ölçülen değerler ile 3 farklı simülasyon programının tahmin verileri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalarda simülasyon programlarının kullandığı kWh/kWp tahmin yöntemlerinin Avrupa'nın genelinde %5 oranında hataya yol açtığını tespit etti. Saatlik hava tahminlerinin alındığı yöntemlerde simülasyon programlarının saatlik hava koşullarını ortalama değer ile hesapladığı, gerçekte ortalama değerinin altında veya üstünde yer alan sıcaklıkların olabildiğini tespit etti. Tahmin modellemelerinde saatlik veriler yerine 15 saniyelik verilerin kullanılmasının tahmin doğruluğunu arttırdığını tespit etti (Ransome, 2009).

Siraki yaptığı çalışmada, Montral kent merkezinde bulunan Autodesk firmasına ait bir binanın çatısında kurulacak 37 kWp gücündeki PV sistemini, PVSyst v5.05, Ecotect 2010, HOMER programlarını kullanarak simüle etti ve programların tahminlerini birbiriyle karşılaştırdı. Çalışmasında, PVSyst ve Ecotect programlarının kullandığı radyasyon modellerinin farklı olmasından dolayı güneş radyasyonunu %5,7 farkla bulduğunu tespit etti. Yıllık elektrik üretimi tahmininde, Ecotect programının PVSyst programından %17,3 daha fazla üretim tahmin ettiğini tespit etti. Homer programı ile aynı simülasyon uygulandığında, yıllık üretilen elektrik miktarını Ecotect programına daha yakın hesapladığı, PVSyst programından %51 farklı hesapladığını tespit etti. Kent merkezleri için Homer programının tahmin modellemelerinin hataya yol açabileceğini tespit etti (Gharakhani Siraki & Pillay, 2010).

Protogeropoulos ve arkadaşları, Yunanistan'ın Halandri bölgesinde, 1 kW monokristal, 1,6 kW polikristal, 1,2 kW kadmiyum tellür, 1,1 kW ince film modüllerin 7 ay boyunca ürettikleri enerji değerleri ile simüle edilen verileri karşılaştırdılar. Simülasyon programı, tahmin modelinde global radyasyon değerini ölçülen gerçek değerinin %6,2 oranında altında buldu. Ayrıca her farklı modül teknolojisi için ölçülen değerler arasında farklı hata payları bulundu. Mono kristal ve poli kristal modüllerde kWh/kWp değerleri simülasyonlarda gerçek değerlerin %10 altında bulunurken, aynı

değerler kadmiyum tellür için %1, ince film modüller için %16 altında simüle edildi (Protogeropoulos, Klonaris, Petrocheilos, Charitos, & Martinac, 2010).

Stein ve arkadaşları, 1 kW gücündeki deney seti ile 14 aylık ölçüm değerlerini, SAM simülasyon programıyla tahmin modellemeleri için kullanılan “Sandia Dizi Performans Modeli” ve “Beş Parametrelili Model” ile simüle etmiştir. Çalışma sonucunda, Sandia Dizi Performans modelinin gerçek değerlerle %5,6 oranında, Beş Parametrelili Model’in ise gerçek değerler ile %3,3 oranında farklılaştığı tespit edilmiştir (Stein et al., 2010).

Mermoud ve Lejeune, simülasyon yazılımlarında kullanılan elektriksel bir diyotlu modeli, amorf, mikro kristal ve kadmiyum tellür modüller için de kullanılabilecek yeni bir elektriksel model ile geliştirdiler. Geliştirilen model, PVSyst yazılımına entegre edilerek Cenevre üniversitesindeki fakülte binalarında bulunan 8 farklı modül teknolojisini barındıran deney setlerinden elde edilen 6 yıllık ölçümler ile karşılaştırıldı. Çalışmalarının sonucunda, tahminlerin geliştirilen yeni elektriksel model ile doğruluğunun arttığı gözlemlendi. Amorf teknoloji modüllerde tahminlerdeki hata paylarının %2,3’e kadar, kadmiyum teknolojilerde %1,4’e kadar, mikro kristal teknolojilerde ise %2,1’e kadar düştüğü tespit edildi. Geliştirilen yeni model ile standart teknolojilerde üretilen modüllerde tahminlerin hata payları %1,2 aralığında gerçekleşti (Mermoud & Lejeune, 2010).

2011 yılında Çubukcu, Gebze, İzmir, Gökçeada ve Kızıladada’da kurulu dört farklı yenilenebilir enerji santralinin enerji üretim değerlerini PVGIS simülasyon sonuçları ile karşılaştırmıştır. Çalışmasında PVGIS ile elde edilen simülasyon sonuçlarından toplam ışıma verilerinin gerçek verilerle uyumlu olduğunu gözlemledi. PVGIS ortam sıcaklığı verilerinin, kurulum yerinde hesabı yapılan değerlerle kısmen farklı olduğunu gözlemledi. Ayrıca çalışmasında gerçek verilerle ve simülasyon verileriyle LCOE hesapladı. İzmir’de şebeke bağlantılı GES için LCOE’nin hem simülasyon hem de gerçek değerlerde 0,3 \$/kWh olarak buldu. İzmir’de şebeke bağlantısız GES için LCOE değerini simülasyon sonuçlarında 0,73 \$/kWh bulurken gerçek verilerde 0,74 \$/kWh olarak hesapladı (Çubukçu, 2011).

Kanters, Uluslararası Enerji Ajansı’nın 41inci eylemi çerçevesinde, güneş enerjisi konusunda tasarım yapan mimar ve mühendislerin simülasyon programlarını kullanma durumlarını ortaya koyan bir çalışma yaptı. Söz konusu çalışmada, mimar ve mühendislerin simülasyon programlarını yeterince kullanmadıkları tespit edilerek bu durumun nedenleri ortaya çıkarıldı. Yapılan anketler ile simülasyon programlarının

kullanılmama nedenleri mimar ve mühendislere soruldu. Katılımcılar, simülasyon programlarının karmaşıklık, programların maliyeti, gelişmiş yazılımı idrak etmek için gerekli zaman ve yaygın olarak kullanılan diğer yazılımlarla birlikte çalışmamasının eksikliğini kullanmama nedeni olarak belirttiler. Katılımcıların çoğu, görselleştirme araçları olarak AutoCAD, Google SketchUp, Revit Architecture, ArchiCAD ve 3ds Max'i CAAD araçları, V-Ray, Artlantis, Renderworks, Maxwell Render ve LightWave yaygın olarak kullanırken; Ecotect, RETScreen, Radiance, PVSyst, Polysun, bSol ve PV SOL simülasyon araçlarını daha az tercih ettiklerini söylediler. Çalışmada katılımcılar, güneş enerjisi sistemlerinin ön boyutlandırılması, güneş enerjisi çıkışı ile ilgili önemli veriler sağlayan, açık geribildirim sağlayan ve mimari entegrasyon kalitesinin görselleştirilmesine olanak tanıyan gelişmiş yazılımların gereksinimini ifade ettiler (Kanters, 2011).

Paya ve arkadaşları, yaptıkları çalışma ile Valencia Politeknik Üniversitesinde bulunan 7,2 kW büyüklüğünde şebeke bağlantılı bir PV sistemin 2 yıllık ölçüm değerleri ile TRNsys programında yapılan tahmin simülasyonu değerlerini karşılaştırdılar. Çalışma sonucunda modüllerin sahadaki elektriksel değerlerinin standart test koşullarında üretici tarafından belirtilen değerlerden %8,3 daha düşük olduğunu tespit ettiler. Çalışmalarında, kullanılan meteorolojik veri tabanının, tahmin değerlerini %11 oranında, radyasyon modelinin %5 oranında, sıcaklık modelinin ise %1 oranında değiştirebildiğini tespit ettiler (Quesada, Sánchez, Cañada, Royo, & Payá, 2011).

Leloux ve arkadaşları, Fransa'da 2004 yılından beri, Belçika'da ise 2006 yılından beri faal olan çatı tipi PV sistemlerinin ölçüm değerleri ile simülasyon değerlerini karşılaştırdılar. Yaptıkları çalışma 10.650 farklı çatı tipi sistemi kapsadı (9.657 adet Fransa, 993 adet Belçika). Çalışmalarında, 10650 PV sisteminin operasyonel verilerin analiz edilmesi, enerji üretim değerlerini, üretimlerine etki eden parametreleri tespit ettiler. Çalışmalarıyla, 2010 yılında, Fransa'daki PV sistemlerinin, yıllık 1163 kWh/kWp enerji ürettiğini, Belçika'da ise 852 kWh/kWp enerji ürettiklerini gördüler. PV panellerin en iyi açı ve yönle üretim yaptığında %7 daha fazla enerji üretebildiğini tespit ettiler. Sahadaki PV modüllerinin üretici tarafından belirtilen nominal değerlerin %4,9 altında kaldığını gördüler. Ayrıca çalışmalarında, gerçek veriler ile simüle ettikleri veriler arasında %2,3 oranında hata payı olduğunu tespit ettiler (Leloux, Narvarte Fernández, & Trebosc, 2011).

Sharma ve Chandel yaptıkları çalışmada, Hindistan'ın Khathar-Kalan bölgesinde bulunan 190 kWp büyüklüğündeki şebeke bağlı PV sisteminin 12 aylık ölçüm verileri ile

PVSyst programı ile yaptıkları simülasyon değerlerini karşılaştırdı. Çalışmalarıyla yaptıkları ölçümlerde, sistemin performans katsayısını (PR) %55 ile %83 arasında, final verimini 1,45 ile 2,84 kWh/kWp-gün arasında, referans verimini 2,29 ile 3,53 kWh/kWp-gün arasında tespit ettiler. Ayrıca ölçümlerde yıllık enerji üretimini 812,76 kWh/kWp olarak buldular. PVSyst programı ile yaptıkları simülasyon programında ise yıllık elektrik üretimi 823 kWh/kWp olarak simüle edildi. Çalışmalarında gerçek ölçüm değerleri ile simüle edilen değerler arasındaki hata payı %1,4 olarak bulundu (Sharma & Chandel, 2013).

Pena ve arkadaşları, İspanyanın Palencia şehrinde bulunan üç farklı yerdeki ve üç farklı güneş izleme sistemine sahip, ilki çatı üzeri uygulaması olup 38,88 kWp gücündeki, ikincisi 101,01 kWp gücündeki, sonuncusu ise 14,28 kWp gücündeki şebeke bağlantılı sistemlerin 2008-2010 yılları arasındaki performans değerleri ile PVGIS, PVSyst, RetScreen ve SAM simülasyon programları ile yapılan tahmin değerlerini karşılaştırdılar. Çalışmalarında iki farklı karşılaştırma yapıldı. İlk karşılaştırmada, üç farklı sistem PVGIS programı ile simüle edilerek, çıkan tahmin değerleri diğer programların tahmin modelleri ile kıyaslandı. Bu kıyaslamada, PVGIS yazılımına en yakın tahminler 101,01 kWp gücündeki PV sistem için en farklı tahminler ise 14,28 kWp gücündeki sistem için bulundu. İkinci karşılaştırmada, tüm simülasyon programları tarafından yapılan tahmin değerleri her PV sistem için gerçek ölçülen değerler ile karşılaştırıldı. Buna göre; 38,88 kWp gücündeki ilk sistem için PVSyst %20, diğer yazılımlar %15 hata ile, 101,01 kWp gücündeki ikinci sistem için PVSyst %20, PVGIS %12, SAM %5, RetScreen ise %6 hata ile, sonuncu sistem için PVSyst %18, PVGIS %14, SAM %14 ve RetScreen ise %6 hata ile tahmin ettikleri tespit edildi (González-Peña et al., 2012).

Huld ve arkadaşları, Avrupa Birliği tarafından geliştirilen internet tabanlı veri tabanı (PVGIS) Coğrafik Fotovoltaik 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 bölgede yapılan karşılaştırmalarda PVGIS3 olarak lanse edilen ve yeni veri tabanını kullanan sürümün global radyasyon değerlerini tahmin etmede daha başarılı olduğu, eski sürümün tahminlerine nazaran %2 ve %5 oranında iyileştirme sağlandığı tespit edildi (Huld, Müller, & Gambardella, 2012).

Petrovic ve arkadaşları, Hırvatistan'ın Varazdin bölgesinde bulunan 20,64 kWp gücündeki şebeke bağlantılı bir PV sistemin, 12 aylık performans değerleri ile PVGIS, Homer ve PVSyst simülasyon programları ile yapılan tahmin değerlerini karşılaştırdılar.

Çalışmalarının sonucunda, 20,64 kWp gücündeki PV sisteminin yılda toplam 26.500 kWh enerji ürettiği ölçülürken, Homer ile yapılan simülasyon 28.500 kWh/yıl, PVGIS ile yapılan simülasyon 17.300 kWh/yıl, PVSyst ile yapılan simülasyon ise 26.600 kWh/yıl enerji üretimi yapılabileceğini tahmin etti. PVSyst tahmin modeli, %0,3 hata payı ile en başarılı simülasyonu gerçekleştirirken, PVGIS %34,7 hata payı ile en başarısız simülasyonu gerçekleştirdi. Homer'in yaptığı tahmin, %7 oranında hata payına sahip oldu (Petrović, Šimić, & Vračić, 2013).

2013 yılında Freeman ve arkadaşları, Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı'nın (NREL) fotovoltaik sektörü için hazırladığı SAM (System Advisor Model) modelinin ve modelin kullanıldığı simülasyon programı olan RetScreen'in doğruluğunu gerçek verilerle analiz eden çalışma yapmışlardır. Söz konusu çalışmada, 10 MW kurulu gücün üstündeki 3 fotovoltaik güneş santrali ile 75-750 kW büyüklüklerinde 6 fotovoltaik santrali ölçüm verilerinin, Mesa Top ve DeSoto modellemeleri kullanan 2013 yılında piyasada olan SAM sürümü tarafından elde edilen simülasyon verileriyle %3 farklılık gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır (Freeman, Whitmore, Kaffine, Blair, & Dobos, 2013).

Çubukcu ve Çolak yaptıkları çalışmada, Gökçeada'da yerleşik ve şebeke bağlantısı olmayan 2 kWp gücündeki fotovoltaik sisteminin gerçek ölçüm değerleri ile PVGIS tarafından yapılan simülasyonun tahmin değerleri karşılaştırıldı. Çalışmalarında 8 aylık bir dönemin performans değerleri kıyaslandı. Karşılaştırmalarda, sistemin ölçülen değerlerinde sistem verimi %4, tahmin değerleri ise %5 olarak bulundu. Sistemin 8 aylık sürede ürettiği enerji 2098,5 kWh olurken, PVGIS ile yapılan tahmin değeri %20 daha fazlası olan 2520,7 kWh olarak bulundu (Cubukcu & Colak, 2013).

Sharma ve arkadaşları, Hindistan'daki Güneş Enerjisi Merkezi'ndeki bir test tesisinde polikristal silikon, silikon ve ince film ve amorf silikonundan oluşan fotovoltaik teknoloji dizilerinin performans değerlendirmesini yaptılar. Her teknolojinin enerji verimini ve performans oranını gözlemlədiler. Her bir teknolojinin performansını da Homer yazılımı kullanarak simüle ederek ölçülen değerlerle tahmin değerlerini karşılaştırdılar. Çalışmalarının sonunda, ölçülen ve tahmin edilen yıllık enerji verimi ve performans oranı değerleri arasındaki mutlak yüzde hata oranının p-Si, HIT ve a-Si için sırasıyla %4.89, %4.94, %1.16 ve %4.34, %4.93, %1.88 olduğunu tespit ettiler (Sharma, Kumar, Sastry, & Chandel, 2013).

Olukan ve Emziane, güneş enerjisi 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 (Olukan & Emziane, 2014).

2014 yılında Hurayb, elektrik hatlarına büyük bir PV entegrasyonunun etkilerini araştıran bir çalışma yaptı. Geleneksel PV sistem konfigürasyonlarının yakınlarındaki yapıların bulutları veya gölgelerinden kaynaklanan kısmi gölgelendirme altında maksimum gücü kullanamamaları nedeniyle elektrik sistemlerinde sorun teşkil edeceğini, gölgelenme zamanlarında sistemde kontrol edilemez güç kayıplarının yaşanacağını tespit etti. Çalışmasında, gölgeli koşullar altında maksimum gücü kullanmak için dağıtılmış güç elektroniği kullanan konvansiyonel olmayan PV sistemi konfigürasyonlarını, Kırmızı Ötesi (IR) görüntüleme kullanarak sistem izlemesini ve kısmi gölgeleme altında doğru akım-voltaj (IV) eğrilerini belirleyen yazılım araçlarını değerlendirdi. Uyumsuz ve gölgeli koşullar altında geleneksel ve geleneksel olmayan PV sistemlerinin performansını karşılaştırmak için ticari bir yazılım aracı kullandı. Kısmi gölge altında bir PV dizisinin I-V eğrisinin şeklini doğru bir şekilde belirlemek için MatLab tabanlı bir yazılım aracı geliştirdi. Simüle edilmiş eğrileri, deney verileri ile iyi bir şekilde (%3 hata içinde) karşılaştırdı (Hurayb, 2014).

Thomas ve arkadaşları, gölgelenmenin ve bulutlu havanın güneş panelleri üzerindeki etkisini I-V karakteristiğinin bu koşullar altında değişimini PVSyst simülasyon programı ile simüle edip gerçek verilerle karşılaştıran bir çalışma yaptılar. Söz konusu çalışmalarda simülasyon programlarının kayıp modellemelerinin, değişken hava koşullarında ve değişkenlik arz eden gölgelenme durumlarında belirsizlikler içerdiğini tespit ettiler (Suresh, Thomas, & Engineering, 2014).

2014 yılında Tapia, PVSyst modelleme sürecini anlamak ve değerlendirmek için İspanya, İtalya ve Şili'de bulunan altı şebeke bağlantılı PV sisteminin gerçek performansını, PVSyst kullanılarak modellenmiş performanslarıyla karşılaştırmalarını gerçekleştirdi. Seçtiği beş PV sistem sabit yapıdaydı ve biri güneş izleyici sistemi kullanmaktaydı. Yaptığı çalışmada, sadece monokristal PV modülleri ile donatılmış sistemleri değerlendirdi. Yaptığı değerlendirmelerde, PVSyst yazılımının güneş izleyici kullanan sistem haricinde daha az enerji değeri simüle ettiğini tespit etti. Değerlendirme yaptığı periyotlarda modellenen verilerin gerçek verilerden %1 daha az olduğunu tespit etti (Tapia, 2014).

Axaopoulos ve arkadaşları, TRNSYS, Archelios, Polysun, PVSyst, PV*SOL ve PVGIS ile yapılan simülasyonların tahmin değerlerinin doğruluğunu 19.8kWp gücündeki PV sistemin ürettiği gerçek elektrik enerjisiyle karşılaştırdılar. Değerlendirme, aynı takvim yılı boyunca gerçek fotovoltaik (PV) sistemde kaydedilen iklim verileri kullanılarak gerçekleştirildi. Değerlendirme sonucunda, yazılım paketlerinin, PV modülleri tarafından soğurulan radyasyonu doğru tahmin etme eğiliminde olduğu, buna karşın sistem tarafından üretilen elektrik enerjisini tahmin etmekte çok başarılı olamadığı tespit edildi (Axaopoulos, Fylladitakis, Gkarakis, & Engineering, 2014).

2015 yılında Cura çalışmasında, biri Yunanistan'ın Kastoria şehrinde bulunan 500 kW gücünde, saha kurulum tipine sahip, bir diğeri ise Türkiye'nin Kocaeli ilinde bulunan, 110 kW gücünde, çatı kurulum tipine sahip, çoklu kristal teknolojisine dayalı iki fotovoltaik güneş santralinin teknik ve ekonomik incelemesini yapmıştır. Çalışmada, PV kurulumların gerçek üretim değerleri, üç farklı güneş ışınım modeli (Liu & Jordan, Hay & Davies, Perez), ve iki farklı meteorolojik veri tabanı (PVGIS-CMSAF, NASA-SSE) kullanılarak PVSyst programından elde edilen sonuçlar ile bazı istatistiksel test yöntemleri (ortalama karekök hatası, ortalama sapma hatası, yüzde hata) kullanılarak karşılaştırıldı. Çalışmada meteorolojik veri tabanı seçiminin, simülasyondaki istatistiksel test sonuçlarına ve enerji üretim değerlerine önemli ölçüde etki ettiğini tespit etmiştir. Ölçüm istasyonu PV kurulum bölgesinden çok uzakta ise veya meteorolojik veriler çok eskiyse, simülasyon verilerinin gerçek verilerden daha farklı olduğu anlaşıldı (Cura, 2015).

2015 yılında Gültuna, Gürsu Bursa Bölgesinde bulunan fotovoltaik güç santralinin teknoekonomik ve çevresel optimizasyonuna yönelik teknik, ekonomik ve çevresel açıdan matematiksel bir model oluşturmuş ve geliştirdiği simülasyon programıyla eğik düzleme gelen ışınım, PV panel verimi, santralin elektrik üretim değeri, yıllık kazancı, salımı önlenebilir karbon miktarı ve amortisman süresini hesaplamıştır. Geliştirdiği simülasyon programında elde edilen sonuçları, piyasada ticari olarak yaygın biçimde kullanılan RetScreen simülasyon yazılımından elde edilen sonuçlarla karşılaştırarak doğrulamıştır (Gültuna, 2015).

2015 yılında Keskinel yaptığı çalışmada Ankara'nın Kazan ilçesinde özel bir şirketin çatısında bulunan 495,88 kWp kurulu gücündeki GES için gerçek ölçüm değerleri ile PVSyst simülasyon yazılımı ile hesaplanan simülasyon değerlerini karşılaştırmıştır. Çalışmada Aralık 2013 tarihinden Mart 2015 tarihine kadar geçen sürede sistem tarafından üretilen enerji miktarı ile simülasyon değerleri karşılaştırılmıştır. Yapılan

çalışma sonucunda, küresel ışınım değerlerinin gerçekte simüle edilen değerlerden %9,72 oranında daha fazla olduğu belirlenmiştir (Keskinel, 2015).

Yılmaz ve arkadaşları, Mayıs 2014 ile Nisan 2015 tarihleri arasında Münih (Almanya) ve Muğla (Türkiye)'de kurulu olan iki güneş enerjisi santralının performanslarını karşılaştırdı. Her iki güneş enerjisi santrali daha sağlıklı ve daha ayrıntılı bir karşılaştırma için PVSyst programı ile modellendi. Model ile ölçülen gerçek değerler karşılaştırıldığında kabul edilebilir hata payı içinde simülasyonun gerçekleştiği tespit edildi (Yılmaz, Ozcalik, & Dincer, 2015).

Abbasoğlu ve Babatunde, güneş radyasyonu yüksek ülkelerdeki fotovoltaik (PV) sistemlerin performans analizinde farklı simülasyon araçlarının uygunluğunu inceledi. Çalışmada, kurulu bir sistem değerlendirildi ve sonuçları, 3 PV yazılım aracının (pvPlanner, PVSyst ve Homer) simülasyon sonuçları ile karşılaştırıldı. Çalışmada enerji üretimi, verim, performans oranı ve kapasite faktörü parametreleri incelendi. Kuzey Kıbrıs, güneş radyasyon ve süre değerlerinin yüksek olması nedeniyle vaka çalışması olarak seçildi. 5.76 kW kurulu gücündeki sistemin toplam yıllık gerçek enerji üretimi, çalışılan yıl için 12.216 kWh'ye denk gelirken, simülasyon araçları, kurulu olan sistemin enerji üretimini sırasıyla %5,3, %9,3 ve %7,5 PVPlanner, PVSyst ve Homer için daha az hesapladığını tespit etti. Sistemin performans oranı %80.8 olarak hesaplanırken 3 simülatörün ortalama performans oranları %78.6 olarak bulundu. Çalışmada, PVSyst programı, %79.2 ile sistemden en az sapma gösteren bir performans oranını modelledi (Abbasoğlu & Babatunde, 2015).

Roberts ve arkadaşları, farklı PV performans modellerine genel bir bakış sunan ve performanslarını deneysel verilerle karşılaştırmayı amaçlayan bir çalışma yaptılar. Bu karşılaştırma sistem tarafından sağlanan gücü hesaplamaya izin veren ticari yazılım HOMER ve RETScreen kullanılarak yapıldı. Magdeburg, Almanya'da kurulu 2.2 kWp fotovoltaik bir sistemde bir veri toplama sistemi tarafından toplanan ölçümlerle simülasyon değerleri karşılaştırıldı. Elde edilen sonuçlara göre, yıllık bazda tüm simülasyon modellerinin yıllık üretilecek enerji miktarında daha az değerler sunduğu görüldü. Bununla birlikte, PV modülünün performansı, De Soto ve arkadaşları tarafından bulunan HDKR güneş radyasyon modeli ile % 1'den az hata payı ile ve doğruluğu en iyi olan sonuçları sunduğu tespit edildi. Simülasyonların, yıllık nihai enerji üretimini etkileyebilecek çeşitli belirsizlik kaynaklarına sahip oldukları tespit edildi (Roberts, Cassula, Junior, & Prado, 2015).

Marrero ve arkadaşları, Portekiz'in kuzeyinde yerleşik olan şebekeye bağlı bir 124.2 kWp kurulu gücündeki merkezi sistemin 3 yıllık üretim değerleri ile TRNSYS ve PVSyst yazılımları ile gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarını karşılaştırdı. Çalışmada simülasyonu yapılan tesisin 60 Wp amorf Si hücrelerden oluşan PV modülleri ve 24 evirici bulunmaktaydı. Çalışmada, etkinlik ve güç çıktısının doğru bir tahmininin elde edilebilmesi için, tüm bileşenlerinin özellikleri, PVSyst yazılımı ve TRNSYS yazılımında, meteorolojik verilerle birlikte aynı şekilde sunuldu. Simülasyonlarla elde edilen sonuçlar ve ölçülen çıkış gücü değerleri karşılaştırıldı. Sonuçlar, hem PVSyst hem de TRNSYS'nin bir PV sisteminin yıllık elektrik üretimini tahmin etmek için iyi araçlar olduğunu ve sonuçların ortalamada göreceli olarak %2 civarında değiştiğini gösterdi. Simülasyonlarda, PV modüllerinin yönlendirilmesi ve eğimi gibi parametreler analiz edildi ve PV sistem üretiminin iyileştirilmesi için öneriler sunuldu (Palmero-Marrero, Matos, & Oliveira, 2015).

2016 yılında Knutsson, çalışmasında Nepal'de bir okulun elektrik enerjisi ihtiyacının enerji depolama sistemi bulunan bir güneş enerjisi sistemi ile karşılanıp karşılanamayacağını incelemiştir. Sistemin Matlab Simulink üzerinden modeli kurularak simülasyonlar yapıp ticari bir ürün olan PVSyst yazılımı ile de aynı model için sonuçlar elde edip simülasyon sonuçlarını karşılaştırmıştır (Gunnarsson Knutsson, 2016).

2016 yılında Köprü, PV sistemlerde kullanılan doğru akım kablolarının neden olduğu enerji ve ekonomik kayıpları, benzetim ve deneysel ortamda kıyaslamıştır. Benzetim çalışmalarını fotovoltaik sistemlerin benzetim ve analizinde yaygın olarak kullanılan PVSyst programı yardımı ile deneysel çalışmalarını ise Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi ana binası terasına kurulan güneş paneli üzerinde gerçekleştirmiştir. PVSyst paket programında, deneysel çalışmada kurulan fotovoltaik sistemin benzetimi yapılarak PV sistemde meydana gelen kablo kayıplarını incelemiştir. Benzetim çalışmalarında kablo kesitlerini kayıplarının sistem verimini 1.5 mm²'lik kablo için %1.7, 4 mm²'lik kablo için %0.6, 10 mm²'lik kablo için ise %0.2 oranında etkilediğini tespit etmiştir. Yaptığı deneysel çalışmada ise küçük PV sistemlerde farklı kesite ve uzunluğa sahip solar kabloların kullanılmasının sistem çıkışını önemli ölçüde değiştirmediğini görmüştür (Köprü, 2016).

Okumuş 2016 yılında, fotovoltaik sistemler için, maksimum güç takibi sistemi, batarya sistemi, DA-DA artıran, DA-DA azaltan çevirici ve fotovoltaik panelden oluşan MATLAB/Simulink ortamında modelleme yapmış, fotovoltaik panel ve yükten oluşan

kurulu düzenden gerçek-zamanlı ölçümler ile elde edilen sonuçların simülasyon sonuçları ile uyumluluk gösterdiğini tespit etmiştir (Okumuş, 2016).

Kittisontirak ve arkadaşları, PV tahmin modellerinin doğruluğunu artırmak için yeni bir konsept önermektedir. Önerilen modelde, MATLAB / Simulink yazılımı ile modelleme yapılmış ve ölçüm parametreleri olarak güneş ışınımı ve modül sıcaklığı kullanılmıştır. Model, PV modülü güç çıkışı için tek diyotlu eşdeğer devreler (5-p modeli) ile geliştirildi ve modellemenin doğrulanması için diğer PV simülasyon yazılım programları kullanılarak sonuçlar karşılaştırıldı. Geliştirilen modelin doğruluğunu belirlemek için, dört ticari simülatör yazılım programı ve gerçek sistemin 1 yıl boyunca ölçülen sonuçları karşılaştırıldı. Çalışmada önerilen model çıktısının ölçülen verilerle iyi bir uyum içinde olduğu bulundu (Kittisontirak et al., 2016).

Kanyarusoke ve arkadaşları, TRNSYS simülasyon programının kullandığı modellemenin doğruluğunu araştırdı. Yaptıkları çalışmada, yazılımın veri tabanında listelenen hava istasyonlarından birinin yakınında bulunan belirli bir panel için gerçekliğe ne kadar yakın enerji verimi sağlayacağını bulmayı amaçladılar. 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, üretilen elektrik enerjisi verimi, fiili olarak % 90, modelleme ile % 80'lik kabul oranı düzeylerinde ve sırasıyla 0,722 ve 0,944'lik istatistiksel kapa değerleri bulundu. Çalışmada, TRNSYS modellemesinin, yazılımın listelenen istasyonlarından birinin yakınında kurulu olan PV panelinden enerji verimlerini güvenilir bir şekilde öngördüğü sonucuna varıldı (Kanyarusoke, Gryzagoridis, & Oliver, 2016).

Boulaid ve arkadaşları, Güney Fas'ta Assa'da (28.63° N - 9.47°W) bulunan 806,52 kWp'lik şebekeye bağlı fotovoltaik elektrik santralinin fiili ölçülmüş ve simüle edilmiş performanslarını karşılaştırdı. Çalışmada, sistemin bir yıllık saha verileri ile PVSyst yazılımı kullanılarak simüle edilen veriler karşılaştırıldı. Sistemin 31 Aralık 2015 tarihine kadar 1331.29 MWh enerji üretip şebekeye verdiği tespit edildi. Sistemin ölçülen ortalama özgül verim, nihai verim, referans verim, sistem verimliliği, performans oranı ve toplam enerji kayıpları, 1650,66 kWh/kWp, 4,57 kWh/kWp /gün, 6,763 saat/gün, % 9,97, %70,14 ve 2,053 kWh/kWp/gün olarak belirlendi. Bu parametrelerin simüle edilen değerlerinin, ölçülen sonuçlara yakın olduğu görüldü. Simüle edilen değerler sırasıyla, 1.384,01 MWh, 1.716,024 kWh/kWp, 4,68 kWh/kWp /gün, 6,022 saat/gün, %10,36, %77,9 ve 1,331 kWh/kWp/gün olarak tespit edildi (Boughamrane et al., 2016).

2016 yılında Mahachi, Güney Afrika'daki 75 MWp kurulu gücünde güneş PV santral için ölçülen ve simüle edilen enerji veriminde mevsimsel farklılıkların nedenini araştırmıştır. Yaptığı çalışmada, sabit bir eğimle 75 MWp kurulu güçlü santralin, kış aylarında simülasyon değerlerinden önemli ölçüde daha iyi performans sağladığını gözlemledi. PVSyst'te bir başlangıç verimi değerlendirmesi yaparak simüle edilen sonuçlar, ölçülen verilere göre değerlendirildi. Gerçek ve tahmini hava koşullarındaki farklılıkların, güneş PV tesis sahasında kaydedilen ışıınım ve ortam sıcaklığı değerleri kullanılarak değerlendirildi. PVSyst programındaki kayıp modelinin aşırı tahmin içerdiği ve bu modelin gerçek kayıp değerleri ile örtüşmediğini tespit etti. Simülasyonlarda, Hay ve Perez modelleri kullanılarak gerçek verilerle yıllık ortalama %5-%6,4 oranında daha az enerji değeri bulunduğunu tespit etti (Mahachi, 2016).

Haydaroğlu ve Gümüş, Dicle Üniversitesi bünyesinde kurulmuş olan 250 kWp'lik güneş enerji santralinin simülasyonunu PVSyst V6.39 simülasyon programı ile yaparak, IEC 61724 standardında belirtilen performans kriterlerine uygun olarak performansı analiz etmişlerdir. Çalışmada, santralin Aralık 2015 ile Nisan 2016 dönemi arasındaki üretim değerleri simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre santralin yılda ortalama 380.6 MWh enerji üreteceği öngörülmektedir. Santralin gerçek üretim değerlerinin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmasında Aralık ve Ocak aylarında sonuçların birbirinden daha çok uzaklaştığı görülmüştür. Şubat, Mart ve Nisan aylarında ise sonuçların %10'un altında fark ile yakınsadığı belirlenmiştir. Ocak ayı dışında gerçek üretim değerlerinin simülasyon değerlerinden daha büyük olduğu gözlenmiştir (Haydaroğlu & Gümüş).

2017 yılında Haydaroğlu yaptığı çalışmada, Dicle Üniversitesinde kurulu olan 250 kWp'lik GES'in simülasyonunu PVSyst simülasyon programı ile IEC 61724 standardında belirtilen performans kriterlerine uygun olarak yaparak gerçek ölçüm değerleri ile karşılaştırmıştır. Çalışmasında bir yıllık ölçüm değerleri ile simülasyon değerlerini karşılaştırmıştır. Yaptığı simülasyon ile güneşten elektrik enerjisi üretiminde etkili olan gölgelenme, kurulum açısı, panel verimliliği gibi parametrelerin üretilen enerji miktarına etkisi de belirlenmiştir. Çalışmada sistemin bir yıllık ürettiği enerji 385,86 MWh iken PVSyst simülasyon ile sistemden 380,6 MWh enerji üretebileceği tahmin edilmiştir (Haydaroğlu, 2017).

2017 yılında Şençiçek çalışmasında, Konya'da bulunan GES'den aldığı gerçek verileri, PVSyst yazılımı ile oluşturduğu simülasyon verileri ile karşılaştırmış, karşılaştırma sonucunda simülasyon verilerini gerçek verilere dönüştürme katsayısı

bulmuştur. Bu katsayıyı daha sonra İçel ili Mut ilçesindeki GES'ler için PVSyst simülasyon yazılımı yaptığı simülasyon verileriyle doğrultma yaparak Mut ilçesinde bulunan yüzer PV sistemden alınan veriler ile kıyaslamıştır. Tüm bu karşılaştırmalar sonucunda İçel'de bulunan yüzer PV sistemin yıllık enerji üretim miktarının, benzer ortam koşullarındaki (ışınım ve ortam sıcaklığı) arazi tipi PV sistemin yıllık enerji üretim miktarı ile yaklaşık olarak eşit olduğunu tespit etmiştir (Şençiçek, 2017).

2017 yılında Ceylan çalışmasında Isparta'da bulunan 1 MW kurulu gücündeki GES için PVSOL, Helioscope, Polysun ve PVGIS simülasyon programları ile yapılan simülasyon verilerini gerçek verilerle kıyaslamıştır. Çalışmasında, Isparta ilinde bulunan 1 MW kurulu gücündeki GES'in yıllık 1.702,29 MWh enerji ürettiği tespit edilmiş, gerçek verilere en yakın simülasyonun Helioscope ile yapıldığı tespit edilmiştir. Helioscope yıllık enerji üretimini 1.723,23 MWh olarak tahmin etmiştir. Gerçek verilere en yakın ikinci simülasyon PVGIS ile yapılmış ve yıllık 1.724,30 MWh enerji üretileceği tahmin edilmiştir. Bu iki simülasyon programının da gerçek verilere %1,24 oranında yakın tahminde bulunduğu belirlenmiştir. Çalışmasında gerçek verilere en uzak tahminin PVSOL programı ile yapıldığını tespit etmiştir. Bu program gerçek değerlerden %7,5 oranında daha az tahminde bulunmuştur (Ceylan, 2017).

Vokas ve arkadaşları, 10 kWp ile 100 kWp arasında değişen büyüklükteki 46 farklı lokasyondaki PV sistemlerinin 1 ile 6 yıl arasında değişen gerçek üretim değerlerini PVGIS simülasyon yazılımı kullanarak ve her sistem için farklı 5 tahmin modeli geliştirerek karşılaştırdı. Her sistem için 54 ölçüm değeri olmak üzere toplamda 870 ölçüm değeri, 230 farklı simülasyon ile karşılaştırıldı. Çalışma sonucunda, gerçek ile tahmin değerleri arasında en büyük fark %11,94, en düşük fark %0,46 bulundu. 46 PV sistemi için gerçek değerler ile tahmin değerleri arasındaki ortalama fark ise %6,33 olarak tespit edildi (Vokas, Lagogiannis, Papageorgas, & Salame, 2017).

Shahrestani ve arkadaşları ise yaptıkları çalışmada, doğal olarak havalandırılan bir PV cephe sisteminin enerji performansını değerlendirdiler. Çalışmalarında, sistemin gerçek enerji performansı, tipik havalandırılmalı bir PV cephe sisteminin uzun süre izlenmesi ile 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 havalandırılmalı PV 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 (Shahrestani et al., 2017).

2018 yılında Sağlam tarafından yapılan çalışmada, Adana, Konya, Osmaniye, Niğde ve Mersin illerinde bulunan 6 GES'in bir yıllık gerçek üretim değerleri PVSyst simülasyon programı ile simüle edilmiştir. Çalışmada PVSyst simülasyon yazılımında kullanılan meteorolojik veri tabanı olarak PVGIS-Classic, CMSAF, Meteonorm 7.1, NASA ve GEPA ve MGM kullanılmıştır. Çalışmasında bu bölgelerdeki en uygun veri tabanının GEPA ve MGM verileri olduğunu tespit etmiştir. Bu verilerle yapılan simülasyonların gerçek verilerden Konya ili için %0,4 daha az olduğunu, Niğde ili için %1 daha fazla olduğunu, Mersin için %12,5 daha fazla olduğunu, Adana için %6 daha fazla olduğunu, Osmaniye için %1,4 daha az olduğunu tespit etmiştir (Sağlam, 2018).

2018 yılında Tekkale yapmış olduğu çalışmada üç farklı GES'in üretim değerlerini PVSyst programı ile simüle edilen verilerle karşılaştırmıştır. Uşak, Kahramanmaraş ve Çankırı illeri için yapılan simülasyon ve gerçek veri karşılaştırmalarında P50 belirsizlik ölçümü verileri ile gerçek veriler arasında %0,31, P75 belirsizlik ölçümü ile gerçek veriler arasında %3,73 ve P90 belirsizlik ölçümü ile gerçek veriler arasında %7,04 fark bulunmuştur (Tekkale, 2018).

2018 yılında Aldudak yapmış olduğu çalışmada, Malatya, Bitlis, Adıyaman ve Afyon'da 1 MW kurulu güçteki GES için PVSyst yazılımında simülasyon yapmış, simülasyon sonuçlarını ise Malatya'da bulunan 1 MW kurulu güçteki GES'in Mart, Nisan ve Mayıs aylarındaki gerçek verileriyle karşılaştırmıştır. Karşılaştırma sonucunda Mart ayında gerçek verilerin tahmin edilen verilerden %4,4 daha az olduğunu, Nisan ayında tahmin edilen verilerden %10 daha fazla olduğunu, Mayıs ayında ise tahmin edilen verilerden %5,8 daha az olduğunu gözlemlemiştir (Aldudak, 2018).

2018 yılında Şimşek çalışmasında, Torbalıda bulunan 593 kWp gücündeki GES ile Gölbaşında bulunan 200 kWp gücündeki GES'in yıllık enerji üretim değerlerini PVSyst simülasyon verileriyle karşılaştırmıştır. Gerçek verilerle simülasyon sonuçlarının karşılaştırıldığı çalışmada sistem performans oranlarında gerçek verilerle tahmin edilen veriler arasında %1 fark olduğu tespit edilmiştir (Şimşek, 2018).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Simülasyon Programları

Simülasyon programları, PV tesislerin yatırım aşamasında planlamasında ve simülasyonunda, uygulama aşamasında mühendislik ve optimizasyonunda, finansman aşamasında geri dönüş hesaplarında kullanılabilir. Simülasyon programları ile sistemlerin sınır değerleri ve çalışma durumları kontrol edilebilir ve proje birçok farklı şekillerde simüle edilebilir. Finansman sürecinde doğru verim tahminleri ve tahmin raporları için simülasyon programlarının kullanılması gerekir. Simülasyon programları aynı zamanda araştırma ve geliştirme alanında da kullanılmaktadır. Bileşen üreticileri, yeni geliştirdikleri, iyileştirdikleri veya optimum hale getirdikleri bileşenlerini simülasyon programlarında kullanmaktadırlar. Böylece hatalı geliştirmelerin ve kısmen de olsa denemelerin kapsamı azaltılır. Simülasyon programları, bu uygulama seçeneklerinin yanında eğitim amacıyla da kullanılmaktadır.

Uzun bir süre boyunca belirli PV modülleriyle ve evirici tipleriyle çalışan mühendisler planlama ve verimle ilgili tecrübeye dayanan değerlere sahip olsa da tesislerin gölgelenmesinde genelde simülasyon programları bu konuda onların en yakın kaynağıdır. Şebeke bağlantılı PV sistemlerinin planlaması görüldüğü kadar kolay değildir. Her eviricinin DA tarafında kendine özgü bir maksimum güç noktası (MPP) aralığı vardır. Aynı zamanda her evirici belirli akım ve gerilim sınır değerlerine sahiptir ki bu da cihazların çalışma aralığını kesin olarak belirler. PV modül ve evirici gibi bileşenlerin çalışma aralıklarının birbirine uyması gerekmektedir. Her evirici PV modülüne göre çeşitli devre bağlantısı seçeneklerine sahiptir. Her olası devre bağlantısı için hava profilini ve PV modüllerin hizalanmasını ve eğimini ölçmek ve planlamak gerekmektedir. Simülasyon programları bu planlama için devreye girerek mühendislere yardımcı olabilmektedir. En yüksek verime sahip bileşeni veya ekonomik bakımdan en yararlı çözümü ararken veya karmaşık PV tesislerin ayrıntılı planlaması yapılırken ana kurallar ve tecrübeye dayanan bilgilerin yanında simülasyon programları bu tasarımın daha kısa sürede yapılabilmesini sağlamaktadır.

Simülasyon programlarının planlama desteğinin yanında yatırımcılar için enerji üretimi ile ilgili sonuçların yer aldığı rapor desteği de bulunmaktadır. Yatırımcılar

özellikle YEKDEM kapsamında üretilecek ve şebekeye verilecek enerji miktarı hakkında bilgi almak isterler. PV tesislerinin yatırımcıları ve işletmecileri optimum tesis çözümü, enerji tasarruf miktarı ve emisyonun azaltılması gibi konularda bilgi sahibi olmak isterler. Verim tespitleri, ekonomik verim hesaplamaları ve emisyon tasarrufu bilgileri gibi veriler PV tesislerinin avantajlarını gösteren ve yatırımcının yatırıma kadar vereceği parametrelerdir. Simülasyon programları yatırımcılara ve dolayısıyla yatırımcıların çalıştıkları tesisin planlamasını yapan mühendislere, tesis şemasını, parametreleri, veri sayfalarını, tesise özgü hesaplamaları, ürün adet listelerini, devre şemalarını, montaj ve kurulum uyarılarını ve şebeke dağıtım firması için gerekli olan belgeleri baskıya ve sunuma hazır bir rapor şeklinde oluşturmada yardımcı olabilmektedirler (Haselhuhn & Hemmerle, 2012).

Büyük ve karmaşık tesislerin simülasyonunda ve iyileştirilmesinde gerçekçi sonuçlar elde etmek için güçlü bir simülasyon programının yanında yazılımı kullanan mühendisin teknik bilgisi de önemlidir. Simülasyon sonuçları ancak gerçeğe yakın girilen parametreler ve doğru simülasyon yöntemi kullanıldığında gerçeğe yakın olabilir. Bilgisayara yanlış bir veri girilirse, sonuç da yanlış olacaktır. Bu nedenle her simülasyon sonucuna mutlak bir güven duyulamaz. Simülasyon sonuçları kontrol edilmeli ve gereken hassasiyete göre ciddi biçimde incelenmelidir.

Bu husus, üzerinde çalışılan meteoroloji ve üreticiler ile ilgili bileşen veri tabanları için de geçerlidir. Meteoroloji verileri bir PV tesisinin simülasyonunda en önemli husustur. PV modüllerin elektriksel davranışları modellenmiştir. Elektrik sisteminin yansıtıldığı simülasyon programı kısmında doğruluk oranı da oldukça yüksektir. Modelleme ve doğrulama çalışmaları ve de araştırmaları bize, şebekeye bağlı tesislerde simülasyon programlarının elektronik ve elektrik simülasyonlarının birkaç iyileştirme ile gerçeğe çok yakın olabileceğini göstermiştir. Programlarda bilgi girişi yapılan alanların karmaşık olması deneyimsiz kullanıcıların hata yapmasına neden olmakla beraber bazı program geliştiricileri bilgi alanları için uygunluk kontrolü yaptırmaktadır.

Programlarda yetersiz hesaplama algoritmaları da hatalı veya gerçek dışı sonuçlar verebilmektedir. Bilgisayar programlarının hatasız çalışmadığı, programcının çalıştığı yaygın işletim sistemlerinde veya ofis paketlerinde de görülebilir. Buna karşın güneş enerjisinde kullanılan simülasyon programları ya bir kişi tarafından ya da küçük ekipler tarafından geliştirilmiştir. Satış adetleri düşüktür, hatayla ilgili geri bildirimler nadiren olur ve maliyet baskısı nedeniyle hazır bir yazılım üzerinde sürekli bakım ve geliştirmenin devam etmesi zordur. Simülasyon programlarının uygulaması aşamasında

uygunluk kontrolleri her zaman önemlidir ve programlar tarafından elde edilen sonuçlar kullanıcının tecrübesine ve bilgisine dayanarak kontrol edilmelidir. Şebekeye bağlı tesislerde performans oranı veya yıllık spesifik verim (kWh/kWp) çok iyi referans bilgileri sunmaktadır. Bu değerlendirme parametreleri çoğu simülasyon programında kullanılmaktadır (Haselhuhn & Hemmerle, 2012).

PV tesislerin planlamasında ve simülasyonunda en fazla gölgelenme durumları zorluk oluşturmaktadır. Dik bir düz çatı veya açık alan tesisinde modül serileri birbirlerine gölge yaparlar (doğal gölgelenme). Ağaçlar, binalar, direkler gibi yakın çevrede bulunan nesnelere PV modülü kısmen veya komple gölgeleyebilir (direkt gölge veya yakın gölge). Ayrıca dağlar ve ormanlar gibi ufuk çizgisi yükselteleri modüllere gölge düşürebilir (yatay veya uzak gölgelenme). Gölgeler tesisin verimini ve optimum çalışmasını (baypas ve dizi diyotları, modül devresi ve evirici çalışması) etkiler. Gölgeleme kayıplarını tespit etmek için ve elektrik ve geometrik tesis planlamasını optimum hale getirmek için simülasyon programları gerekir. Gölgeleme analizi bu nedenle PV tesislerinin simülasyonunda hassas bir konudur.

Simülasyonda standart olan beklenen bir veya birden fazla kısmi modüle bağlı olarak ufuk görüntülerinin yardımıyla bir gölgelenme tespitinin yapılmasıdır (Greenius, Polysun, PV-Sol, vs). Geniş çevreden kaynaklanan gölgelenme etkileri bu sayede yeterince göz önünde bulundurulur. Gölgeleme analizinde yardımcı olabilecek ve dijital fotoğrafları simülasyon için ufuk çizgilerine dönüştüren üç program vardır (HorizOn, HORICatcher ve Suneye). Meteororm ve PVGIS dijital bir arazi modelinin yardımıyla her yer için ufuk görüntülerinin oluşturulması seçeneğini sunmaktadır. Karmaşık gölgelenme durumlarında veya yakın gölgelerde 3D simülasyonu yardımıyla ayrıntılı bir gölgelenme tespiti yapmak mümkün olmaz. PVSOL, PVSYST ve SolarPro bunun yanında 3D parametrelendirmesi için giriş seçenekleri sunmaktadır. PVSOL'de baypas 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 PV modülünün tüm alanı bazında dikkate almaktadır. Modül sırası tanımı ve sıra gölgelenmesinin yansıtılması PVSYST'de başarılı bir şekilde uygulanmaktadır (Haselhuhn & Hemmerle, 2012).

Simülasyon programlarının önemli bir kullanım alanı da verim hesaplamaları ve verim raporlarının oluşturulmasıdır. İyi bir verimlilik raporunun alınabilmesi için de meteorolojik veri tabanlarının ve bileşenlerin değiştirildiği birkaç farklı senaryonun denenmesi gerekmektedir. Simülasyon verilerinin oluşmasında en büyük girdiyi

meteorolojik veriler oluşturmaktadır. Bu nedenle proje alanına en yakın ölçüm istasyonlarının bulunduğu meteorolojik veri tabanının kullanılması tahmin değerlerinin gerçeğe daha yakın çıkmasına yardımcı olacaktır. Ayrıca simülasyon yazılımlarındaki modül ve evirici üreticilerine ait veri tabanlarının doğruluğu da yapılan tahminler için önemli bir yer tutmaktadır. Veri tabanlarındaki verilerin uygunluk kontrollerinde bazı veri hatalarıyla karşılaşmaktadır. Bunun sebeplerinden bir tanesi de üreticilerin gerekli bilgileri yazılım firmalarıyla paylaşmamasıdır.

Bir verim raporunun sonuçlarını en fazla simülasyon programının kullanıcı etkileyebilir. İyi bir rapor için tecrübeye dayanan bilgilere, meteorolojik ve bileşen veri tabanlarının doğruluğuna ve uygulanacak yöntemler hakkında kapsamlı bilgilere gerek vardır. Bir program ne kadar esnek kullanılıyorsa, kullanıcıya düşen pay o kadar yüksektir. Bu durumda kullanıcının konuya hakim ve bilgili olması gerekir. Bu tezin bir amacı da en yaygın simülasyon programlarının etkili şekilde kullanılmasına katkı sağlamaktır.

Simülasyon programları fonksiyonları bakımında iki gruba ayrılmaktadır. Birinci grupta hesaplama programları yer alır. Bu programlar istatistik yöntemleriyle basit hesaplamaların kombinasyonuna dayanır. Çoğu zaman verimler aylık değer bazında belirlenir. Hesaplama programları uygulamaya yakındır ve karmaşık giriş prosedürleri olmadan sonuçları hızlı verir. Genelde fazla esnek değildir ve sadece standart sistemler için kullanılabilir. Hesaplama programları sıklıkla ekonomik verim hesabı için kullanılır. Bu programlar ekonomik verimi doğru şekilde incelemeye izin verse de, tesisin çalışması ile ilgili kapasite oranı, anlık verimi gibi kısımlarda genel ve belirsiz bir tahmin verir. Bu programlarda diğer bir eksik ise karmaşık finans modelleri (çeşitli kredilerin, mahsuplaşmaların, vergilerin kullanılması vb.) ve farklı ekonomik hesaplama ve gösterim yöntemlerinin olmamasıdır. Bu nedenle, gerektiğinde ekonomik hususlara odaklanmış ek hesaplama programları kullanmak gerekir (Haselhuhn & Hemmerle, 2012).

İkinci grupta ise zamana bağlı olarak hesaplama yapabilen simülasyon programları bulunur. Bu programlar geniş uygulama alanından dolayı oldukça yaygındır. Bu programlarda, gerçek sistemi büyük oranda doğru yansıtan modeller kullanılmaktadır. Sistemin davranışı burada meteorolojik verilerin zaman sırası esas alınarak hesaplanır ve genelde saat bazında hesaplamalar yapılır. PV modülleri, eviriciler, bataryalar gibi çeşitli bileşenler için modeller veya tüketiciler için çok sayıda belirlenmiş tesis çeşitleri programlara entegre edilmiştir.

Tesis saat başı veya daha kısa aralıklarla güneş ışınım verileri, sıcaklıklar ve tüketim değerleri yardımıyla tipik bir simülasyon aralığı (genelde 1 yıl) için simüle edilir. Zamana bağlı simülasyon programları, hesaplama programlarına göre oldukça esneklerdir. Bu nedenle kullanıcıya daha çok iş düşer. Simülasyon sistemlerinin yüksek esneklik gibi avantajlarından faydalanmak için uzun süre çalışmak gerekir. Kullanıcı dostu ekrana sahip profesyonel simülasyon programlarında bir tesis simülasyonunu deneyimsiz bilgisayar kullanıcıları bile ilk saatlerde çözebilir. Buna karşı simülasyon sistemlerinde oryantasyon süresi birkaç gün hatta hafta olabilir. Bu bakımdan özellikle araştırma ve geliştirme amacına oldukça uygundur (Haselhuhn & Hemmerle, 2012).

PV tesislerinin simülasyonu, verim tahminleri ve ayrıntılı planlamaları için hava verileri gerektirmektedir. Bunlar genelde simülasyon programlarının veri tabanlarında kayıtlıdır ancak farklı veri kaynaklarını kullanmak da simülasyonun doğruluğu için yararlı olabilir. Bilinen kaynaklarda ışınım verileri genelde ufuk düzleminde küresel ışınım olarak belirtilir. Verim hesabı için yatay ışınımı modül düzeyine dönüştürmek gerekmektedir. Bir taraftan bazı veri kaynaklarında düzlemle ilgili oryantasyon önceden tanımlanmış ve dolayısıyla ışınım verileri hazır olarak sunulmuştur. Küresel ışınım bir direkt ışınım kısmından bir de fark ışınım kısmından oluşur. Bunlar modül simülasyonu ve gölgeleme etkilerinin hesaplanması için gereklidir. Sıcaklık ve rüzgar hızı da tesisin doğru analizi için gereklidir. Simülasyon programlarına entegre hava bilgileri genelde meteorolojik servislerden alınmıştır. Bunlar ışınım verilerini yüksek doğrulukta piranometrelerle ölçerler. Simülasyon programları PV modüllerinin spektral hassasiyetini düzeltme faktörleriyle göz önünde bulundururlar. Dolayısıyla ışınım verilerinde genelde piranometre değerleri kabul edilmektedir. Simülasyon programlarında yerin karakterize edilmesi için aylık ve saatlik ortalama değerlere gerek vardır. Bazı programlar saatlik ışınım verilerinin (ortalama saatlik değerler) doğrudan sisteme alınmasına da izin vererek gerçeğe yakın çalışma döngüleri simüle edilebilmektedir (Haselhuhn & Hemmerle, 2012).

Birinci bölümde de bahsedildiği üzere son yıllarda artan GES kurulu gücü, beraberinde PV sistemlerinin tasarımı, simülasyonu, veri analizi ve arıza tespiti için kullanılacak yazılımlara olan talebi de arttırmaktadır. Bu talebi karşılamak için piyasada ondan fazla yoğun kullanılan simülasyon programı mevcuttur (Çizelge 3.1). Bu programların birbirine göre avantajları ve dezavantajları Çizelge 3.1’de gösterilmektedir. Bu çalışmada Konya ve Karaman illerinde üretim yapan 4 adet GES’in gerçek verileri

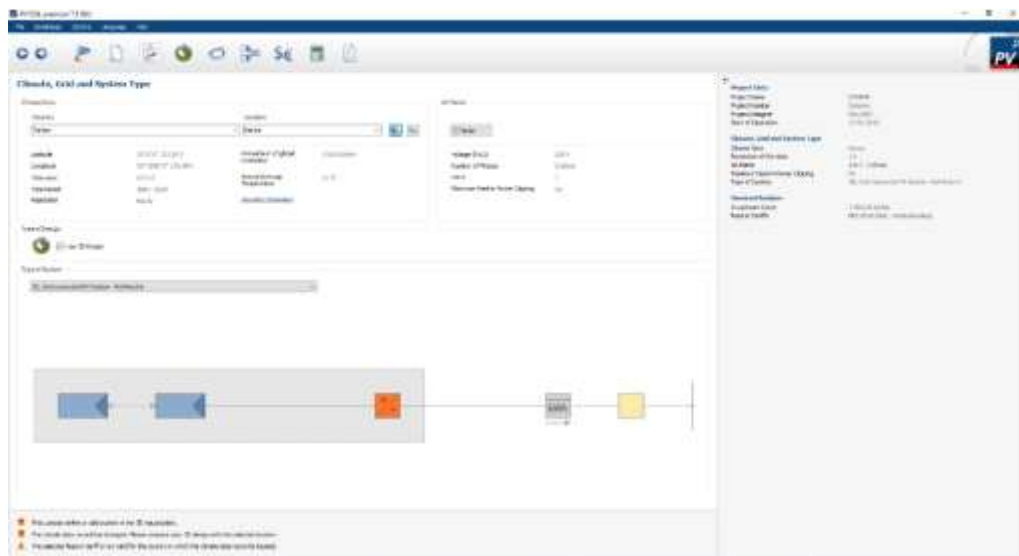
PVSyst, PVSOL ve PVGIS programları kullanılarak karşılaştırılacaktır. Bu nedenle, piyasada bulunan programlardan bu üçü hakkında daha ayrıntılı bilgi verilecektir.

Çizelge 3.1. Piyasada Yaygın Olarak Kullanılan PV Simülasyon Programları, (Jacques, Bissey, Ren, Caldeira, & Engineering, 2014)

Yazılımın Adı	Yazılım Geliştirici	Maliyeti	Yazılımın Amacı	Avantajları	Dezavantajları
Archelios	University of Savoie, France	Ücretsiz	GES sistemi boyutlandırma ve planlama, Güneş ışınımı hesaplama	Kullanımı kolay	Esneklik
Calsol	INES, Lyon, France	Ücretsiz	GES sistemi boyutlandırma ve planlama	Resmi kaynaktan meteorolojik veriler elde etme	Esneklik
Homer	National Renewable Energy Laboratory, USA	Ücretsiz	GES sistemi boyutlandırma ve planlama, finansal çalışmalar	Hibrit sistem boyutlandırma	Hesapların doğruluğu
Tecsol	Languedoc-Roussillon region, France	Ücretsiz	GES sistemi boyutlandırma ve planlama	Kullanımı kolay, çevresel ve finansal çalışmalara imkan verme	Esneklik
Pv f-chart	University of Wisconsin, USA	Ticari Program	GES sistemi boyutlandırma ve planlama	Komple bir yazılım	Hesapların doğruluğu
PVGIS	European Commission	Ücretsiz	GES sistemi boyutlandırma ve planlama	Kullanımı kolay, iklim verisi haritalama	Esneklik
PVSOL	Valentin company, Germany	Ticari Program	GES sistemi boyutlandırma ve planlama	Komple, grafiksel araçlar	Hesapların doğruluğu
PVSyst	University of Geneva, Switzerland	Ticari Program	Komple GES sistemi boyutlandırma ve planlama	Esnek, grafiksel araçlar, gölgeleme	Grafiksel araçlar
Pvwatts	National Renewable Energy Laboratory, USA	Ücretsiz	GES sistemi boyutlandırma ve planlama	Doğru hesaplamalar	Şebekeye bağlı sistem boyutlandırma
Retscreen	Natural Resources, Canada	Ücretsiz	Çevresel ve finansal çalışmalar	NASA'nın meteorolojik veri tabanını kullanabilme	Esneklik, PV aracı
Sam	National Renewable Energy Laboratory, USA	Ücretsiz	GES sistemi boyutlandırma ve planlama, finansal çalışmalar	Tam ve doğru hesaplamalar	Evirici veri tabanı

3.1.1.1. PV*SOL

PV*SOL simülasyon programı, 5000 adet PV modüle kadar monte edilmiş tüm PV sistemlerin gölgelendirmelerini hesaplayabilmektedir. PV*SOL simülasyon programında 3D menü navigasyonu da bulunmaktadır. Bu menü, arazi görünümü, nesne görünümü, modül kapsama alanı, modül montajı, modül konfigürasyonu ve kablo planı seçenekleri ile 6 bölümden oluşmaktadır. Şebekeden bağımsız sistemler için, alternatif akım ile bağlı yükler üzerinde profesyonelce planlama ve benzetim yapılabilmektedir. PV sistem tasarımı oluşturabilmek için sırasıyla; harita tabanı üzerinden istenilen enlem ve boylam parametreleri, PV modülün teknik özellikleri, toplam kapasiteleri ve montaj bilgileri (montaj eğimi, yatay azimut açısı ve montaj sahası özellikleri), evirici sayısı, teknik özellikleri ve dizilişi, sistem kurulumunda kullanılacak olan tüm enerji kablolarının uzunluğu ve kesitleri, 3D görsel tasarım seçeneği ile PV bileşenlerin görselleştirilmesi adımları takip edilmektedir. PV*SOL simülasyon programında iklim veri tabanı olarak MeteoSyn kullanılmaktadır. İstenilirse kullanıcının tercihi doğrultusunda mevcut ölçülen değerlerden ekleme yoluyla ya da kullanıcının kendisinin aylık ortalama değerlerine göre hesaplamalar yapılabilmektedir (Şekil 3.1). PV*SOL simülasyon programı girilen parametrelere dayalı olarak bir verim simülasyonu görüntüler. Veri tabanında bulunan her PV modül için matematiksel karakteristik çizginin yeniden hesaplanması söz konusudur. Bu da modül verimlerinin tam olarak hesaplanacağı anlamına gelmektedir. PV*SOL simülasyon programının öğrenciler ve şirketler için iki ayrı ücretlendirilmesi mevcuttur (Ceylan, 2017).



Şekil 3.1. PV*SOL Simülasyon Programı Ekran Görüntüsü

3.1.1.2. PVSyst

PVSyst İsviçre'deki Cenevre Üniversitesi tarafından geliştirilmiş bir simülasyon programıdır. PVSyst programı ile PV sistemleri için boyutlandırma, simülasyon ve veri analizi yapılabilmektedir. Bu yazılım, mimar, mühendis ve araştırmacılar için araçlar içermektedir. PVSyst programı ile şebekeye entegre sistemlerin modellenmesi yapılabildiği gibi şebekeden uzak sistemlerin de modellenmesi yapılabilmektedir (Şekil 3.2).

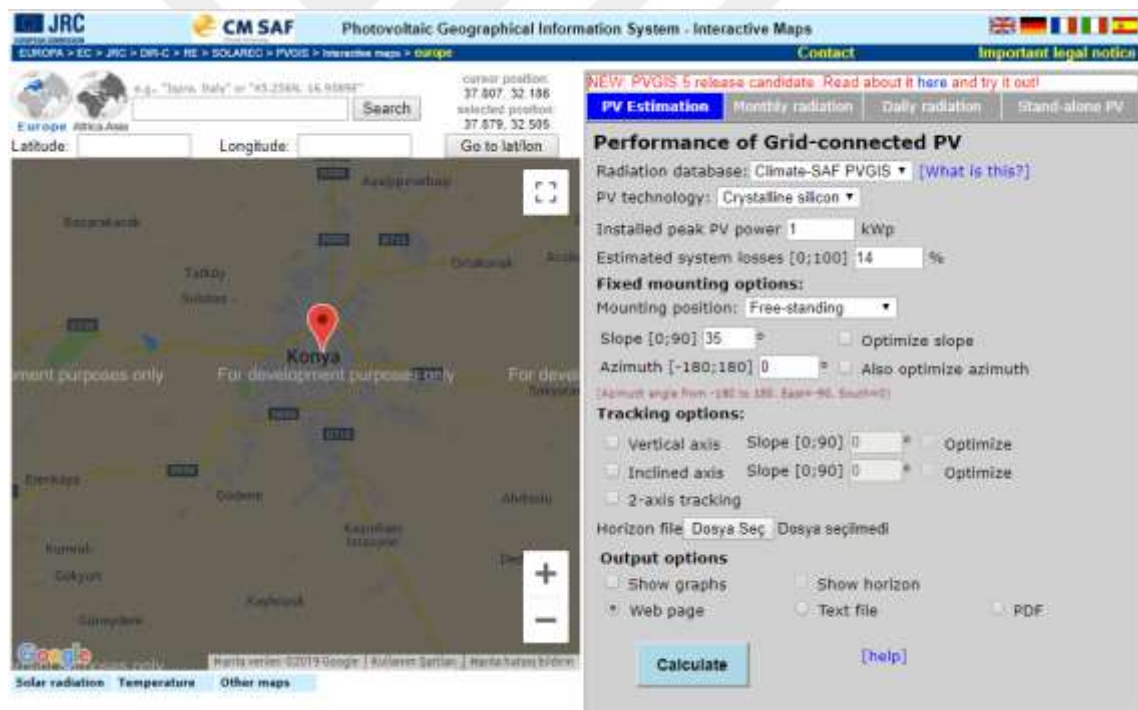
PVSyst programı simülasyon programları içerisinde bankalar tarafından kabul edilen ender programlardan biri olarak tanımlanmaktadır ve program C programlama dili ile yazılmıştır. PVSyst yazılımı hesaplamalarını gerçekleştirirken birçok ince detayı göz önüne almaktadır. Bunlar arasında; meteorolojik veriler, bölge kirlilik oranları (kum fırtınası, çamur yağmuru vb.), ayrıntılı güneş ışınım değerleri, gölgelenme analizleri, yer yansımaya oranları (Albedo), yerleşim planları, güneş paneli yönü ve açısı, güneş panelinin özellikleri, güneş panellerinin yıllık güç düşümü oranları, eviricilerin özellikleri, kablo mesafeleri, bağlantı noktası sayısı, şebeke özellikleri gibi detaylar yer almaktadır. Bu detayların birçoğu yazılımın kendi içinde yer alan kütüphanesinden elde edilebileceği gibi bir bölümü de dışarıdan eklenebilmektedir. Dışarıdan eklenebilen en önemli özelliklerden birisi gölge analizi olarak kabul edilmektedir (Girgin, 2011).



Şekil 3.2. PVSyst Simülasyon Programı Ekran Görüntüsü

3.1.1.3. PVGIS

PVGIS, Avrupa Komisyonu'nun kendi bünyesindeki bilim servislerinden Ortak Araştırma Merkezi tarafından geliştirilen ve kullanılan ücretsiz bir PV enerji hesaplama programıdır (Şekil 3.3). 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 PV enerji hesaplayıcı simülasyon programıdır. Bu uygulama kullanıcı tarafından, harita üzerinden istenilen enlem ve boylam parametreleri, PV modülün çeşidi ve toplam kapasiteleri, sistem performans oranı, modül montaj özellikleri ve açıları, izleme özellikleri gibi parametrelerin belirlenmesiyle bir PV sistemin aylık ve yıllık, güneş ışınım değerlerini kWh/m², potansiyel elektrik üretimini kWh cinsinden hesaplamaktadır (Ceylan, 2017).



Şekil 3.3. PVGIS Simülasyon Programı Ekran Görüntüsü

3.1.2. IEC 61724 Performans Analiz Standardı

1906'da kurulan IEC (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu), 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 (IEC, 2019).

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, PV sistemlerin elektriksel performansının izlenmesi ve analizi için genel kuralları tanımlar. Standart, PV bileşenlerinin teker teker performansını değil bir dizinin performansını bir PV sisteminin parçası olarak değerlendirmeye odaklanır (Çizelge 3.2). Veri analizinin amacı, farklı boyutlardaki PV tesisatlarını karşılaştırmak, farklı iklimlerde çalışan ve farklı kullanımlar için enerji sağlamak için farklı tasarımların veya işletme prosedürlerinin göreceli değerlerinin ortaya çıkacağı şekilde bir performans özeti sunmaktır. Ayrıca, standartta kuruluşlar arasında izleme verisi alışverişi için kullanılacak bir dosya formatını tanımlayan kılavuzlar da eklenmiştir (IEC61724, 1998).

Çizelge 3.2. IEC 61724 Standardı Türetilen ve Hesaplanan Parametreler, (IEC61724, 1998)

<i>Parametre</i>	<i>Sembol</i>	<i>Birim</i>
Meteoroloji		
Dizinin düzlemindeki günlük global veya direk radyasyon	$H_{I,d}$	$kWh \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$
Enerji Miktarları		
Diziden Elde Edilen Net Enerji	$E_{A, \tau}$	kWh
Yüke Aktarılan Net Enerji	$E_{L, \tau}$	kWh
Şebekeye Verilen Net Enerji	$E_{TUN, \tau}$	kWh
Şebekeden Alınan Net Enerji	$E_{FUN, \tau}$	kWh
Toplam Sistem Giriş Enerjisi	$E_{in, \tau}$	kWh
Toplam Sistem Çıkış Enerjisi	$E_{use, \tau}$	kWh
Sistem performans endeksleri		
Dizi Verimi	Y_A	$h \cdot d^{-1}$
Nihai PV Sistem Verimi	Y_f	$h \cdot d^{-1}$
Referans Verim	Y_r	$h \cdot d^{-1}$
Dizi Yakalama Kayıpları	L_c	$h \cdot d^{-1}$
BOS kayıpları	L_{BOS}	$h \cdot d^{-1}$
Performans Oranı	R_p	Boyutsuz
Ortalama Dizi Verimliliği	$\eta_{Amean, \tau}$	Boyutsuz
Genel PV Santral Verimliliği	$\eta_{tot, \tau}$	Boyutsuz

Performans parametrelerinden ilki olan referans verim (Y_R) belli bir düzleme gelen toplam güneş ışınımının (H_t) referans ışınımına G (1 kW/m^2) oranıdır ve aşağıdaki eşitlikle tanımlanır:

$$Y_R = \frac{H_t \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right)}{G \left(\frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \right)} \quad (3.1)$$

Diğer bir performans parametresi ise dize verimidir (Y_A). Dize verimi, belli bir periyotta (gün/ay/yıl) sistemin PV dizelerinden üretilen enerjinin kurulu güce oranıdır ve aşağıdaki eşitlikle ifade edilir:

$$Y_A = \frac{E_{A,d}(\text{kWh})}{P_0(\text{kW})} \quad (3.2)$$

Bu eşitlikte $E_{A,d}$ sistemin ürettiği enerji, P_0 ise sistemin kurulu gücüdür.

Kullanılan performans parametrelerinden bir diğeri de nihai verimdir (Y_f). Nihai verim, belli bir periyotta (gün/ay/yıl) sisteme verilen enerjinin kurulu güce oranıdır ve aşağıdaki eşitlikle ifade edilir:

$$Y_f = \frac{E_{USE,PV}}{P_0} \quad (3.3)$$

Bu eşitlikte $E_{USE,PV}$ sisteme verilen enerji, P_0 ise kurulu güçtür.

IEC 61724 standardında tanımlanan performans kriterlerinden biri olan performans oranı (PR), nihai verimin referans verime oranı olarak tanımlanır. Bu parametre, performansı ve uzun vadeli değişiklikleri değerlendirmek için kullanılır (Aste, Del Pero, & Leonforte, 2013).

$$PR = \frac{Y_f}{Y_R} \quad (3.4)$$

Kapasite faktörü (CF), bir yıl boyunca üretilen toplam enerjinin, yıllık PV panel potansiyel enerjisine oranı şeklinde ifade edilir (Milosavljević, Pavlović, & Piršl, 2015).

$$CF = \frac{E_{AC,a}}{8760 \times P_{PV,Rated}} \quad (3.5)$$

Bu eşitlikte $E_{AC,a}$ bir yıl boyunca üretilen toplam enerjinin kWh cinsinden değeri, $P_{PV,Rated}$ kurulu PV gücünü, 8760 ise bir yıldaki saat sayısını ifade eder.

İncelenen sistemin verimi aşağıdaki eşitlikle ifade edilir:

$$\eta_{sys,m} = \frac{E_{AC}}{H_t \times A_a} \quad (3.6)$$

Burada E_{AC} sistemin ürettiği AA gücü, H_t sisteme gelen ışınımı, A_a sistem yüzey alanını ifade eder.

Ayrıca sistemde gerçekleşen enerji kayıpları da hesaplanabilir. Sistemin gerçek şartlar altında işletilmesinde santral yapısında bulunan çeşitli bileşenlerden dolayı kayıplar meydana gelir. Bu kayıplar aşağıdaki gibi ifade edilir (Haydaroğlu, 2017).

Dize kaybı (L_C), sistemin üretilen referans verimi ile dize verimi arasındaki farktır:

$$L_C = Y_R - Y_A \quad (3.7)$$

Sistem kaybı (L_S) ise dize verimi ile nihai verim arasındaki farktır:

$$L_S = Y_A - Y_f \quad (3.8)$$

3.2. Yöntem

Yapılan çalışmada, dünyadaki, ülkemizdeki ve Konya-Karaman illerindeki güneş enerjisi ile ilgili güncel gelişmelere değinilerek gelecek projeksiyonları çizilmiş, GES yatırımlarının dün ve bugünkü durumu ile yarın ile ilgili tahminlerde bulunulmuştur. Çalışmamızda, GES yatırımlarının artarak devam edeceği sonucu çıktığından yapılacak yatırımlara yol gösterici olabilmek adına yatırımların öncesinde kullanılan simülasyon programlarının Konya ve Karaman illerinde ne kadar doğru sonuçlar tahmin ettiği araştırılmıştır. Bu kapsamda daha önce simülasyon programlarının gerçek verilerle

karşılaştırıldığı çalışmalar incelenmiş ve literatür taraması yapılmıştır. Sonrasında simülasyon programları incelenmiş genel özellikleri irdelenmiştir. Çalışmada kullanılacak olan PVSyst, PV*SOL ve PVGIS ile ilgili bilgiler verilmiştir. Simülasyon sonuçlarının gerçek verilerle karşılaştırılacağı parametrelerin yer aldığı IEC 61724 sayılı standart ile ilgili bilgiler verilmiştir. Yazılımların kullandığı hesaplama açıları ve hesaplama modelleri ile ilgili bilgiler verilerek en son olarak ekonomik analiz için gerekli olan bilgiler sunulmuştur.

Çalışmada Konya'da üç adet, Karaman'da bir adet olmak üzere toplamda 4 adet 250 kW ile 1 MW arasında değişen GES'in bir yıllık ürettiği enerji ile PV*SOL, PVSyst ve PVGIS simülasyon programları ile yapılan tahmin sonuçları karşılaştırılmıştır.

3.2.1. Güneş Açılımları

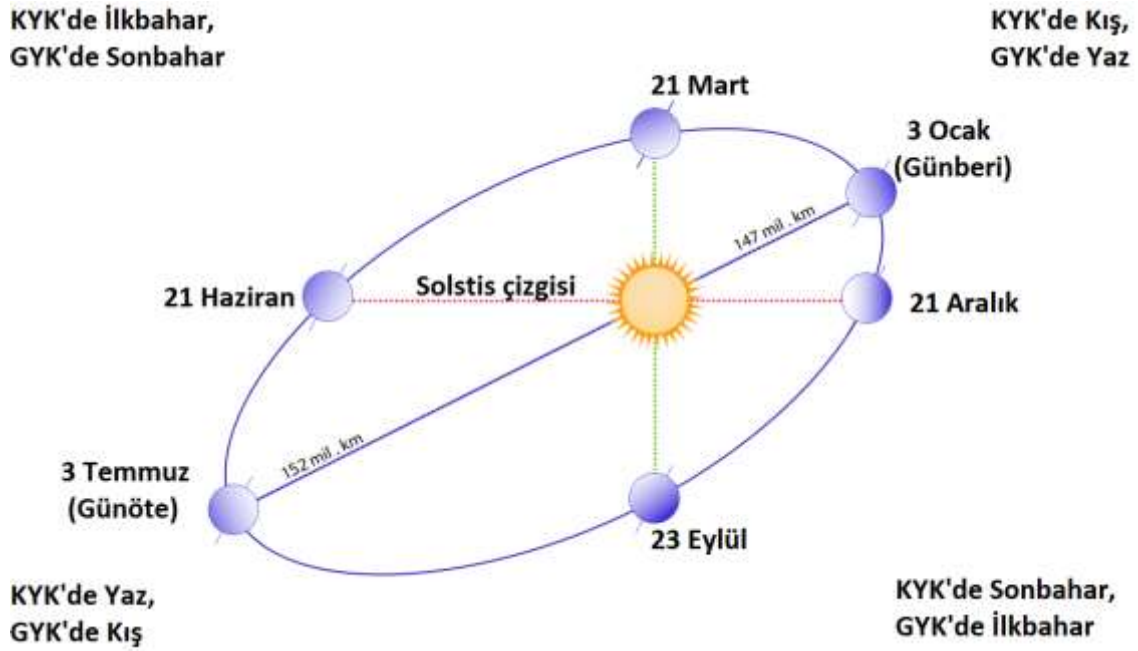
Güneş, ışınımıyla, dünyada yaşamı mümkün kılan enerjiyi sağlamaktadır. Bu ışınım, güneşin içinde, hidrojen atomlarının eriyerek helyum atomlarına dönüşmesi yoluyla meydana gelir. Bu tepkimede kütle bir kısmı enerjiye dönüşür. Böylece güneş devasa bir füzyon reaktörü olarak işlev görür. Güneş ile dünyanın arasındaki büyük mesafe yüzünden, güneş ışınımının sadece çok küçük bir kısmı (yaklaşık milyonda biri) yeryüzüne ulaşır. Bu ise 1x1.018 kWh/yıl kadar bir enerji miktarına eşdeğerdir. Bulduğumuz endüstri çağında öncelikle kullanılan enerji kaynakları bir gün tükenecektir. Teknik ve bilimsel açıdan güvenli olarak elde edilebilir petrol ve doğalgaz rezervlerinin tükenmesi, bulduğumuz yüzyılın ilk 30 yılı içinde beklenmektedir. Bu süre zarfında yeni ve büyük petrol ya da doğalgaz yatakları keşfedilse bile, fosil enerji kaynaklarının yeteceği süre en fazla birkaç yıl kadar uzayacaktır (Haselhuhn & Hemmerle, 2012).

Yeryüzüne düşen güneş ışığının enerji miktarı, dünya enerji ihtiyacının yaklaşık olarak 10 bin katıdır. Böylece insanlığın tüm enerji ihtiyacını karşılamak için, güneş ışığı enerjisinin sadece %0,01'inin değerlendirilmesi yeterlidir.

Güneş ışınımının dünya atmosferinin dışındaki yoğunluğu, dünya ile güneş arasındaki mesafeye bağlıdır. Yıl boyunca bu mesafe, 147 ile 152 milyon kilometre arasında değişir (Şekil 3.4).

Bu nedenle güneşe dik bir alana düşen ışınım gücü E_0 yıl boyunca 1.325 W/m² ile 1.420 W/m² arasında değişir. Bu değer yıl ortalamasına güneş sabiti denir.

Güneş sabiti: $E_Q = 1.367 \text{ W/m}^2$

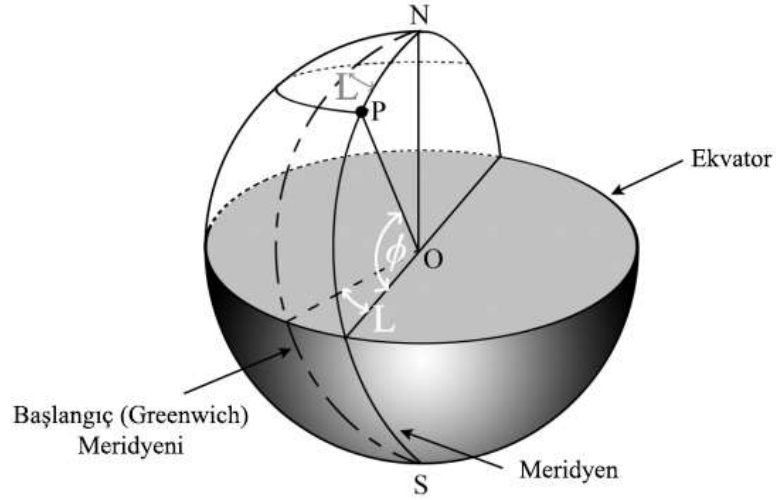


Şekil 3.4. Dünyanın Güneş Etrafındaki Hareketleri
Kaynak : <https://cografyahocam.com/dunyanin-yillik-hareketi-ve-sonuclari>

Dünyanın atmosferi, (ozon gazı, su buharı, oksijen ve karbondioksit nedenli) yansımaya, soğurma etkisi ve (hava molekülleri, toz parçacıkları ve kirler nedenli) yayılım sonucu güneş ışınının azalmasına neden olur. Yeryüzüne, açık havada öğle saatlerinde yaklaşık 1.000 W/m^2 'lik bir ışınım gücü ulaşır. Bu değer, her yerde neredeyse aynıdır. Ancak en yüksek ışınımlar, az bulutlu, güneşli günlerde görülür. Güneş ışınlarının geçmekte olan bulutlara yansımaya sonucu kısa süreli olarak 1.400 W/m^2 düzeyinde ışınım pikleri elde edilebilir. Güneş ışınım gücüne anlık küresel ışınım da denir (Haselhuhn & Hemmerle, 2012).

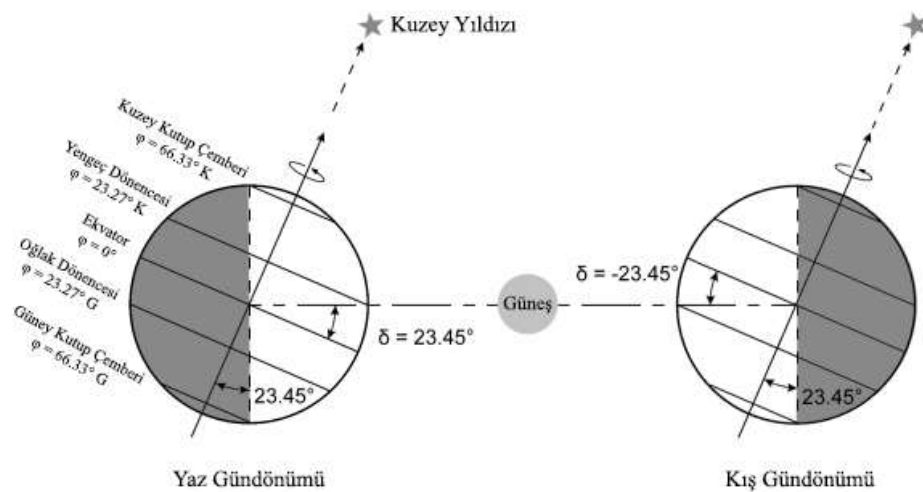
Dünya, kutuplardan biraz basık, ekvator'dan şişkin kendine özgü bir şekle sahiptir. Buna geoit denir. Güneş enerjisi hesaplamaları için Dünya'ya yaklaşık 12.800 km çapında basit bir küre gibi davranmak yeterlidir. Dünya yüzeyindeki noktalar, boylam ve enlem açısından tanımlanır. Bir noktanın (P) enlemi, noktadan Dünya'nın merkezine çizilen bir yarıçap ile Dünya'nın merkezinden, Şekil 3.5'de gösterildiği gibi, Ekvator'a çizilen bir yarıçap arasındaki açıdır, değerler 0° ila 90° arasındadır ($0^\circ - 90^\circ$ Kuzey ve $0^\circ - 90^\circ$ Güney). Burada 0° ekvator'daki herhangi bir noktanın enlemidir. Bir noktanın boylamı, Greenwich (Başlangıç) meridyen ile noktadan geçen meridyen arasındaki açıdır. Bir

meridyen, her iki kutuptan geçen bir çevredir (0° - 90° Doğu ve 0° - 90° Batı). Burada 0° , Greenwich meridyenindeki herhangi bir noktanın boylamıdır (ITACANET, 2019).



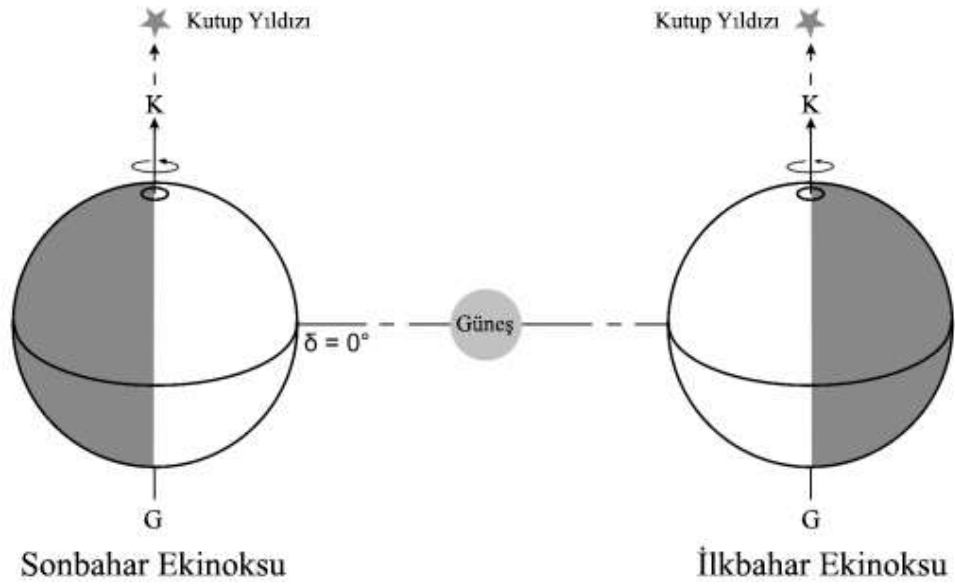
Şekil 3.5. Yeryüzündeki P Noktasının Enlem ve Boylam Bilgileri L =Enlem, ϕ = Boylam
Kaynak : (ITACANET, 2019)

66.33° kuzeyin üzerindeki tüm enlemler Arktik Kuşak (Kutup) içinde, 66.33° güneyin altındaki tüm noktalar Antarktika Kuşağının (Kutup) içindedir (Şekil 3.6). 66.33° kuzey ile 23.27° kuzey Yengeç Dönencesi arasında kalan alan ve 66.33° güney ile 23.27° güney Oğlak Dönencesi arasında kalan alan orta kuşak olarak adlandırılır. 23.27° kuzey Yengeç Dönencesi, 0° Ekvator ve 23.27° güney Oğlak Dönencesi arasında tüm noktalarda Tropikal Kuşak içindedir (Şekil 3.6). Enlemler, kuzeyi gösteriyor ise pozitif, güneyi gösteriyorsa negatif olarak yazılır (ITACANET, 2019).



Şekil 3.6. Dünyanın Yaz ve Kış Gündönümleri
Kaynak : (ITACANET, 2019)

Dünyanın güneş etrafındaki dönüş yörüngesinde dönerken 23.45° açıyla dönmektedir. Bu dönüş açısı dünyanın kuzeyinin her zaman kutup yıldızına bakması nedeniyle oluşmaktadır. Bu nedenle de Güneş ışınları, dünya düzlemine göre 23.45° 'lik bir açıyla gelmektedir (Şekil 3.7). Dünya ve Güneş arasındaki bir çizgi ile Ekvator düzlemi arasındaki açıya eğim (Deklinasyon) açısı (δ) denir. Dünya'nın dönme eksenini daima Kutup Yıldızı'na göre olduğu için, Dünya'nın Güneş ile arasında oluşan sapma açısı sürekli değişmektedir (ITACANET, 2019).

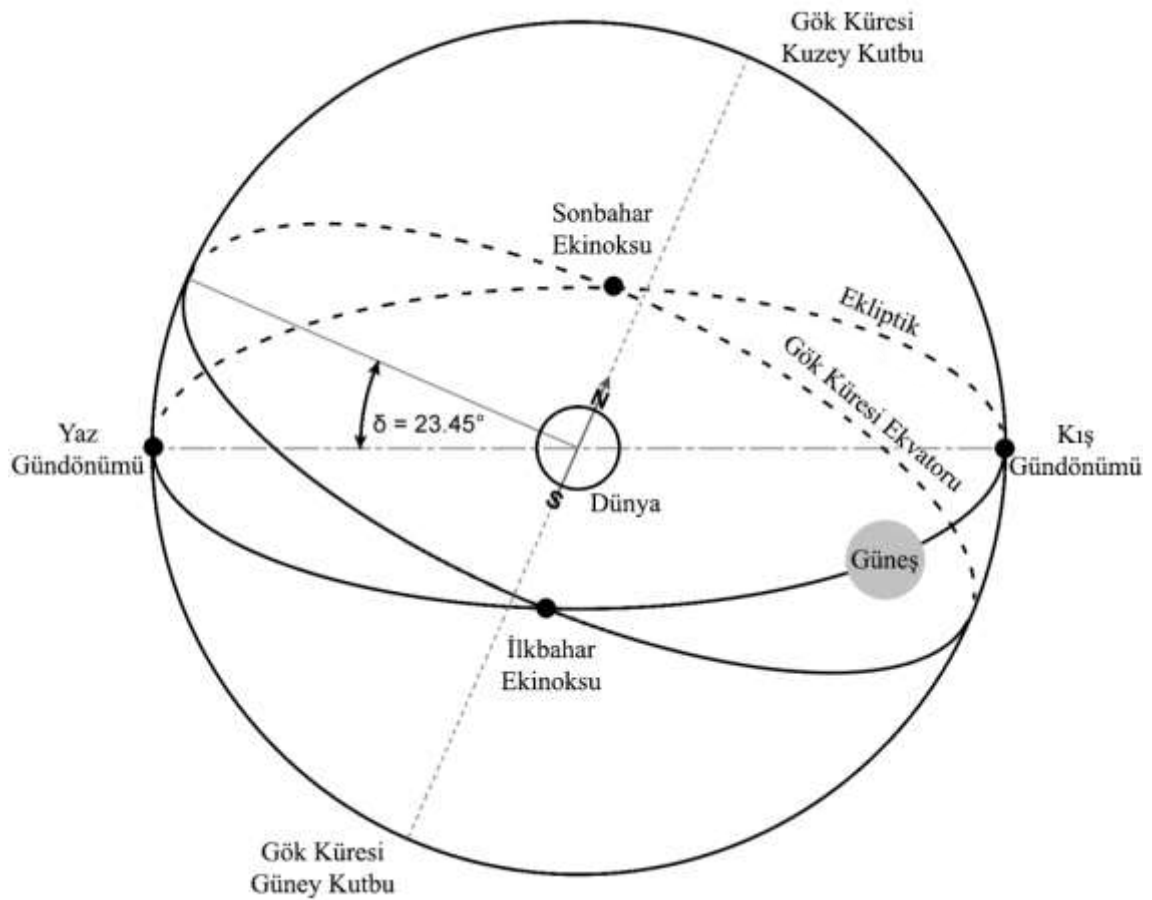


Şekil 3.7. Dünyanın İlkbahar ve Sonbahar Ekinoksları
Kaynak : (ITACANET, 2019)

21 Haziran tarihinde Yaz gündönümünde Dünya'nın eksenini Güneş'e doğru yönlenmiş ve sapma açısı 23.45° 'dir (Şekil 3.6). Bu dönemde 66.33° güney kutup çemberinin altında kalan tüm noktalar 24 saat karanlıkta, 66.33° kuzey kutup çemberinin üzerinde kalan tüm noktalar ise 24 saat gün ışığına sahiptir. Güneş ışınları, Yengeç Dönencesinin tüm noktalarına dik açıyla gelmektedir. 21 Aralık tarihinde Kış gündönümünde Dünya'nın eksenini Güneşin ters istikametine yönlenmiş ve sapma açısı 23.45° 'dir. Bu dönemde 66.33° kuzey kutup çemberinin üstünde kalan tüm noktalar 24 saat karanlıkta, 66.33° güney kutup çemberinin altında kalan tüm noktalar ise 24 saat gün ışığına sahiptir. Güneş ışınları, Oğlak Dönencesinin tüm noktalarına dik açıyla gelmektedir. Hem sonbahar hem de ilkbahar ekinokslarında (sırasıyla 23 Eylül ve 21 Mart), Dünya'nın eksenini, Dünya'nın ve Güneş'in merkezlerini birleştiren çizgiye 90° 'dir.

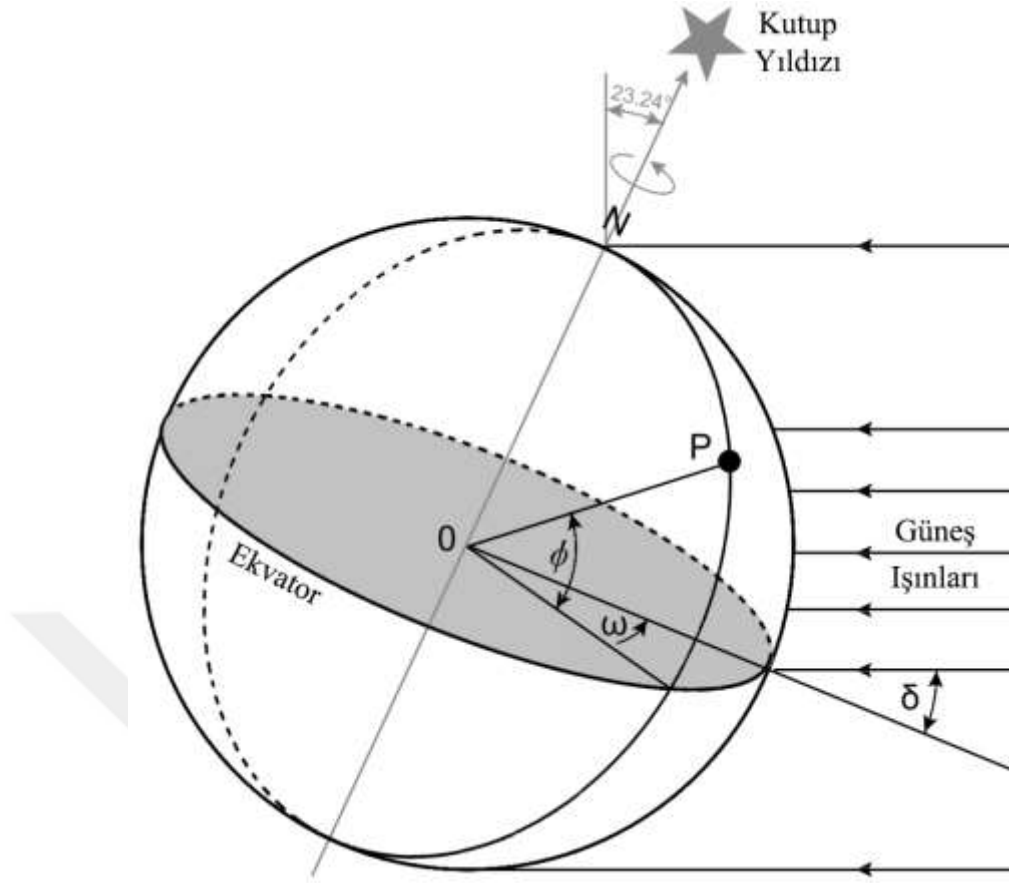
Bu nedenle sapma açısı 0° 'dir (Şekil 3.7). Tüm enlemlerde 12 saat güneş ışığı bulunur. Güneş ışınları, Ekvatorun tüm noktalarına dik açıyla gelmektedir (ITACANET, 2019).

Dünyanın güneş etrafındaki hareketini anlamanın bir başka yolu ise, Dünya'yı durağan olarak düşünmek ve Güneş'in hareketini bir yıl boyunca gök küresinde benzetim yapmaktır (Şekil 3.8). Bu modelde, güneş dünyanın güneş etrafında yapmış olduğu dönüşün ekliptik düzlemi ile dünyanın bu dönüş sırasında kendi eğiminden kaynaklanan küresel düzlem gök küresine yansıtılır. Yıl boyunca sapma açısındaki değişim, Şekil 3.8'de açıkça görülmektedir. Sapma Açısı (δ), Dünya'nın merkezini ekliptik ile gök ekvatoruna birleştiren çizgiler arasındaki açıdır (ITACANET, 2019).



Şekil 3.8. Gök küresi Görünümü (Sapma Açısı, Gündönümlerinde maksimum, Ekinokslarda sıfırdır.)
Kaynak : (ITACANET, 2019)

Güneşin gökyüzündeki konumu, dünyanın yeryüzündeki her hangi bir noktasından çeşitli açılar yardımıyla tanımlanmaktadır. Bu açılardan en kolay tanımlanabileni Sapma Açısı (δ) ve saat açısıdır (ω). Dünya'ya geri bakan bir bakış açısıyla en kolay şekilde tanımlanır (Şekil 3.9). Sapma Açısı daha önce açıklandığı üzere dünyanın her yerinde ve günün her saatinde aynıdır (ITACANET, 2019).



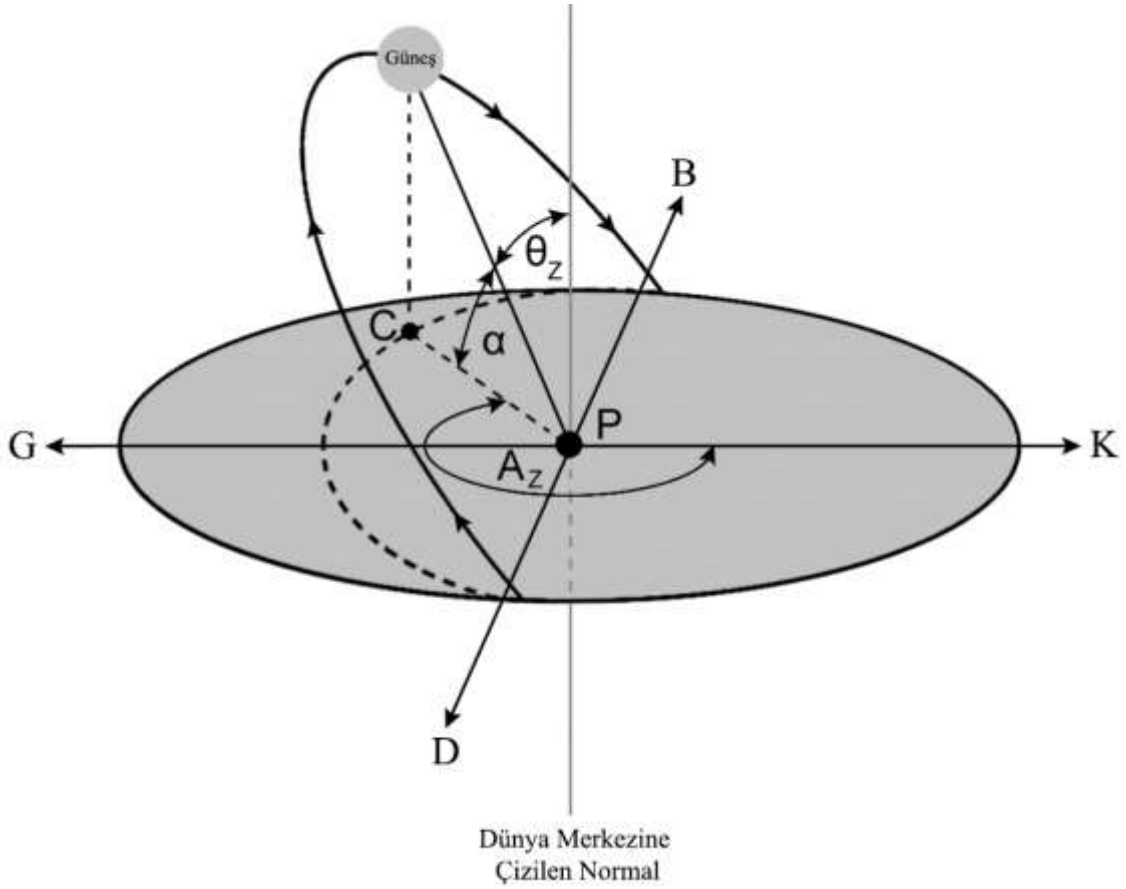
Şekil 3.9. P Noktası İçin Sapma Açısı (δ), Enlem (ϕ) ve Saat Açısı (ω)
Kaynak : (ITACANET, 2019)

P noktasının saat açısı, P meridyeni (boylamı) üzerindeki P noktası ile Güneş ışınlarına paralel olan meridyen arasındaki açıdır (Şekil 3.9). Saat açısı sabahları negatiftir, öğlen saatlerinde sıfıra düşer (P noktası Güneşe baktığında) ve öğleden sonra ilerledikçe giderek daha pozitif hale gelir. Herhangi bir zamanda saat açısı, herhangi bir meridyen üzerindeki tüm noktalar için aynıdır. Dünya 24 saatte bir devrimi tamamladığından, saat açısı her saatte 15° ($360/24$) değişmektedir (ITACANET, 2019).

Dünyanın yüzeyindeki P noktasından bakıldığında Güneş'in gökyüzündeki yolu düşünülerek daha fazla açı tanımlanabilir (Şekil 3.9). Bu şekilde Güneşin Zenit Açısı (θ_z), Güneşin Yükseklik Açısı (α) ve Güneşin Azimut Açısı (A_z) görülmektedir. Gökyüzündeki herhangi bir zamanda Güneşin yüksekliği, ufuktan α açısıyla veya dünyanın merkezine çizilen normalden θ_z açısıyla belirlenebilir ($\theta_z + \alpha = 90^\circ$).

Güneşin kuzeye olan konum açısı Güneşin Azimut Açısı (A_z) ile ölçülür. Şekil 3.10'da Güneşin Kuzeyden ölçülen Azimut açısı gösterilmektedir. Azimut açısı öğle saatlerinde 180° 'dir. Güneşin Azimut açısı ile ilgili alternatif bir yöntem ile Güneye doğru ölçüm yaparak bulunan Azimut açısıdır. Bu durumda güneşin azimut açısı öğle

saatlerinde sıfır olur ($A_Z = 0^\circ$). Güneş şeklindeki noktadan daha doğuda ise sabah ve açı negatif olurken daha batıda ise günbatımı ve açı pozitif olmaktadır.



Şekil 3.10. Güneşin P Noktasındaki Zenit Açısı (θ_z), Yükseklik Açısı (α) ve Azimut Açısı (A_Z)
Kaynak : (ITACANET, 2019)

3.2.1.1. Sapma Açısı

Sapma açısı, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da gösterildiği gibi oluşmaktadır. Herhangi bir gün için sapma açısı aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir:

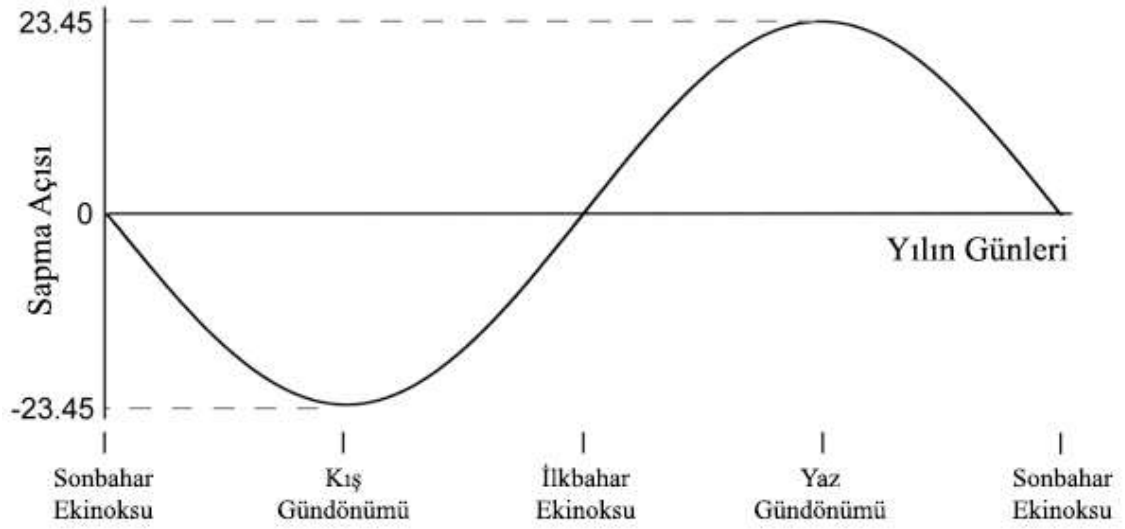
$$\delta = 23.45 \times \frac{\pi}{180} \times \sin \left[2\pi \frac{284+n}{36.25} \right] \quad (3.9)$$

δ = Radyan Biriminde Sapma (Deklinasyon) Açısı

n = Günün Sayısı (1 Ocakta $n = 1$ ’dir.)

Sapma açısı, herhangi bir günde tüm dünya için aynıdır. Şekil 3.11, bir yıl boyunca sapma açısındaki değişimi göstermektedir. Dünya’nın güneş’in etrafındaki tam

devrimi dönemi, takvim yılı ile tam olarak örtüşmediğinden, sapma açısı her yıl aynı gün için değişir.



Şekil 3.11. Yıl Boyunca Sapma Açısındaki Değişim
Kaynak : (ITACANET, 2019)

3.2.1.2. Saat Açısı

Saat açısı, Şekil 3.9’da gösterildiği gibi oluşmaktadır. Saat açısı, sabahları pozitif, güneş öğle saatlerindeyken sıfır, öğleden sonra ise pozitifdir. Çeşitli açılar bilindiğinde saat açısını hesaplamak için iki denklem kullanılabilir : (δ günden güne ve α ve A gün boyunca zamanla değişir):

$$\sin \omega = \frac{\cos \alpha \sin A_z}{\cos \delta} \quad (3.10)$$

$$\sin \omega = \frac{\sin \alpha - \sin \delta \sin \varphi}{\cos \delta \cos \varphi} \quad (3.11)$$

ω = Saat Açısı

α = Yükseklik Açısı

A_z = Güneş Azimut Açısı

δ = Sapma Açısı

φ = Enlem Açısı

Öğle saatlerinde saat açısının sıfıra eşit olduğu ve saat açısının saatte 15° değiştiği belirtilmiştir. Gün doğumu ve gün batımındaki (ω_s) saat açılarını bilmek çok yararlı olacaktır. Sayısal olarak aynı değerlere sahip olacak olan bu açı değerlerinin tek farkı gün doğumunun negatif, gün batımının pozitif değerlere sahip olmasıdır.

$$\cos \omega_s = \tan \varphi \times \tan \delta \quad (3.12)$$

Bu denklem $\alpha = 0$ yerine denklem 3.9 kullanılarak elde edilir. ω_s 'nin radyan olduğu bir sonraki denklemi kullanarak, belirli bir gün için gün ışığı saatlerinin sayısı (N) bulunabilir.

$$N = \frac{2\omega_s}{15} \times \frac{180}{\pi} \quad (3.13)$$

Dünyanın her yerinde, yılda 4380 saat gün ışığı (artık yıldan dolayı) bulunmamaktadır.

Denklem 3.12'deki enlem açısı $\varphi = \pm 66.55^\circ$ olduğunda;

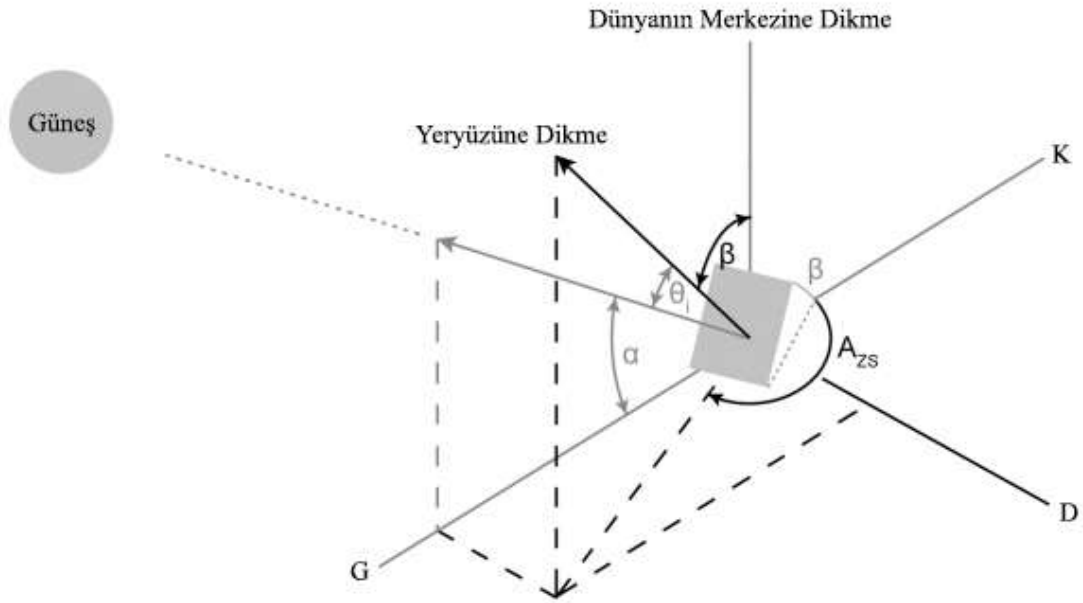
$(\tan \delta - \tan \varphi) \geq 1$ gün batımı yoktur, yani 24 saat gün ışığı;

$(\tan \delta - \tan \varphi) \leq -1$ güneşin ışığı yok, yani 24 saat karanlık.

Yeryüzünde eğimli bir yüzeyde Güneş ufukta yükseldikten sonra kenarından yükselebilir. Bu nedenle, yüzey günün bir kısmı için kendini gölgeleyebilir. Ekvator'a bakan (yani kuzey yarımkürede güneye bakacak şekilde) bir yüzey (ω_s') için güneşin doğuş ve batış açıları şöyledir:

$$\cos \omega' = - \tan(\varphi - \beta) \times \tan \delta \quad (3.14)$$

β = Yüzey dikmesi ile yeryüzü dikmesi arasındaki açı



Şekil 3.12. Ekvator'a Dönük Olmayan Eğimli Bir Yüzey
Kaynak: (ITACANET, 2019)

Denklem 3.14 de hesaplanan saat açısı, Güneş'in ufukta görünmeden önce yüzeyin kenarı üzerinde yükseldiğini gösteren eğimli yüzey için yanlış saat açısını verebilir. Eğimli yüzeylerde saat açısını bulmak için aşağıdaki kontrol yapılmalıdır (Şekil 3.12).

$$\omega_0 = \min\{\omega_s, \omega'_s\} \quad (3.15)$$

3.2.1.3. Yükseklik Açısı

Yükseklik açısı, Şekil 3.9'da gösterildiği gibi oluşmaktadır ve aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır:

$$\sin \alpha = (\sin \delta \times \sin \varphi) + (\cos \delta \times \cos \varphi \times \cos \omega) \quad (3.16)$$

3.2.1.4. Azimut Açısı

Azimut açısı, Şekil 3.9’da gösterildiği gibi oluşmaktadır ve aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır:

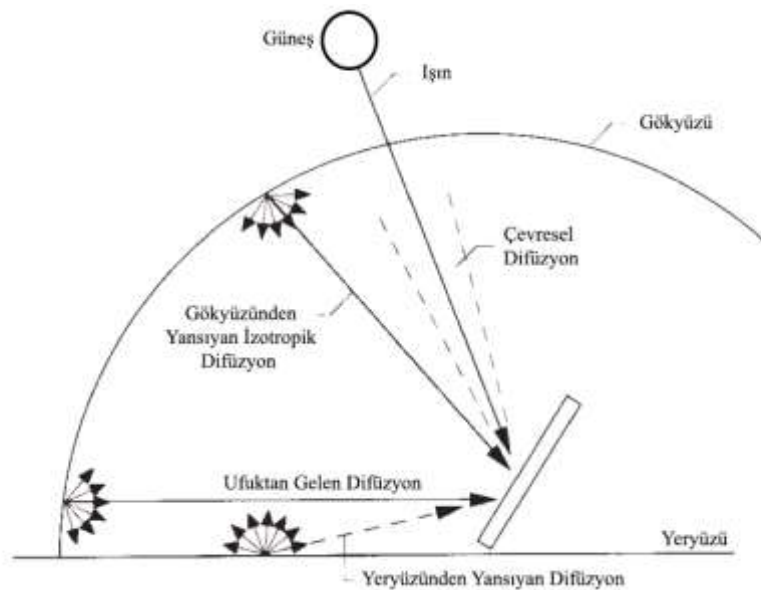
$$\sin \alpha = \frac{\sin \omega \cos \delta}{\sin \theta_z} = \frac{\sin \omega \cos \delta}{\cos \alpha} \quad (3.17)$$

Gün doğumunda Azimut açısı aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir:

$$\sin A_{SR} = - \sin \omega_s \times \cos \delta \quad (3.18)$$

3.2.2. Teknik Analiz

Solar radyasyon ölçümleri genellikle yatay düzleme paralel şekilde yapılmasına rağmen, maksimum enerji kazanımı sağlanması açısından fotovoltaik paneller eğimli şekilde konumlandırılırlar. Bu sebeple yatay düzleme paralel olarak alınan bu verilerin çeşitli modeller kullanılarak eğimli yüzeylere dönüştürülmesi gerekmektedir (Şekil 3.13). Bu konu ile ilgili farklı modeller bulunmaktadır. Bu modeller, hesaplamalarda kullanılan difüz radyasyon parametrelere bağlı olarak birbirlerinden ayrılırlar. Bunlardan bazıları, izotropik, Lui ve Jordan, Iqbal ve anizotropik Hay&Davis, Perez modellerdir (Myers, 2016).



Şekil 3.13. Eğimli Yüzeylerde Solar Radyasyon Çeşitleri
Kaynak : (Duffie & Beckman, 2013)

3.2.2.1. Hay & Davis Modeli

Lui ve Jordan (B.Y.H. & R.C., 1962), Iqbal (Iqbal, 1980) gibi modellerde, difüz radyasyonun gökyüzünün her yerinde eşit olması (izotropik) kabulü yapılmasına karşın, bu modelde buna ek olarak çevresel difüz radyasyon da hesaba katılmaktadır. Ayrıca, çevresel difüz radyasyon ve ışın radyasyonun aynı doğrultuda geldiği kabul edilir. Atmosferin geçirgenliğini tanımlayan A_i anizotropi endeksi denklem 3.9'da verilmiştir. I_0 burada atmosfer dışından gelen radyasyon olarak tanımlanır (Hay, 1978).

$$A_i = \frac{I_{b,n}}{I_{0,n}} = \frac{I_b}{I_0} \quad (3.19)$$

Böylece, β eğim açılı yüzeydeki toplam ışınlım denklem 3.20'deki şekilde tanımlanır :

$$I_T = (I_{h,b} + I_{h,d}A_i) + I_{h,d}(1 - A_i) \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + I_h\rho \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \quad (3.20)$$

Bu model, PVSOL ve PVSyst gibi enerji kazanım hesaplarının yapıldığı yazılımlarda kullanılmaktadır. Ancak difüzyon radyasyonun fazla olduğu ve bu anlamda daha detaylı hesaplamaların yapılması gereken durumlarda yetersiz kalabilmektedir (Çekirdek M., 2017).

3.2.2.2. Perez Modeli

Bu model, diğer modeller ile karşılaştırıldığı zaman daha hassas sonuçlar vermektedir. Hay & Davis modeline ek olarak difüzyon radyasyonun üçüncü parametresi olan yatay parlatma burada hesaplamalara katılır. Böylece, β eğim açılı yüzeydeki toplam ışınlım denklem 3.21'deki şekilde tanımlanır (Çekirdek M., 2017).

$$I_T = I_{h,b}R_b + I_{h,d} \left[(1 - F_1) \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + F_1 \frac{a}{b} + F_2 \sin\beta \right] + I_h\rho \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \quad (3.21)$$

F_1 ve F_2 çevresel difüzyon ve yatay parlatma katsayılarıdır. F_1 ve F_2 katsayıları, Zenit Açısı, berraklık ve parlaklık parametrelerine bağlıdır ve denklem 3.24 ve 3.25'de

tanımlanmıştır. Burada m , hava kütleini ve I_{0n} atmosfer dışından gelen ışınımı ifade etmektedir (Çekirdek M., 2017).

$$\varepsilon = \frac{\frac{I_{h,d} + I_n}{I_{h,d}} + 5.535 \times 10^{-6} \theta_z^3}{1 + 5.535 \times 10^{-6} \theta_z^3} \quad (3.22)$$

$$\Delta = m \frac{I_{h,d}}{I_{0,n}} \quad (3.23)$$

$$F_1 = \max \left[0, \left(f_{11} + f_{12} \Delta + \frac{\pi \theta_z}{180} f_{13} \right) \right] \quad (3.24)$$

$$F_2 = f_{21} + f_{22} \Delta + \frac{\pi \theta_z}{180} f_{23} \quad (3.25)$$

f_{11} , f_{12} , f_{13} , f_{21} , f_{22} , f_{23} farklı lokasyonlar için türetilmiştir (Çizelge 3.3) (Perez, Stewart, Seals, & Guertin, 1988).

Çizelge 3.3. Perez Anizotropik Modeli İçin Parlaklık Katsayıları, (Perez et al., 1988)

Sınırlar	f_{11}	f_{12}	f_{13}	f_{21}	f_{22}	f_{23}
0 - 1065	-0,196	1,084	-0,006	-0,114	0,18	-0,019
1065 - 1230	0,236	0,519	-0,18	-0,011	0,02	-0,038
1230 - 1500	0,454	0,321	-0,255	0,072	-0,098	-0,046
1500 - 1950	0,866	-0,381	-0,375	0,203	-0,403	-0,049
1950 - 2800	1,026	-0,711	-0,426	0,273	-0,602	-0,061
2800 - 4500	0,978	-0,986	-0,35	0,28	-0,915	-0,024
4500 - 6200	0,748	-0,913	-0,236	0,173	-1,045	0,065
6200 -	0,318	-0,757	0,103	0,062	-1,698	0,236

Pierre Ineichen'in çalışmalarına göre bu model, dünyanın her yerinde, en az yanılma payına sahip model olarak karşımıza çıkmaktadır (Ineichen, 2011). Perez modelini, Hay&Davis modeli takip etmiştir. Bu model dünyadaki bir çok simülasyon yazılımları içerisinde tercih edilendir. PVSyst yazılımında ise hem Hay&Davis, hem de Perez modeliyle analiz yapılabilmektedir (Çekirdek M., 2017).



4. SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

4.1. Karşılaştırma Yapılan GES Bilgileri

Çalışmamızda Mevlana Kalkınma Ajansı tarafından desteklenen ve bir yıldan fazla süredir enerji üretimi gerçekleştiren Konya ve Karaman illerinde yer alan ve çizelge 4.1’de verilen 3 adet GES’in gerçek verileri ile gerçek tasarımlarının simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışmada Konya ve Karaman ilinde 250 kW ile 1.000 kW kurulu güçte tesisler seçilerek illerin güneş enerjisi santrallerinin performansları da incelenmiştir.

Çizelge 4.1. Karşılaştırma Yapılan GES Sahaları Bilgileri

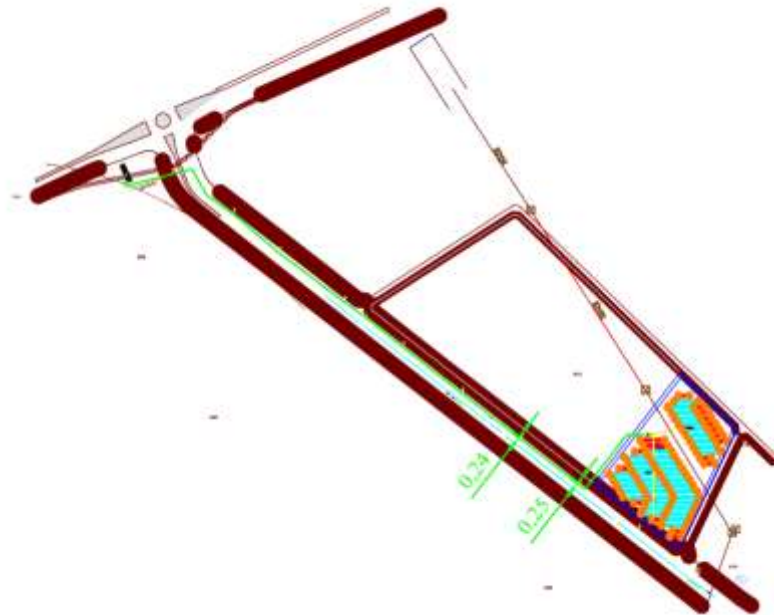
<i>GES ADI</i>	<i>PV Gücü</i>	<i>İli ve İlçesi</i>	<i>Koordinatları</i>	<i>PV Modül Tipi</i>	<i>Gerçek Veri Aralıkları</i>
Karaman Belediyesi 1000 kW Güneş Enerji Santrali	KARAMAN1000 GES	KARAMAN, Merkez	37°13'13.6"K 33°19'20.2"D 37.220452, 33.322277	Polikristal Çok Kristalli Silisyum	Ocak 2017 - Şubat 2019
Konya Organize Sanayi Bölgesi 500 kW Güneş Enerji Santrali	KOSB500 GES	KONYA, Selçuklu	37°57'36.7"K 32°37'36.8"D 37.960204, 32.626895	Polikristal Çok Kristalli Silisyum	Ağustos 2017 - Mart 2019
KOSKİ 250 kW Güneş Enerji Santrali	KOSKİ250 GES	KONYA, Karatay	37°52'59.7"K 32°34'46.6"D 37.883254, 32.579613	Polikristal Çok Kristalli Silisyum	Eylül 2017 - Mart 2019

4.1.1. Karaman Belediyesi 1000 kW Güneş Enerjisi Santrali



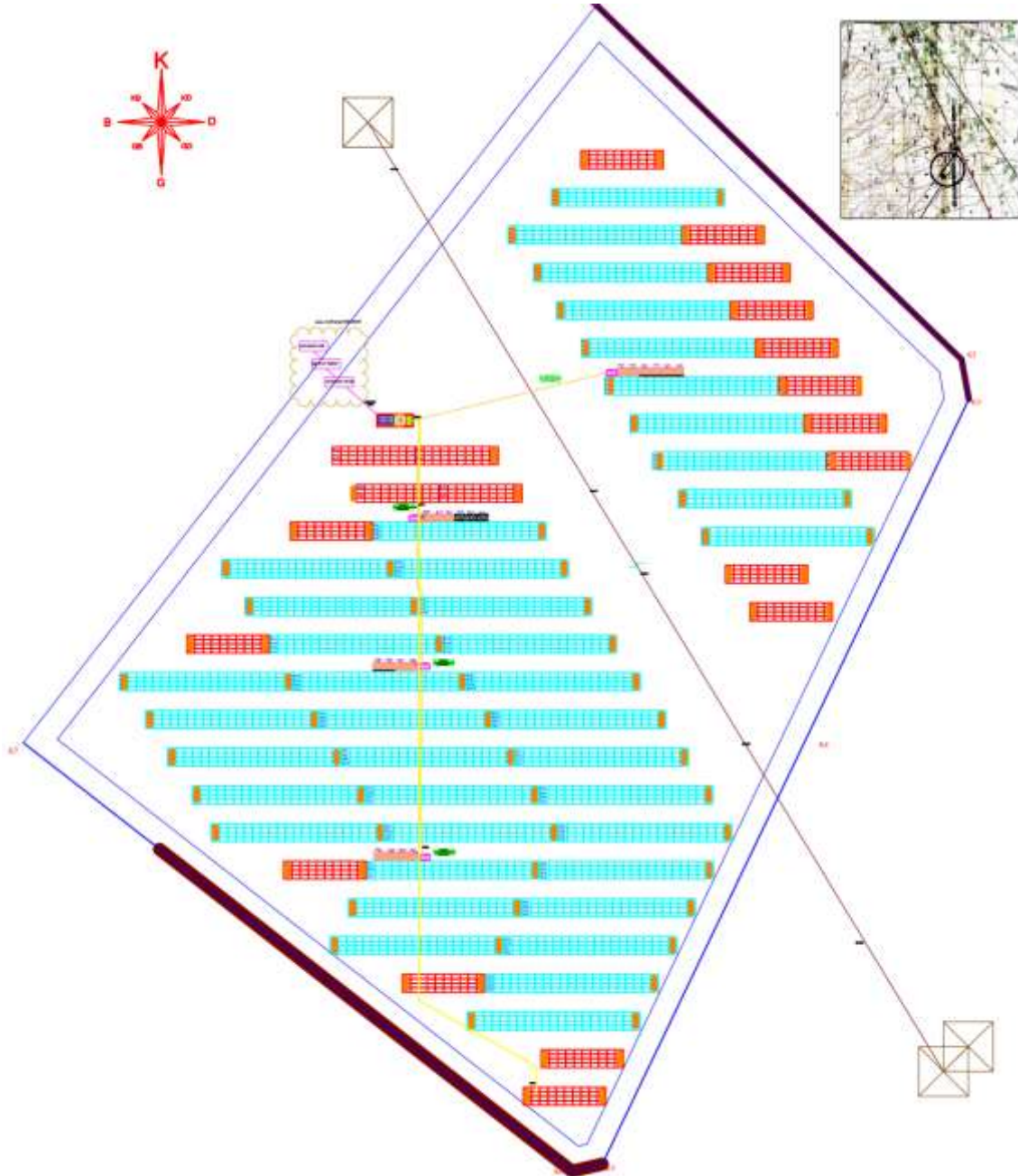
Şekil 4.1. Karaman Belediyesi 1000 kW Güneş Enerji Santrali Uydu Görüntüsü
Kaynak: Google Haritalar, [Ziyaret Tarihi : 15 Mayıs 2019]

Karaman Belediyesi 1000 kW Güneş Enerjisi Santrali, Karaman İlinin Merkez ilçesinde Tatlıkuyu Sırtlarında ve $37^{\circ}13'14.6''$ Kuzey $33^{\circ}19'19.6''$ Doğu koordinatlarında yer almaktadır. Tesisin DC kurulu gücü (kWp) 1081,6 kW, AC kurulu gücü (kWe, kWA) ise 990 kW'dır (Şekil 4.1-4.2).



Şekil 4.2. Karaman Belediyesi 1000 kW GES Vaziyet Planı
Kaynak: Karaman Belediyesi Güneş Enerjisi Santrali Projesi Vaziyet Planı

Şekil 4.3’de de görüldüğü üzere Karaman Belediyesi 1000 kW Güneş Enerjisi Santralinde kurulan PV modüller güneye doğru hizalanmıştır. Panellerin azimut açısı 0°’dir. Santralde kullanılan panel sayıları ve genel santral özellikleri Çizelge 4.2’de görülmektedir.



Şekil 4.3. Karaman Belediyesi 1000 kW Güneş Enerjisi Santrali Vaziyet Planı-2
Kaynak: Karaman Belediyesi Güneş Enerjisi Santrali Projesi Vaziyet Planı

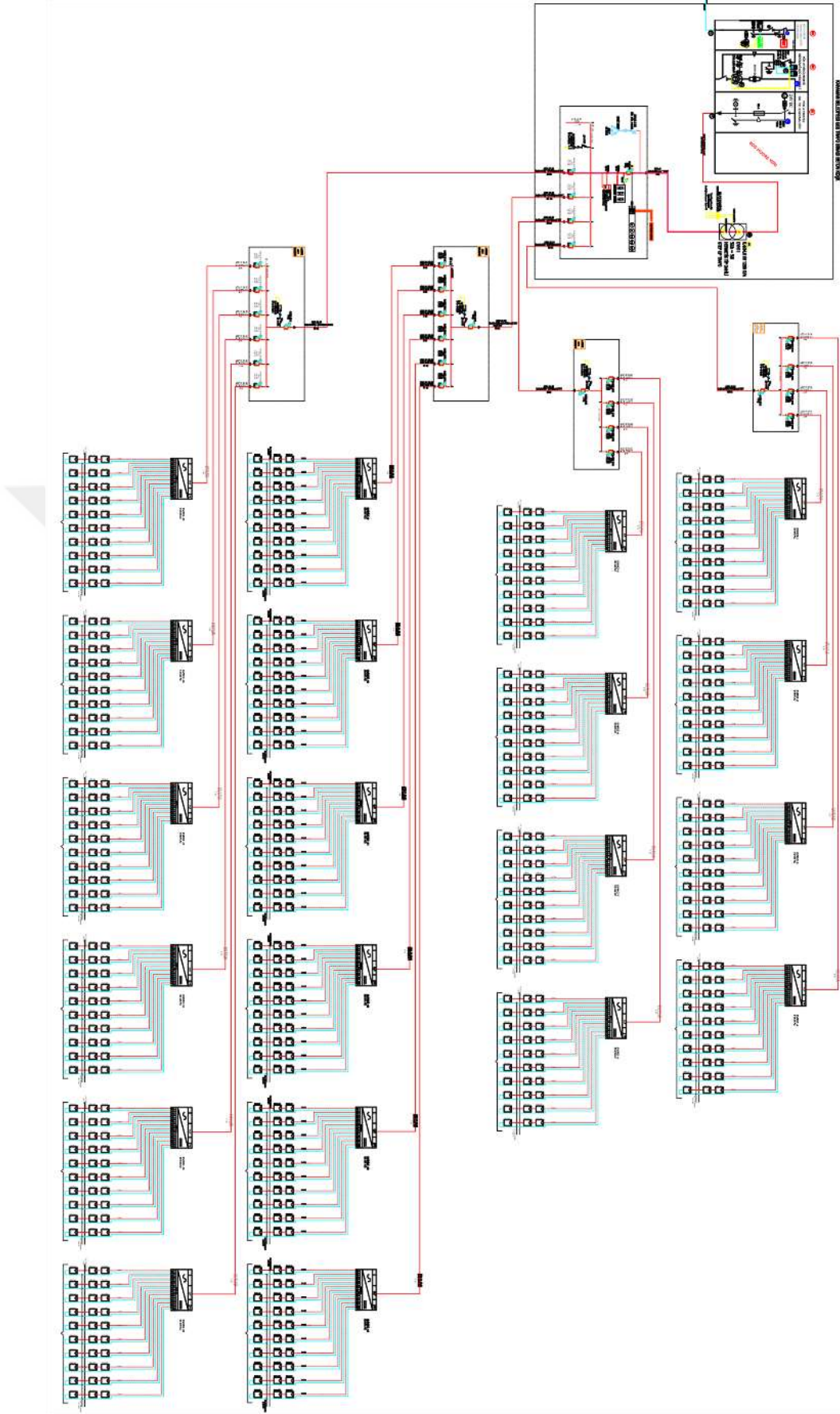
Çizelge 4.2. Karaman 1000 kW GES Teknik Bilgiler Çizelgesi, (Karaman, 2017)

<i>PARAMETRE</i>	<i>AÇIKLAMA</i>
İli	Karaman
İlçesi	Merkez
Mevki	Tatlıkuyu Sırtları
Teknoloji Türü	Optimum açıda sabitlenmiş fotovoltaik sistemler
Uygulama Yeri	Arazi
Fotovoltaik Sistemlerde Kullanılacak Hücre Türü	Çok Kristalli yapı
Kullanılan Modül Marka ve Modeli	HT-SAAE HT60-156P-260
Ünite Modül Gücü (Wp)	260 Wp
Ünite Modül Sayısı (Adet)	4160
Kullanılan Evirici Marka ve Modeli	KACO Blueplanet 50.0 TL3
Evirici Gücü (We)	50000 We
Evirici Sayısı (Adet)	20
Tesis toplam kurulu gücü DC (kWp)	1081,6 kWp
Tesis toplam kurulu gücü AC (kWe, kVA)	990 kWe

Çizelge 4.2’de görüldüğü üzere Karaman Belediyesi 1000 kW Güneş Enerjisi Santralinde 260 W gücünde 4.160 adet panel kullanılmış, 1.081,6 kWp DC kurulu güce sahip olan tesis 990 kWe AC gücüyle şebekeye bağlanmıştır (Şekil 4.4-4.5).



Şekil 4.4. Karaman Belediyesi 1000 kW Güneş Enerjisi Santrali Görünümü



Şekil 4.5. Karaman Belediyesi 1000 kW GES Tek Hat Şeması
Kaynak : Karaman Belediyesi 1081,6 kWp / 990 kW_e GES Projesi

Çizelge 4.3. Karaman Belediyesi 1000kW GES Dizi ve Panel Bilgileri, (Karaman, 2017)

<i>Evirici Numarası</i>	<i>Dizi Sayısı</i>	<i>Dizideki Panel Sayısı</i>	<i>Panelin Maksimum Gücü (W)</i>	<i>Eviriciye Bağlı Panel Sayısı</i>	<i>Eviriciye Bağlı Maksimum Güç (W)</i>
1. Evirici	10	20	260	200	52.000
2. Evirici	10	21	260	210	54.600
3. Evirici	10	21	260	210	54.600
4. Evirici	10	21	260	210	54.600
5. Evirici	10	21	260	210	54.600
6. Evirici	10	21	260	210	54.600
7. Evirici	10	21	260	210	54.600
8. Evirici	10	21	260	210	54.600
9. Evirici	10	21	260	210	54.600
10. Evirici	10	21	260	210	54.600
11. Evirici	10	21	260	210	54.600
12. Evirici	10	21	260	210	54.600
13. Evirici	10	21	260	210	54.600
14. Evirici	10	20	260	200	52.000
15. Evirici	10	21	260	210	54.600
16. Evirici	10	21	260	210	54.600
17. Evirici	10	21	260	210	54.600
18. Evirici	10	21	260	210	54.600
19. Evirici	10	20	260	200	52.000
20. Evirici	10	20	260	200	52.000
Toplam				4.160	1.081.600

Santralde 50 kWAC gücünde 20 adet evirici kullanılmıştır. Bu eviricilerin herbirine 10 dizi bağlanmıştır. 20 eviriciye bağlanan 200 dizinin 160 adetinde dizi başına 21 adet 260 Wp gücünde PV panel mevcuttur (160x21=3.360 adet panel). 40 adet dizide ise 20'şer adet 260 Wp gücünde PV Panel bağlantısı mevcuttur (40x20=800 adet panel). 16 adet eviriciye bağlanan PV panel gücü 54.600 kWp olurken 4 eviriciye ise 52.000 kWp'lik PV panel bağlantısı yapılmıştır (16x54.600+4x52.000=1.081.600 kWp). Santralde kullanılan PV modüller ile ilgili teknik bilgiler Çizelge 4.4'de, eviriciler ile ilgili teknik bilgiler ise Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Karaman Belediyesi 1000 kW GES'inde Kullanılan PV Panel Bilgileri, (Karaman, 2017)

<i>PARAMETRE</i>	<i>AÇIKLAMA</i>
Modül Modeli	HT60-156P-260
Modül Teknolojisi	Çok Kristalli yapı (Polikristal)
Standart Test Koşullarında (STC) Maksimum Güç (P _{max})	260W
STC'de Güç Yoğunluğu (W/m ²)	159,509
Açık Devre Voltajı (V _{OC})	37,2V
Optimum Çalışma Voltajı (V _{MP})	31,0V
Kısa Devre Akımı (I _{sc})	9,09A
Optimum Çalışma Akımı (I _{MP})	8,40A
Modül Verimliliği	16,00%
Güç Toleransı	0 ~ +5W
Maksimum Sistem Voltajı	1000V DC (IEC) / 600V DC (UL)
Maksimum Seri Sigorta Eşiği	15A
Çalışma Sıcaklığı	-40 °C to + 85 °C
Güneş Hücreleri	Polikristal 156 mm x 156 mm
No.of Celts	60 (6 x 10)
Boyutlar	1640 x 992 x 40/35 mm
Ağırlık	19/18.5 kg
Ön Cam	Yüksek Geçirgenli Temperli Cam
Çerçeve	Anodize edilmiş alüminyum alaşımı
Bağlantı Kutusu	IP67/IP65 3 diyotlu
Kablo	4mm ² (IEC)/12AWG(UL), 900mm
Konnektörler	MC4/MC4 Karşılaştırılabilir
Nominal Çalışma Sıcaklığı	48,3 °C
Maksimum Güç için Sıcaklık Katsayısı γ (P _{max})	-0,42% / °C
Açık Devre Voltajı için Sıcaklık Katsayısı β (V _{oc})	-0,32% / °C
Kısa Devre Akımı için Sıcaklık Katsayısı α (I _{sc})	0,046% / °C

Çizelge 4.5. Karaman Belediyesi 1000 kW GES'inde Kullanılan Evirici Bilgileri, (Karaman, 2017)

PARAMETRELER	AÇIKLAMALAR
DC GİRİŞİ	
MPP Aralığı@Pnom	570 V - 900 V
Çalışma Aralığı	570 V - 1050 V
Minimum DC Gerilimi / Başlama Gerilimi	570 V / 670 V
Boşta Çalışma Gerilimi	1.100 V
Maksimum Giriş Akımı	90 A
Maksimum MPP Takipçi Gücü	51.600 W
MPP Takipçi Sayısı	1
IP Sayısı	1 / 10 (Entegre Hat Kollektörü)
AC ÇIKIŞI	
Anma Gücü (@230 V / 220 V)	50.000 VA
Şebeke Gerilimi	400 V / 230 V (3 / N / PE veya 3 / PEN)
Anma Akımı	3 x 72,4 A @ 230 V
Maksimum Akım	3 x 75,8 A
Anma Frekansı	50 Hz / 60 Hz
Cos phi	0,30 Endüktif - 0,30 Kapasitif
Besleme Fazı Sayısı	3
GENEL ELEKTRİKSEL VERİLER	
Maksimum Verim	% 98,3 (geçici)
Avrupa Verimi	% 98,0 (geçici)
Kendi Tüketimi: Bekleme	1,5 W
Devre Konsepti	Trafosuz
Aşırı gerilim koruma cihazı	DC: Tip 1/2 Opsiyonel AC: Tip 1/2 Opsiyonel
MEKANİK VERİLERİ	
Gösterge	Grafik Ekran + LED'ler
Kontroller	4 Yönlü Çapraz + 2 tuş
Arabirimler	2 x Ethernet, USB, RS485, Hata Rölesi, 4 x Dijital Giriş / Çıkış (Opsiyonel)
Arıza Rölesi	Potansiyelsiz Normalde Açık Devre Maksimum 230 V / 1 A
Bağlantılar	AC: 95 mm ² ALU sektörleri DC Bağlantısı 1 ip: maks.150 mm ² kablo pabucu DC Bağlantısı 10 ip: DC soketi (SUNCLIX)
Çevre Sıcaklığı	-20 °C - +60 °C
Soğutma	Zorunlu Soğutma / Devir Ayarlı Fan
Koruma Şekli	IP65
Boyutlar (Yükseklik x Genişlik x Derinlik)	760 x 500 x 425 mm
Ağırlık	73 kg

Çalışmamızda Karaman iline ait güneş radyasyonları ve güneşlenme süreleri farklı veri tabanlarından elde edilmiştir. Karaman iline ait meteorolojik veriler ise Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğünün internet sitesinden elde edilmiştir (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. Karaman İline Ait Güneş Radyasyonu Verileri (kWh/m²/Ay)

	<i>GEPA</i> ¹	<i>NASA</i> ²	<i>MGM</i> ³	<i>PVGIS</i> ⁴	<i>METEONORM</i> (2017-2018)	<i>METEONORM</i> ⁵
Ocak	67	65	75	65	72	73
Şubat	75	91	88	82	88	88
Mart	136	129	148	144	141	143
Nisan	161	158	169	168	177	179
Mayıs	200	188	216	216	215	219
Haziran	209	218	229	242	235	238
Temmuz	214	225	231	255	243	244
Ağustos	191	197	204	233	229	225
Eylül	157	158	160	181	181	182
Ekim	120	109	121	128	131	133
Kasım	76	74	85	83	89	90
Aralık	59	56	68	60	68	68
Yıllık	1.664	1.667	1.795	1.858	1.864	1.881

1: (GEPA, 2019)

2: (Girgin, 2011), s:92

3: (MGM, 2019a)

4: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?map=africa#> [Erişim Tarihi:15.05.2019]

5: Meteonorm 7.1.3 yazılımından elde edilen 2017 ve 2018 verileri, [Erişim Tarihi:15.05.2019]

Çizelge 4.7. Karaman İline Ait Meteorolojik Veriler, (MGM, 2019b)

KARAMAN	<i>Ocak</i>	<i>Şubat</i>	<i>Mart</i>	<i>Nisan</i>	<i>Mayıs</i>	<i>Haziran</i>	<i>Temmuz</i>	<i>Ağustos</i>	<i>Eylül</i>	<i>Ekim</i>	<i>Kasım</i>	<i>Aralık</i>	<i>Yıllık</i>
Ortalama Sıcaklık (°C)	0,5	1,9	6,3	11,5	16,0	20,2	23,4	22,9	18,7	12,9	6,9	2,5	12,0
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	5,5	7,3	12,5	18,2	23,2	27,7	31,1	31,0	27,1	20,6	13,6	7,5	18,8
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-3,8	-2,7	0,5	5,0	8,8	12,4	15,2	14,6	10,3	5,7	1,1	-1,8	5,4
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3,5	4,7	6,4	8,0	9,9	11,8	12,8	12,1	10,3	7,6	5,5	3,5	96,1
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	10,2	9,4	9,1	8,0	8,6	5,2	1,5	1,1	1,9	5,6	6,6	10,1	77,3
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	41,4	34,7	37,0	36,1	36,5	22,4	4,3	3,9	7,5	28,0	33,4	46,5	331,7
En Yüksek Sıcaklık (°C)	21,2	22,1	28,7	32,3	34,4	37,5	40,4	39,0	37,9	33,2	25,8	22,2	40,4
En Düşük Sıcaklık (°C)	-26,8	-28,0	-20,2	-8,3	-3,1	3,1	6,4	3,6	-1,0	-8,5	-21,2	-26,1	-28,0

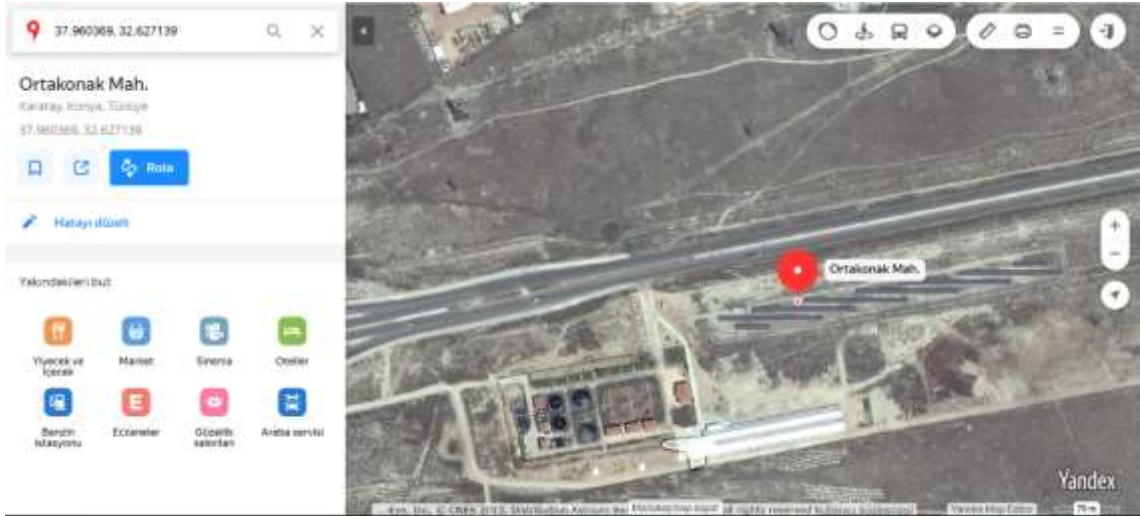
Çizelge 4.6’da görüldüğü üzere farklı veritabanlarına ait farklı meteorolojik veriler mevcuttur. Simülasyon yazılımlarının kullandığı meteorolojik verilerin doğruluğu simülasyon doğruluğu ile doğru orantılıdır. Çalışmamız kapsamında, Karaman Belediyesi yetkilileri tarafından gönderilen ve Ocak 2017 tarihinden Şubat 2019 tarihine kadar sistem tarafından üretilip şebekeye aktarılan enerji verileri gerçek veri olarak karşılaştırma amacıyla kullanılacaktır.

Çizelge 4.8. Karaman Belediyesi 1000 kW GES'ine ait 2017-2019 Yılları Enerji Üretim Değerleri (kWh)
(Karaman Belediyesi 1000 kW GES'ine Ait MEDAŞ Mahsuplaşma Verileri)

	2017	2018	2019
Ocak	70.026,08	65.408,18	55.991,25
Şubat	129.861,90	112.755,83	91.523,25
Mart	136.328,85	156.619,58	
Nisan	165.573,45	173.267,33	
Mayıs	169.481,25	160.201,13	
Haziran	182.624,40	191.480,63	
Temmuz	161.199,68	194.397,53	
Ağustos	170.451,23	205.676,10	
Eylül	175.173,07	176.987,48	
Ekim	152.239,50	119.008,58	
Kasım	108.944,33	92.288,70	
Aralık	88.856,78	58.082,85	
Yıllık	1.712.777,50	1.708.191,90	149.533,50

Çizelge 4.8’de Karaman Belediyesi 1000 kW GES’ine ait üretim değerleri verilmiştir. Buna göre tesisin iki yılda ürettiği enerji ortalaması yıllık 1.710.484,7 kWh/yıl olmuştur. Tesiste üretilen enerji miktarına göre 1 kW kurulu güç ile yıllık 1.710 kWh/kWp/Yıl enerji üretimi gerçekleşmiştir.

4.1.2. Konya OSB 500 kW Güneş Enerjisi Santrali

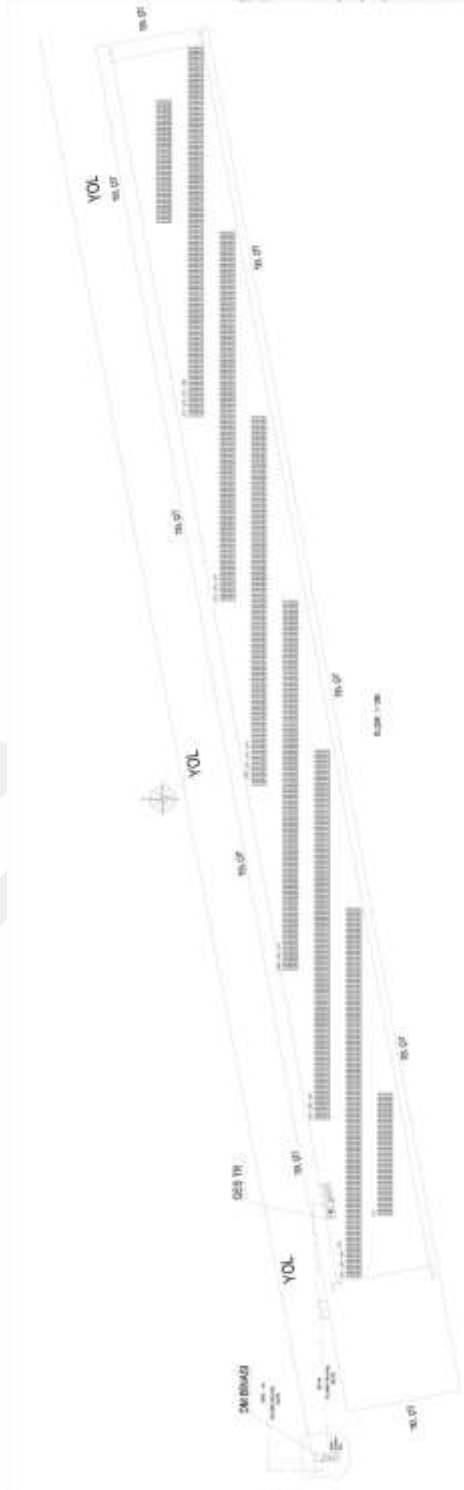


Şekil 4.6. Konya OSB Müdürlüğü 500 kW Güneş Enerji Santrali Uydu Görüntüsü
Kaynak: Yandex Haritalar, [Ziyaret Tarihi : 15 Mayıs 2019]

Konya Organize Sanayi Bölgesi 500 kW Güneş Enerjisi Santrali, Konya İlinin Karatay ilçesinde Zivecik Mevkiisinde ve $37^{\circ}57'37.3''$ Kuzey $32^{\circ}37'37.7''$ Doğu koordinatlarında yer almaktadır. Tesisin DC kurulu gücü (kWp) 572 kW, AC kurulu gücü (kWe, kWA) ise 500 kW'dır (Şekil 4.6-4.10).



Şekil 4.7. Konya OSB 500 kW GES Vaziyet Planı
Kaynak: Konya OSB Güneş Enerjisi Santrali Projesi Vaziyet Planı



Şekil 4.8. Konya OSB 500 kW Güneş Enerjisi Santrali Vaziyet Planı-2
Kaynak: Konya OSB Güneş Enerjisi Santrali Projesi Vaziyet Planı

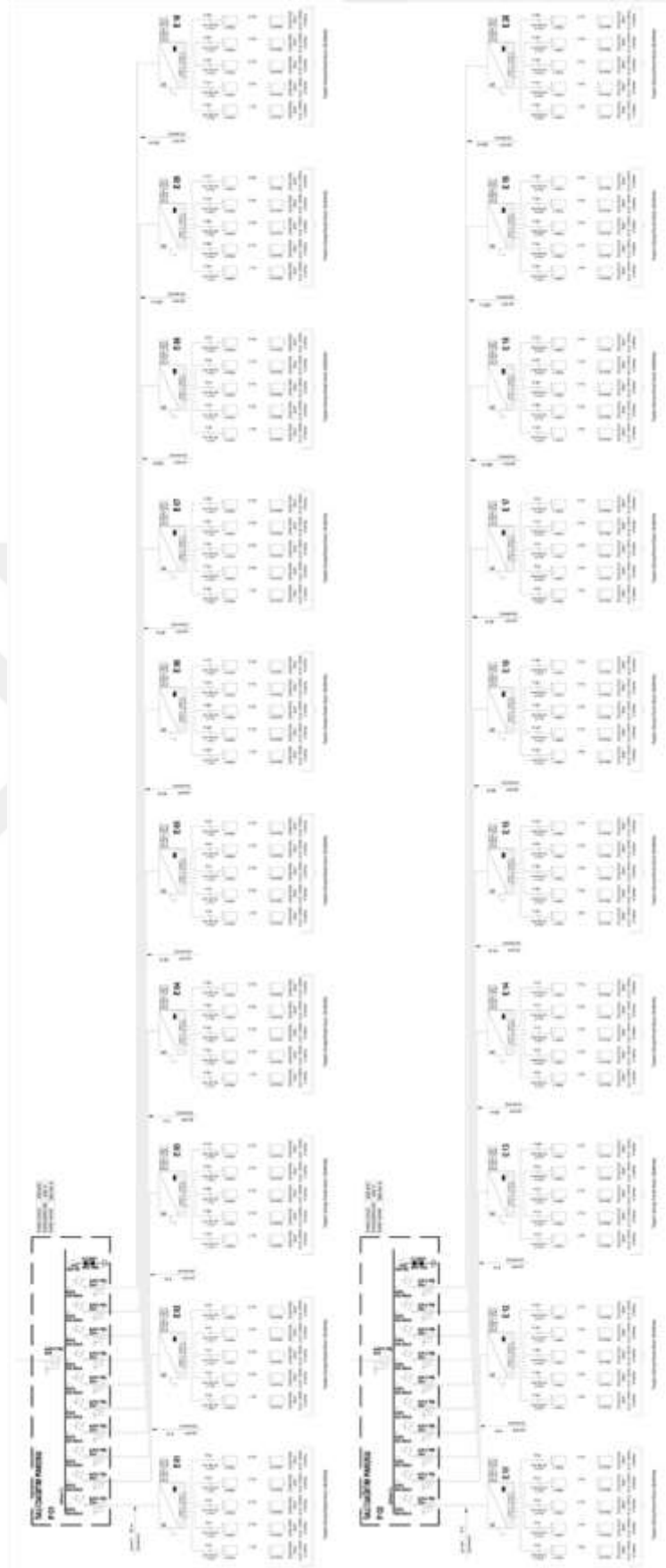
Şekil 4.8’de görüldüğü üzere Konya OSB 500 kW Güneş Enerjisi Santralinde kurulan PV modüller güneşe doğru hizalanmıştır. Panellerin azimut açısı 0° ’dir. Santralde kullanılan panel sayıları ve genel santral özellikleri Çizelge 4.9’da görülmektedir.

Çizelge 4.9. Konya OSB 500 kW GES Teknik Bilgiler Çizelgesi, (KOSB, 2017)

<i>PARAMETRE</i>	<i>AÇIKLAMA</i>
İli	Konya
İlçesi	Karatay
Mevki	Zivecik Mevkii
Teknoloji Türü	Optimum açıda sabitlenmiş fotovoltaik sistemler
Uygulama Yeri	Arazi
Fotovoltaik Sistemlerde Kullanılacak Hücre Türü	Çok Kristalli yapı
Kullanılan Modül Marka ve Modeli	ENDÜSTRİYEL 60P-260
Ünite Modül Gücü (Wp)	260 Wp
Ünite Modül Sayısı (Adet)	2200
Kullanılan Evirici Marka ve Modeli	SMA SOLAR STP25000TL-30
Evirici Gücü (We)	25000 We
Evirici Sayısı (Adet)	20
Tesis toplam kurulu gücü DC (kWp)	572 kWp
Tesis toplam kurulu gücü AC (kWe, kVA)	500 kWe

Çizelge 4.9’da da görüldüğü üzere Konya OSB 500 kW Güneş Enerjisi Santralinde 260 W gücünde 2.200 adet panel kullanılmış, 572 kWp DC kurulu güce sahip olan tesis 500 kWe AC gücüyle şebekeye bağlanmıştır.

**Şekil 4.9.** Konya OSB 500 kW Güneş Enerjisi Santrali Görünümü



Şekil 4.10. Konya OSB 500 kW GES Tek Hat Şeması
Kaynak : Konya OSB 572 kWp / 500 kWe GES Projesi

Çizelge 4.10. Konya OSB 500kW GES Dizi ve Panel Bilgileri, (KOSB, 2017)

<i>Evirici Numarası</i>	<i>Dizi Sayısı</i>	<i>Dizideki Panel Sayısı</i>	<i>Panelin Maksimum Gücü (W)</i>	<i>Eviriciye Bağlı Panel Sayısı</i>	<i>Eviriciye Bağlı Maksimum Güç (W)</i>
1. Evirici	5	22	260	110	28.600
2. Evirici	5	22	260	110	28.600
3. Evirici	5	22	260	110	28.600
4. Evirici	5	22	260	110	28.600
5. Evirici	5	22	260	110	28.600
6. Evirici	5	22	260	110	28.600
7. Evirici	5	22	260	110	28.600
8. Evirici	5	22	260	110	28.600
9. Evirici	5	22	260	110	28.600
10. Evirici	5	22	260	110	28.600
11. Evirici	5	22	260	110	28.600
12. Evirici	5	22	260	110	28.600
13. Evirici	5	22	260	110	28.600
14. Evirici	5	22	260	110	28.600
15. Evirici	5	22	260	110	28.600
16. Evirici	5	22	260	110	28.600
17. Evirici	5	22	260	110	28.600
18. Evirici	5	22	260	110	28.600
19. Evirici	5	22	260	110	28.600
20. Evirici	5	22	260	110	28.600
Toplam				2.200	572.000

Santralde 25 kWAC gücünde 20 adet evirici kullanılmıştır (Çizelge 4.10). Bu eviricilerin herbirine 5 dizi bağlanmıştır. 20 eviriciye bağlanan 100 dizinin herbirinde 22'şer adet 260 Wp gücünde PV panel mevcuttur ($100 \times 22 = 2.200$ Adet Panel). 20 adet eviriciye 28.600 kWp'lik PV panel bağlantısı yapılmıştır ($20 \times 28.600 = 572.000$ kWp). Santralde kullanılan PV modüller ile ilgili teknik bilgiler Çizelge 4.11'de, eviriciler ile ilgili teknik bilgiler ise Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Konya OSB 500 kW GES'inde Kullanılan PV Panel Bilgileri, (KOSB, 2017)

PARAMETRE	AÇIKLAMA
Modül Modeli	ENDÜSTRİYEL 60P-260
Modül Teknolojisi	Çok Kristalli yapı (Polikristal)
Standart Test Koşullarında (STC) Maksimum Güç (Pmax)	260W
Açık Devre Voltajı (Voc)	38,9V
Optimum Çalışma Voltajı (Vmp)	31,02V
Kısa Devre Akımı (Isc)	8,778A
Optimum Çalışma Akımı (Imp)	8,382A
Modül Verimliliği	16,2%
Güç Toleransı	± %3
Maksimum Sistem Voltajı	1000V DC (IEC)
Maksimum Seri Sigorta Eşiği	15A
Çalışma Sıcaklığı	-40 °C to + 85 °C
Boyutlar	1642 x 985 x 40 mm
Ağırlık	18 kg
Ön Cam	Temperli/Temperli Antireflekte Cam
Çerçeve	Anodize edilmiş alüminyum alaşımı
Maksimum Güç için Sıcaklık Katsayısı γ (Pmax)	-0,45% / °C
Açık Devre Voltajı için Sıcaklık Katsayısı β (Voc)	-0,33% / °C
Açık Devre Voltajı için Sıcaklık Katsayısı β (Vmpp)	-0,45% / °C
Kısa Devre Akımı için Sıcaklık Katsayısı α (Isc)	-0,04% / °C

Çizelge 4.12. Konya OSB 500 kW GES'inde Kullanılan Evirici Bilgileri, (KOSB, 2017)

PARAMETRELER	AÇIKLAMALAR
DC GİRİŞİ	
MPP Aralığı @Pnom	390 V - 800 V
Çalışma Aralığı	390 V – 600 V
Minimum DC Gerilimi / Başlama Gerilimi	150 V / 188 V
Boşta Çalışma Gerilimi	1.000 V
Maksimum Giriş Akımı	33 A
Maksimum MPP Takipçi Gücü	25.550 W
MPP Takipçi Sayısı	2
AC ÇIKIŞI	
Anma Gücü (@230 V / 220 V)	25.000 VA
Şebeke Gerilimi	3/N/PE; 220V/380V 3/N/PE; 230V/400V 3/N/PE; 240V/415V
Anma Akımı	3 x 36,2 A @ 230 V
Maksimum Akım	3 x 36,2 A
Anma Frekansı	50 Hz
Cos phi	0,30 Endüktif - 0,30 Kapasitif
Besleme Fazı Sayısı	3
GENEL ELEKTRİKSEL VERİLER	
Maksimum Verim	% 98,3 (geçici)
Avrupa Verimi	% 98,1 (geçici)
Kendi Tüketimi: Bekleme	1 W
Devre Konsepti	Trafosuz
Aşırı gerilim koruma cihazı	I/AC:III; DC:II
MEKANİK VERİLERİ	
Gösterge	Grafik Ekran + LED'ler
Arabirimler	RS485, Speedwire/Webconnect, SMA Modbus/SunSpec Modbus
Bağlantılar	AC: spring-cage terminal DC Bağlantısı 10 ip: DC soketi (SUNCLIX)
Çevre Sıcaklığı	-25 °C - +60 °C
Soğutma	Zorunlu Soğutma / Devir Ayarlı Fan
Koruma Şekli	IP65
Boyutlar (Yükseklik x Genişlik x Derinlik)	661 / 682 / 264 mm
Ağırlık	61 kg

Çalışmamızda Konya iline ait güneş radyasyonları ve güneşlenme süreleri farklı veri tabanlarından elde edilmiştir. Konya iline ait meteorolojik veriler ise Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün internet sitesinden elde edilmiştir (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13. Konya İline Ait Güneş Radyasyonu Verileri (kWh/m²/Ay)

	<i>METEONORM</i> ¹	<i>GEPA</i> ²	<i>MGM</i> ³	<i>METEONORM</i> 2017-2018	<i>PVGIS</i> ⁴
Ocak	64	61	70	68	87
Şubat	85	72	85	88	107
Mart	129	131	143	135	169
Nisan	150	156	165	158	171
Mayıs	184	195	206	204	199
Haziran	200	203	216	223	218
Temmuz	206	211	221	237	241
Ağustos	189	188	195	216	237
Eylül	150	154	154	169	204
Ekim	112	116	116	120	163
Kasım	71	71	81	83	120
Aralık	53	55	69	62	83
Yıllık	1.592	1.612	1.720	1.759	2.000

1: Meteonorm 7.1.3 yazılımındaki gelecek projeksiyon verileri, [Erişim Tarihi:15.05.2019]

2: (GEPA, 2019)

3: (MGM, 2019a)

4: Meteonorm 7.1.3 yazılımından elde edilen 2017 ve 2018 verileri, [Erişim Tarihi:15.05.2019]

5: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?map=africa#> [Erişim Tarihi:15.05.2019]

Çizelge 4.14. Konya İline Ait Meteorolojik Veriler, (MGM, 2019b)

KARAMAN	<i>Ocak</i>	<i>Şubat</i>	<i>Mart</i>	<i>Nisan</i>	<i>Mayıs</i>	<i>Haziran</i>	<i>Temmuz</i>	<i>Ağustos</i>	<i>Eylül</i>	<i>Ekim</i>	<i>Kasım</i>	<i>Aralık</i>	<i>Yıllık</i>
Ortalama Sıcaklık (°C)	-0.2	1.4	5.6	11.1	15.8	20.1	23.5	23.2	18.5	12.5	6.3	1.7	11.6
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	4.6	7.0	11.8	17.5	22.3	26.6	30.1	30.2	26.0	20.0	13.0	6.6	18.0
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-4.2	-3.3	-0.2	4.3	8.6	12.6	15.8	15.6	10.9	5.9	0.8	-2.4	5.4
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.3	4.7	5.9	7.1	8.9	10.6	11.6	11.2	9.5	7.2	5.3	3.2	88.5
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	9.9	8.4	8.8	9.0	10.6	6.6	2.2	1.5	3.1	6.1	6.6	10.0	82.8
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	37.6	28.5	28.9	31.9	43.6	25.5	6.3	4.6	12.3	30.0	32.0	42.1	323.3
En Yüksek Sıcaklık (°C)	17.6	23.8	28.9	31.5	34.4	37.2	40.6	39.0	36.1	31.6	25.4	21.8	40.6
En Düşük Sıcaklık (°C)	-28.2	-26.5	-16.4	-8.6	-1.2	1.8	6.0	5.3	-3.0	-8.4	-20.0	-26.0	-28.2

Çizelge 4.13’de görüldüğü üzere farklı veritabanlarına ait farklı meteorolojik veriler mevcuttur. Simülasyon yazılımlarının kullandığı meteorolojik verilerin doğruluğu simülasyon doğruluğu ile doğru orantılıdır. Çalışmamız kapsamında, Konya Organize Sanayi Bölgesi yetkilileri tarafından gönderilen ve Ağustos 2017 tarihinden Mart 2019 tarihine kadar sistem tarafından üretilip şebekeye aktarılan enerji verileri gerçek veri olarak karşılaştırma amacıyla kullanılacaktır.

Çizelge 4.15. Konya OSB 500 kW GES'ine ait 2017-2019 Yılları Enerji Üretim Değerleri (kWh)
(Konya OSB 500 kW GES'ine Ait MEDAŞ Mahsuplaşma Verileri)

	2017	2018	2019
Ocak		37.285,00	39.535,00
Şubat		55.009,00	52.795,00
Mart		60.730,00	68.595,00
Nisan		83.092,00	
Mayıs		83.510,00	
Haziran		89.724,00	
Temmuz		93.372,00	
Ağustos	90.567,00	101.907,00	
Eylül	81.928,00	83.351,00	
Ekim	68.600,00	74.588,00	
Kasım	55.561,00	48.168,00	
Aralık	43.865,00	34.484,00	
Yıllık	342.538,00	847.238,00	162.944,00

Çizelge 4.15’de Konya OSB 500 kW GES’ine ait üretim değerleri verilmiştir. Buna göre tesisin yirmi ayda ürettiği enerji ortalaması aylık 67.333.30 kWh/ay olmuştur. Bu değerlere göre tesisin yıllık ürettiği ortalama enerji miktarı ise 807.999,6 kWh/yıl olmuştur. Tesiste üretilen enerji miktarına göre 1 kW kurulu güç ile yıllık 1.616 kWh/kWp/Yıl enerji üretimi gerçekleşmiştir.

4.1.3. KOSKİ 250 kW Güneş Enerjisi Santrali



Şekil 4.11. KOSKİ 250 kW Güneş Enerji Santrali Uydu Görüntüsü
Kaynak: Yandex Haritalar, [Ziyaret Tarihi : 15 Mayıs 2019]

Konya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğünün 250 kW Güneş Enerjisi Santrali, Konya İlinin Karatay ilçesinde Fevziçakmak mahallesinde ve $37^{\circ}53'01.3''$ Kuzey $32^{\circ}34'46.2''$ Doğu koordinatlarında yer almaktadır. Tesisin DC kurulu gücü (kWp) 286 kW, AC kurulu gücü (kWe, kWA) ise 250 kW'dır (Şekil 4.11-4.15).



Şekil 4.12. KOSKİ 250 kW GES Vaziyet Planı
Kaynak: KOSKİ Güneş Enerjisi Santrali Projesi



Şekil 4.13. KOSKİ 250 kW Güneş Enerjisi Santrali Vaziyet Planı-2
Kaynak: (KOSKİ, 2017)

Şekil 4.13’de görüldüğü üzere KOSKİ 250 kW Güneş Enerjisi Santralinde kurulan PV modüller güneşe doğru hizalanmıştır. Panellerin azimut açısı 0° ’dir. Santralde kullanılan panel sayıları ve genel santral özellikleri Çizelge 4.16’da görülmektedir.

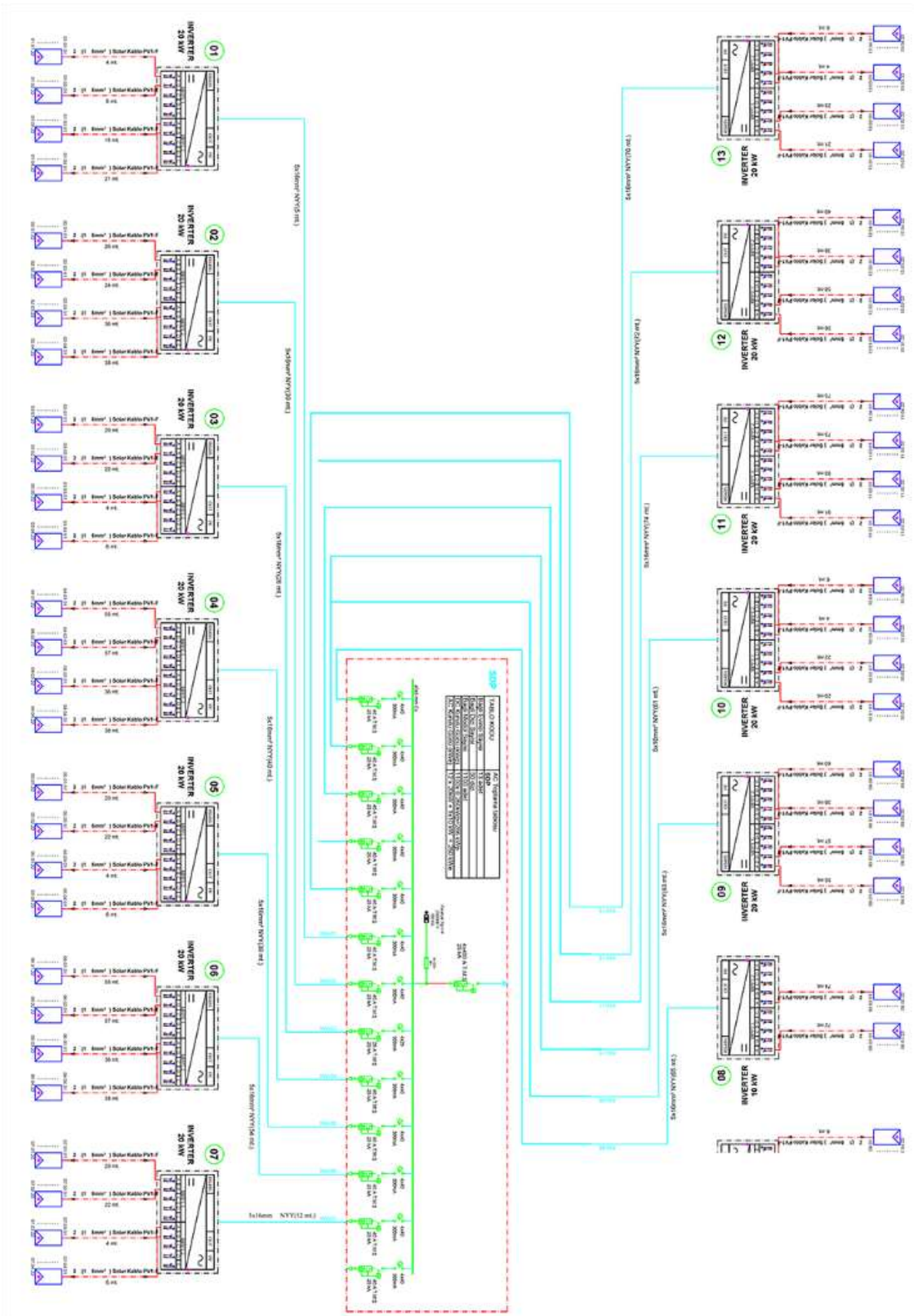
Çizelge 4.16. KOSKİ 250 kW GES Teknik Bilgiler Çizelgesi, (KOSKİ, 2017)

<i>PARAMETRE</i>	<i>AÇIKLAMA</i>
İli	Konya
İlçesi	Karatay
Mevki	Fevziçakmak Mahallesi
Teknoloji Türü	Optimum açıda sabitlenmiş fotovoltaik sistemler
Uygulama Yeri	Arazi
Fotovoltaik Sistemlerde Kullanılacak Hücre Türü	Çok Kristalli yapı
Kullanılan Modül Marka ve Modeli	ANKARA SOLAR AS-P60 260 W
Ünite Modül Gücü (Wp)	260 Wp
Ünite Modül Sayısı (Adet)	1100
Kullanılan Evirici Marka ve Modeli	GOODWE GW20K-DT
Evirici Gücü (We)	20.000 We
Evirici Sayısı (Adet)	12x20 kW+1x10 kW
Tesis toplam kurulu gücü DC (kWp)	286 kWp
Tesis toplam kurulu gücü AC (kWe, kVA)	250 kWe

Çizelge 4.16’da görüldüğü üzere Konya OSB 250 kW Güneş Enerjisi Santralinde 260 W gücünde 1.100 adet panel kullanılmış, 286 kWp DC kurulu güce sahip olan tesis 250 kWe AC gücüyle şebekeye bağlanmıştır.



Şekil 4.14. KOSKİ 250 kW Güneş Enerjisi Santrali Görünümü



Şekil 4.15. KOSKİ 250 kW GES Tek Hat Şeması
Kaynak : (KOSKİ, 2017)

Çizelge 4.17. KOSKİ 250 kW GES Dizi ve Panel Bilgileri, (KOSKİ, 2017)

<i>Evirici Numarası</i>	<i>Dizi Sayısı</i>	<i>Dizideki Panel Sayısı</i>	<i>Panelin Maksimum Gücü (W)</i>	<i>Eviriciye Bağlı Panel Sayısı</i>	<i>Eviriciye Bağlı Maksimum Güç (W)</i>
1. Evirici	4	22	260	88	22.880
2. Evirici	4	22	260	88	22.880
3. Evirici	4	22	260	88	22.880
4. Evirici	4	22	260	88	22.880
5. Evirici	4	22	260	88	22.880
6. Evirici	4	22	260	88	22.880
7. Evirici	4	22	260	88	22.880
8. Evirici	2	22	260	44	11.440
9. Evirici	4	22	260	88	22.880
10. Evirici	4	22	260	88	22.880
11. Evirici	4	22	260	88	22.880
12. Evirici	4	22	260	88	22.880
13. Evirici	4	22	260	88	22.880
Toplam				1.100	286.000

Santralde 20 kWAC gücünde 13 adet evirici kullanılmıştır (Çizelge 4.17). Bu eviricilerin herbirine 4 dizi bağlanmıştır. 13 eviriciye bağlanan 50 dizinin herbirinde 22'şer adet 260 W_p gücünde PV panel mevcuttur (50x22=1.100 Adet Panel). 12 adet eviriciye 22.880 kW_p'lik PV panel bağlantısı, 1 adet eviriciye de 11.440 kW_p'lik PV panel bağlantısı yapılmıştır (12x22.880 + 11.440 = 286.000 kW_p). Santralde kullanılan PV modüller ile ilgili teknik bilgiler Çizelge 4.18'de, eviriciler ile ilgili teknik bilgiler ise Çizelge 4.19 ve Çizelge 4.20'de verilmiştir.

Çizelge 4.18. KOSKİ 250 kW GES'inde Kullanılan PV Panel Bilgileri, (KOSKİ, 2017)

<i>PARAMETRE</i>	<i>AÇIKLAMA</i>
Modül Modeli	ANKARA SOLAR AS-P60 260 W
Modül Teknolojisi	Çok Kristalli yapı (Polikristal)
Standart Test Koşullarında (STC) Maksimum Güç (P _{max})	260W
Açık Devre Voltajı (V _{oc})	38,2V
Optimum Çalışma Voltajı (V _{MP})	30,07V
Kısa Devre Akımı (I _{sc})	8,90A
Optimum Çalışma Akımı (I _{MP})	8,47A
Modül Verimliliği	15,98%
Güç Toleransı	0~+5W
Maksimum Sistem Voltajı	1000V DC (IEC)
Maksimum Seri Sigorta Eşiği	15A
Çalışma Sıcaklığı	-45 °C to + 85 °C
Boyutlar	164 x 992 x 40 mm
Ağırlık	18,5 kg
Ön Cam	Temperli/Temperli Antireflekte Cam
Çerçeve	Anodize edilmiş alüminyum alaşımı
Maksimum Güç için Sıcaklık Katsayısı γ (P _{MAX})	-0,43% / °C
Açık Devre Voltajı için Sıcaklık Katsayısı β (V _{oc})	-0,33% / °C
Kısa Devre Akımı için Sıcaklık Katsayısı α (I _{sc})	-0,056% / °C

Çizelge 4.19. KOSKİ 250 kW GES'inde Kullanılan Evirici Bilgileri (20 kW), (KOSKİ, 2017)

<i>PARAMETRELER</i>	<i>AÇIKLAMALAR</i>
DC GİRİŞİ	
MPP Aralığı @Pnom	260 V - 850 V
Çalışma Aralığı	470 V – 850 V
Minimum DC Gerilimi / Başlama Gerilimi	250 V
Boşta Çalışma Gerilimi	1.000 V
Maksimum Giriş Akımı	22 A
Maksimum MPP Takipçi Gücü	26.000 W
MPP Takipçi Sayısı	2
AC ÇIKIŞI	
Anma Gücü (@230 V / 220 V)	20.000 VA
Şebeke Gerilimi	400, 3L/N/PE
Maksimum Akım	30 A
Anma Frekansı	50/60 Hz
Cos phi	~ 1 (0,8'den 0,8 gecikmeye kadar ayarlanabilir)
Besleme Fazı Sayısı	3
GENEL ELEKTRİKSEL VERİLER	
Maksimum Verim	% 98,4 (geçici)
Avrupa Verimi	% 98,1 (geçici)
Kendi Tüketimi: Bekleme	<1 W
Devre Konsepti	Trafosuz
Aşırı gerilim koruma cihazı	Entegre
MEKANİK VERİLERİ	
Gösterge	Grafik Ekran + LED'ler
Arabirimler	RS485, WiFi
Çevre Sıcaklığı	-25 °C - +60 °C
Soğutma	Zorunlu Soğutma / Devir Ayarlı Fan
Koruma Şekli	IP65
Boyutlar (Yükseklik x Genişlik x Derinlik)	516 / 650 / 203 mm
Ağırlık	39 kg

Çizelge 4.20. KOSKİ 250 kW GES'inde Kullanılan Evirici Bilgileri (10 kW), (KOSKİ, 2017)

PARAMETRELER	AÇIKLAMALAR
DC GİRİŞİ	
MPP Aralığı @Pnom	200 V - 850 V
Çalışma Aralığı	480 V – 850 V
Minimum DC Gerilimi / Başlama Gerilimi	250 V / 180 V
Boşta Çalışma Gerilimi	1.000 V
Maksimum Giriş Akımı	11/11 A
Maksimum MPP Takipçi Gücü	12.000 W
MPP Takipçi Sayısı	2
AC ÇIKIŞI	
Anma Gücü (@230 V / 220 V)	10.000 VA
Şebeke Gerilimi	400, 3L/N/PE
Maksimum Akım	15,2 A
Anma Frekansı	50/60 Hz
Cos phi	~ 1 (0,8'den 0,8 gecikmeye kadar ayarlanabilir)
Besleme Fazı Sayısı	3
GENEL ELEKTRİKSEL VERİLER	
Maksimum Verim	% 98,3 (geçici)
Avrupa Verimi	% 98,0 (geçici)
Kendi Tüketimi: Bekleme	<1 W
Devre Konsepti	Trafosuz
Aşırı gerilim koruma cihazı	Entegre
MEKANİK VERİLERİ	
Gösterge	Grafik Ekran + LED'ler
Arabirimler	RS485, WiFi
Çevre Sıcaklığı	-25 °C - +60 °C
Soğutma	Zorunlu Soğutma / Devir Ayarlı Fan
Koruma Şekli	IP65
Boyutlar (Yükseklik x Genişlik x Derinlik)	516 / 455 / 192 mm
Ağırlık	24 kg

Çalışmamızda Konya iline ait güneş radyasyonları ve güneşlenme süreleri farklı veri tabanlarından elde edilmiştir. Konya iline ait meteorolojik veriler ise Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün internet sitesinden elde edilmiştir.

Çizelge 4.13'de görüldüğü üzere farklı veritabanlarına ait farklı meteorolojik veriler mevcuttur. Simülasyon yazılımlarının kullandığı meteorolojik verilerin doğruluğu

simülasyon doğruluğu ile doğru orantılıdır. Çalışmamız kapsamında, Konya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü yetkilileri tarafından gönderilen ve Ağustos 2017 tarihinden Mart 2019 tarihine kadar sistem tarafından üretilip şebekeye aktarılan enerji verileri gerçek veri olarak karşılaştırma amacıyla kullanılacaktır.

Çizelge 4.21. KOSKİ 250 kW GES'ine ait 2017-2019 Yılları Gerçek Enerji Üretim Değerleri (kWh)
(KOSKİ 250 kW GES'ine Ait MEDAŞ Mahsuplaşma Verileri)

	2017	2018	2019
Ocak		15.593,50	18.583,60
Şubat		23.795,90	15.804,90
Mart		28.681,80	39.402,30
Nisan		44.068,60	36.402,60
Mayıs		32.746,00	40.102,80
Haziran		40.504,60	
Temmuz		40.052,60	
Ağustos		44.749,50	
Eylül	17.062,00	41.321,00	
Ekim	9.251,80	34.304,80	
Kasım	25.438,90	25.299,60	
Aralık	19.789,90	14.915,00	
Yıllık	71.542,60	388.050,90	152.315,20

Çizelge 4.21'de KOSKİ 250 kW GES'ine ait gerçek üretim değerleri verilmiştir. Buna göre tesisin devreye girdiği Eylül ayında üretim ayın yarısında itibaren başlamıştır. Ekim ayında ise tesiste sorunlar ortaya çıkmış ve üretim aksamıştır. Tesisin sorunsuz olarak kabul edileceği üretim süreci 2018 yılında başlamıştır. Bu yılda da bazı günlerde tesis devreden çıkarılarak bakım ve onarım çalışmaları yapılmıştır. Tesisin devrede olduğu 21 aylık işletme sürecinde tesis 73 gün enerji üretememiştir. Çalışmamızda yapılacak karşılaştırmalar ve tesisin performans oranı gibi hesaplamalar, tesisin sorunsuz olarak enerji ürettiği günler hesaba katılarak üretim yapmadığı günlere ortalama üretim varsayım değerleri eklenerek yapılacaktır. Bu varsayıma göre tesisin 21 aylık enerji

üretim ortalama değeri aylık 30.731,84 kWh/ay olmuştur. Bu değer işletmenin devrede olmadığı günler için ortalama üretim değerleri eklenerek bulunmuştur. Tesisin 2018 yılında ürettiği ortalama aylık enerji değeri ise 34.474,23 kWh/yıl olmuştur. Bu değer tesisin devrede olmadığı günlere ortalama üretim değerleri eklenerek bulunmuştur. Çizelge 4.22’de tesisin devrede olmadığı günler ile ilgili ortalama değerlerin eklendiği enerji üretim değerleri gösterilmiştir. Çalışmamızda tesisin 2018 yılında ürettiği enerji değerleri dikkate alınmış ve 1 kW kurulu güç ile yıllık 1.662 kWh/kWp/Yıl enerji üretimi gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.22. KOSKİ 250 kW GES’ine ait 2017-2019 Yılları Hesaplanan Enerji Üretim Değerleri (kWh)

	2017	2018	2019
Ocak		17.218,29	20.359,58
Şubat		26.604,70	24.275,38
Mart		32.902,25	39.402,30
Nisan		47.185,56	36.402,60
Mayıs		35.279,55	42.241,67
Haziran		40.504,60	
Temmuz		45.986,32	
Ağustos		48.656,05	
Eylül	19.499,43	42.398,48	
Ekim	25.194,26	35.315,92	
Kasım	27.836,56	25.299,60	
Aralık	23.161,05	16.339,44	
Yıllık	95.691,30	415.708,76	164.700,53

Tesisin gerçek enerji üretim değerlerine eklenen yıllık enerji miktarı ve enerji üretimi yapılamayan gün sayıları Çizelge 4.23’de verilmiştir.

Çizelge 4.23. KOSKİ 250 kW GES Gerçek Enerji Üretim Değerlerine Eklenen Enerji ve Gün Verileri

	2017	2018	2019	TOPLAM
Yıllık Üretilen Enerji Farkı (kWh)	24.148,70	27.657,86	12.385,33	64.191,89
Üretim Yapılamayan Gün Sayısı (Gün)	30	28	15	73
Enerji Üretimine Eklenen Ortalama Günlük Enerji Miktarı (kWh/gün)	804,96	987,78	825,69	

4.2. Karşılaştırma Yapılan GES Simülasyonları

Bu bölümde gerçekleştirilen simülasyonlarda sahanın tasarımı, programların izin verdiği oranda gerçeğine yakın tasarlanmaya çalışılmıştır. Literatürde simülasyon sonuçlarına en fazla etki ettiği belirtilen meteorolojik verilerde de yazılımların varsayılan veritabanları kullanılmıştır. PVSyst yazılımı farklı meteorolojik veritabanlarını seçmeye ve ölçülen değerleri veritabanına eklemeye imkan tanımaktadır. PVSOL yazılımında ise varsayılan veri tabanı olarak Meteororm veritabanı bulunmakta bu yazılımda ölçülen verileri eklemeye imkan tanımaktadır. Bu nedenle iki yazılımın performans değerlendirmesi Meteororm veritabanıyla yapılan simülasyonlar ile ölçülmeye çalışılmıştır. PVGIS kendi veri tabanını kullanmakta farklı bir veritabanını kullanmaya imkan tanımamaktadır. Bu nedenle PVGIS ile PVSyst yazılımlarının performans değerlendirilmesi PVSyst’de PVGIS meteorolojik veritabanıyla yapılan simülasyonlar ile ölçülmeye çalışılmıştır.

Çalışmada, sistem kayıpları ile ilgili olarak Sudhakar’ın 2015 yılında yaptığı çalışmadaki varsayımlar kabul edilmiştir (Shiva Kumar & Sudhakar, 2015). PVSyst ve PVSOL yazılımları sistem kayıpları ile ilgili detaylı bilgi girişine imkan tanıdığından bu programlarda sistem kayıpları ayrıntılı olarak simülasyona eklenmiş, PVGIS yazılımında ise sistemin izin verdiği ölçüde ayrıntı girilmiş ama toplam sistem kaybı diğer yazılımlarla aynı oranda olmuştur.

4.2.1. PVSyst Simülasyonları

PVSyst güneş enerjisi sektöründe EPC firmaları tarafından tasarım yapılırken en çok kullanılan programlardan bir tanesidir. Bu programda güneş açıları, fotovoltaik sistem girdileri, kayıplar, gölge ve dizi modellemesi gibi girdiler ile performans analizi yapılabilmektedir. Birçok firma, yatırımcılara PVSyst programı ile hesaplanan üretim değerlerini taahhüt edebilmektedir. Program, Helios gibi 3 boyutlu tasarım programları ile entegre çalışabilmektedir. Böyle bir imkan olmadığı takdirde, PVSyst 6 versiyonundan itibaren gölge analizi için fotovoltaik sistemlerin tasarımı yapılabilmektedir (Şimşek, 2018).

PVSyst programında iklim veri tabanı olarak Meteororm, NASA ve PVGIS gibi büyük meteoroloji veritabanına sahip kuruluşların bilgileri kullanılabilir. Geçmişte kaydedilmiş ücretsiz istasyon kayıtlarına ulaşılabilir. Güncel olan

bilgiler yapılan tahminlerde doğruluk payını arttırabilmektedir. Eğer tasarımı yapılacak bölgede bir ölçüm istasyonu bulunuyorsa, bu istasyondan elde edilecek ışınım, nem, sıcaklık ve rüzgar hızı değerleri PVSyst programına aylık olarak işlenebilmektedir (Şimşek, 2018).

Çalışmada karşılaştırma yapılan GES tesislerinin aylık ortalama Küresel ve Dağınık Yatay Işınım değerleri Meteororm ve PVGIS veritabanlarından alınmıştır. PVSyst programının önemli özelliklerinden biri sistemin üç boyutlu olarak modellenebilmesidir. Söz konusu bölümde PV modülleri, binalar, fotovoltaik sistemin üzerinde gölge oluşturacak cisimler kullanılarak tasarım daha detaylı bir hale getirilebilmektedir (Şimşek, 2018).

4.2.1.1. Karaman Belediyesi 1000 kW GES Tesisinin PVSyst Simülasyonu

Programda öncelikle sahanın koordinatları girilerek PVSOL ile karşılaştırma yapmak için Meteororm meteorolojik veritabanı, PVGIS ile karşılaştırma yapabilmek için ise PVGIS meteorolojik veritabanı seçilmiştir (Şekil 4.16).

Geographical site parameters

Geographical Coordinates: Monthly meteo Interactive Map

Site: **KARAMAN (Turkey)**

Data source: Meteororm 7.1 (2003-2011), Sat=100%

Geographical site parameters are used in the "Orientation" and "System" parts of PVSyst projects.

Go to Databases/Meteo database to create or modify geographical sites.

	Global Irrad. kWh/m ² .mth	Diffuse kWh/m ² .mth	Temper. °C	Wind Vel. m/s
January	71.9	27.7	-0.6	2.80
February	87.7	37.6	0.8	3.51
March	141.1	49.8	6.7	3.89
April	177.0	60.1	10.9	3.61
May	214.8	73.5	16.0	3.59
June	234.2	61.6	20.9	4.20
July	242.6	58.8	24.7	4.49
August	228.5	45.3	24.4	4.30
September	180.6	43.7	18.8	3.50
October	131.5	34.4	13.5	3.10
November	89.2	31.3	6.5	2.70
December	67.6	24.9	1.2	2.70
Year	1866.7	548.7	12.0	3.5

Required Data

Horizontal global irradiation

Average Ext. Temperature

Extra data

Horizontal diffuse irradiation

Wind velocity

Irradiation units

kWh/m².day

kWh/m².mth

MJ/m².day

MJ/m².mth

W/m²

Clearness Index Kt

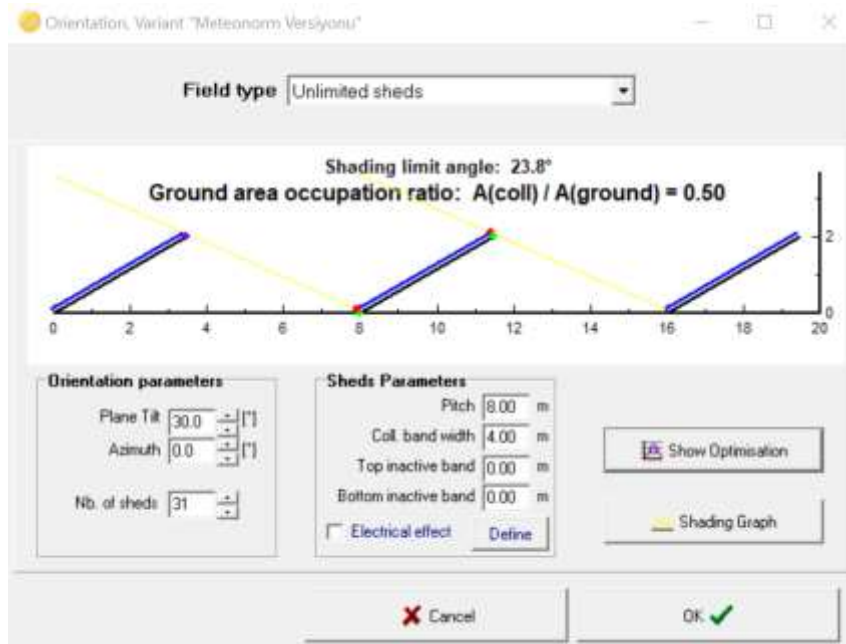
Print Close

Şekil 4.16. PVSyst Yazılımında Karaman Belediyesi GES Tesisi Meteororm Veri tabanı Seçimi



Şekil 4.17. PVSyst Yazılımında Karaman Belediyesi GES Tesisi PVGIS Veri tabanı Seçimi

Yazılımda ikinci aşamada tesiste kullanılan panellerin yerleşim uzaklıkları, panellerin tilt ve azimut açıları belirtilmiştir (Şekil 4.17). Bu aşamada Karaman GES tesisinde panel taşıyıcıların arasındaki mesafe verileri gerçeğine uygun olarak girilerek gölgelenme kayıpları ortaya çıkarılmıştır. Tesiste kollektör uzunluğu 4 metre, iki kollektörün orta noktasındaki mesafe ise 8 metredir. Tesiste 31 adet panel taşıyıcı kullanılmıştır.



Şekil 4.18. Karaman Belediyesi GES Simülasyonu Oryantasyon Ekranı

Simülasyonun üçüncü aşamasında tesiste kullanılan PV paneller ve eviriciler seçilerek dizilerin yerleşimi ve sayıları belirlenmiştir. Bu aşamada yazılım tasarımcıya optimum sayı ve yerleşim önerileri de sunmaktadır (Şekil 4.18). Karaman GES tesisi için 2 adet dize tasarlanmış, birinci dizide 4 evirici ve her bir eviriciye bağlı 20 modüllü 40 dizi tasarlanmıştır. İkinci dizide ise 16 eviriciye bağlı 21 modüllü 160 dizi tasarlanmıştır. Toplamda 4160 modül ve 1081,6 kWp kurulu gücünde 20 eviricili sistem tasarımı yapılmıştır (Şekil 4.19 ve Şekil 4.20).

The screenshot displays the 'Grid system definition, Variant: "Meteonorm Versiyonu"' window. It is divided into several sections:

- Global System configuration:** Shows 2 kinds of sub-arrays and a 'Simplified Schema' button.
- Global system summary:**

Nb. of modules	4160	Nominal PV Power	1082 kWp
Module area	6768 m ²	Maximum PV Power	1064 kWdc
Nb. of inverters	20	Nominal AC Power	1000 kWac
- Sub-array name and Orientation:** Name: 20ModüllükDizi, Tilt: 30°, Azimuth: 0°.
- Presizing Help:** Enter planned power: 208.0 kWp, or available area: 1302 m².
- Select the PV module:** HT-SAAE, 260 Wp 26V, S1poly: HT60-156P-260, Since 2011, Manufacturer: 2C. Sizing voltages: V_{mpp} (60°C) 26.3 V, V_{oc} (-10°C) 42.0 V.
- Select the inverter:** Kaco new energy, 500-900 V TL, 50/60 Hz, Max. input 50.0 TL3 INT BASIC, Since 2016. Nb. of inverters: 4, Operating Voltage: 580-900 V, Global Inverter's power: 200 kWac, Input maximum voltage: 1100 V.
- Design the array:**
 - Number of modules and strings: Mod. in series: 20, Nbre strings: 40. Only possibility 23.
 - Overload loss: 0.0%, Prom. ratio: 1.04. Show sizing button.
 - Nb. modules: 800, Area: 1302 m².
 - Operating conditions: V_{mpp} (60°C) 525 V, V_{mpp} (20°C) 630 V, V_{oc} (-10°C) 840 V.
 - Plane irradiance: 1000 W/m². Max. in data / STC. Max. operating power at 1000 W/m² and 50°C: 187 kW. Array nom. Power (STC): 208 kWp.

At the bottom, there are buttons for 'System summary', 'Cancel', and 'OK'.

Şekil 4.19. Karaman Belediyesi GES Simülasyonunda 20 Modülden Oluşan Dizenin Tanımlandığı Sistem Tasarım Ekranı

Grid system definition, Variant: "Meteonorm Versiyonu"

Global System configuration

2 Number of kinds of sub-arrays

Simplified Schema

Global system summary

Nb. of modules	4160	Nominal PV Power	1082 kWp
Module area	6768 m ²	Maximum PV Power	1064 kWdc
Nb. of inverters	20	Nominal AC Power	1000 kWac

Sub-array name and Orientation

Name: 21ModülükDizi

Orient: Unlimited sheds

Tilt: 30°

Azimuth: 0°

Presizing Help

No Sizing

Enter planned power: 873.6 kWp

... or available area: 5466 m²

Select the PV module

Available Now

HT-SAAE 260 Wp 26V Si-pole HT60-156P-260 Since 2011 Manufacturer 2C

Sizing voltages: V_{mpp} (60°C) 26.3 V

V_{oc} (-10°C) 42.0 V

Use Optimizer

Select the inverter

Available Now

Kaco new energy 50 kW 580 - 900 V TL 50/60 Hz blueplanet 50.0 TL3-INT BASIC Since 2016

Nb. of inverters: 16

Operating Voltage: 580-900 V

Input maximum voltage: 1100 V

Global Inverter's power: 800 kWac

50 Hz

60 Hz

Design the array

Number of modules and strings

Mod. in series: 21 only possibility 23

Nbre strings: 160

Overload loss: 0.0%

Prnom ratio: 1.09

Nb. modules: 3360 Area: 5466 m²

Operating conditions

V_{mpp} (60°C) 552 V

V_{mpp} (20°C) 661 V

V_{oc} (-10°C) 892 V

Plane irradiance: 1000 W/m²

I_{mp} (STC) 1358 A

I_{ec} (STC) 1453 A

I_{ec} (at STC) 1435 A

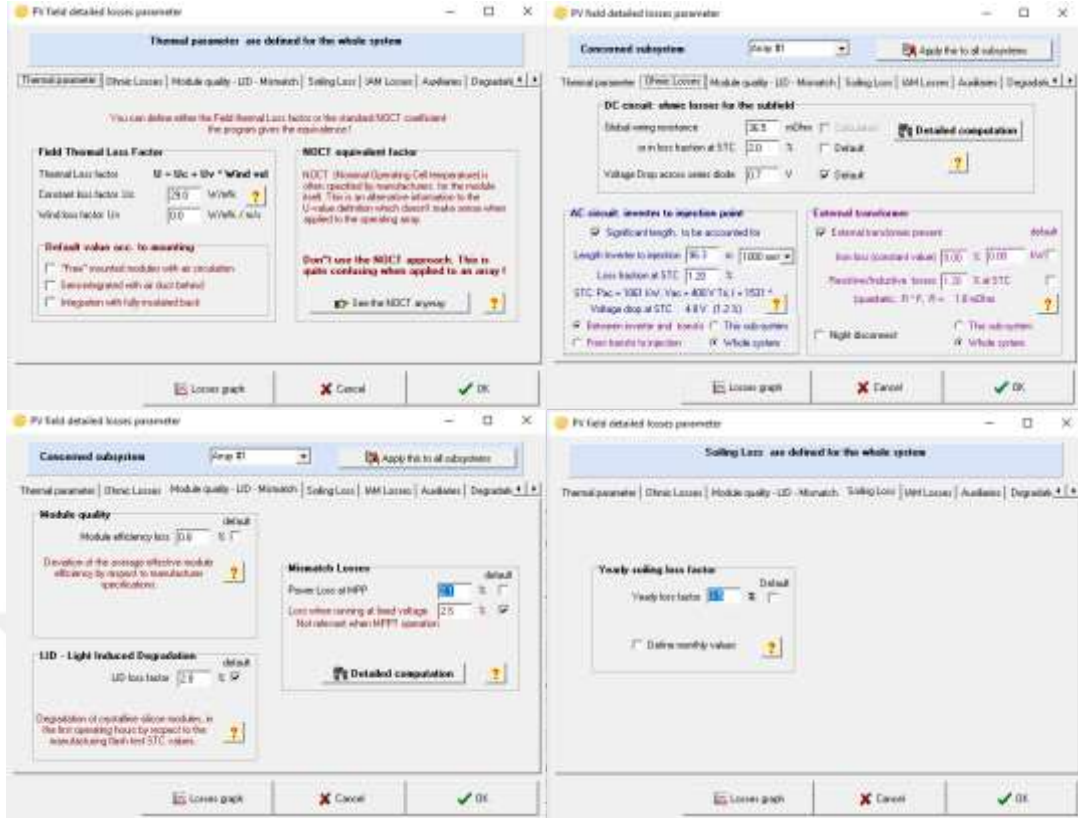
Max. operating power at 1000 W/m² and 50°C: 786 kW

Array nom. Power (STC): 874 kWp

The array V_{mpp} at 60°C is lower than the inverter minimum operating voltage. This may result in some inverter undervoltage loss.

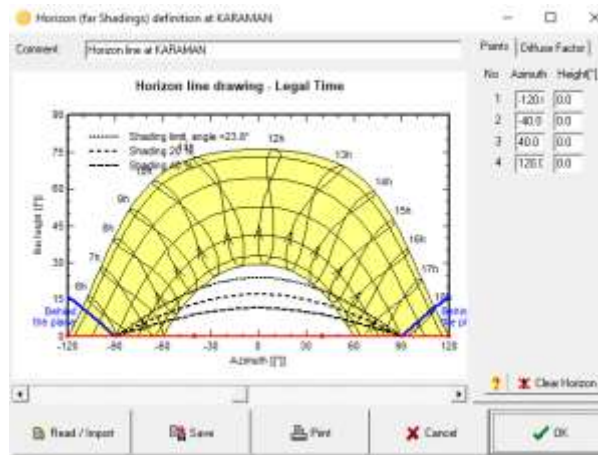
Şekil 4.20. Karaman Belediyesi GES Simülasyonunda 21 Modülden Oluşan Dizenin Tanımlandığı Sistem Tasarım Ekranı

Sistem kayıpları kapsamında Sudhakar'ın 2015 yılında yaptığı çalışmadaki varsayımlar bölgenin ve tesisin gerçek verileriyle harmonize edilerek yeni varsayımlar oluşturulmuştur. Sudhakar'ın performans analizi yaptığı tesisin yıllık sıcaklık değerleri Karaman ve Konya için söz konusu değildir. Bu nedenle sıcaklık kayıpları varsayılan değer olarak alınmıştır. Buna karşın bölgenin tozlanma katsayısı diğer bölgelere nazaran daha fazla olduğu gözlemlendiği için tozlanma kayıp oranı daha fazla olmuştur. Ayrıca iki tesiste kullanılan ekipmanların sistemde oluşturduğu kayıplar da birbirinden farklıdır. Bu nedenle Sudhakar çalışmasında sistem kayıplarını toplamda %25,3 olduğunu kabul etmesine karşın Konya ve Karaman bölgesinde bu kayıpların en fazla %24,4 olabileceği varsayımı yapılarak tüm simülasyon programlarında toplam sistem kaybı %24,4 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.21).



Şekil 4.21. Karaman Belediyesi GES Tesisi Simülasyonu Sistem Kayıpları Veri Girişi

Yazılım tesisinin yakınlarda gölge unsuru olan coğrafi ya da insani nesnelerin olması durumunda (dağ, bina, ağaç vs.) gölgeleme kayıplarının daha hassas hesaplanabilmesi için iki farklı yöntem sunmaktadır. Birinci yöntemde ufuk çizgisini gölgeleme yapılan saatlerde manüel olarak ayarlamaya izin vermekte, ikinci olarak da sahanın iki boyutlu çizimini gölgeleme yapacak çizimler ile yapmanıza olanak sağlamaktadır. Karaman Belediyesi GES tesisinde gölgeleme yapabilecek cisim veya coğrafi unsur bulunmadığı için bu iki yöntem de kullanılmamıştır (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. Karaman Belediyesi GES Tesisi Simülasyonu Gölgeleme için Ufuk Tanımlama Ekranı

Yazılımda tesisle ilgili ekonomik analiz de yapılabilmektedir (Şekil 4.23). Bu kapsamda simülasyonda Karaman GES'e ait gerçek yatırım değeri, tesise ait ilk yatırım maliyetlerinin alt bileşenleri ise Mayer ve arkadaşları'nın 2015 yılında yaptıkları çalışmadaki oranlara göre belirlenerek elde edilen değerler kullanılarak yapılmıştır (Energiewende et al., 2015).

Economic evaluation

Project and Simulation variant

Project: Grid-Connected Project at KARAMAN PVGIS
Simulation: PVGIS Versiyonu
PV Array, Pnom = 1082 kWp System: Grid-Connected System
PV module: HT60-156P-260 Inverter: blueplanet 50.0 TL3-INT BASIC

Values:
 Global By Wp
 By piece By m²

Investment

PV modules	4160 units of 260 Wp	1855700	TRY	<input type="checkbox"/>	
Supports / Integration		0	TRY		
Inverters	20 units of 50.0 kW	337400	TRY	<input type="checkbox"/>	
Settings, wiring, ...		377888	TRY		
Others, miscellaneous...	<input type="button" value="Details"/>	803012	TRY		
Substitution underworth		-	TRY		
Gross investment, (excl. taxes)		3374000	TRY		

Financing

Taxes	18.00 %	607320	TRY
Subsidies		- 497500	TRY
Net investment		3483820	TRY
Annuities		409208	TRY / yr
Running Costs, Maintenance, insur.		27500	TRY / yr
Total yearly cost		436708	TRY / yr

Loan

Duration: 20 Years
Rate: 10.0 %
Ann. factor 11.75 %cap./yr

Currency

Turkey

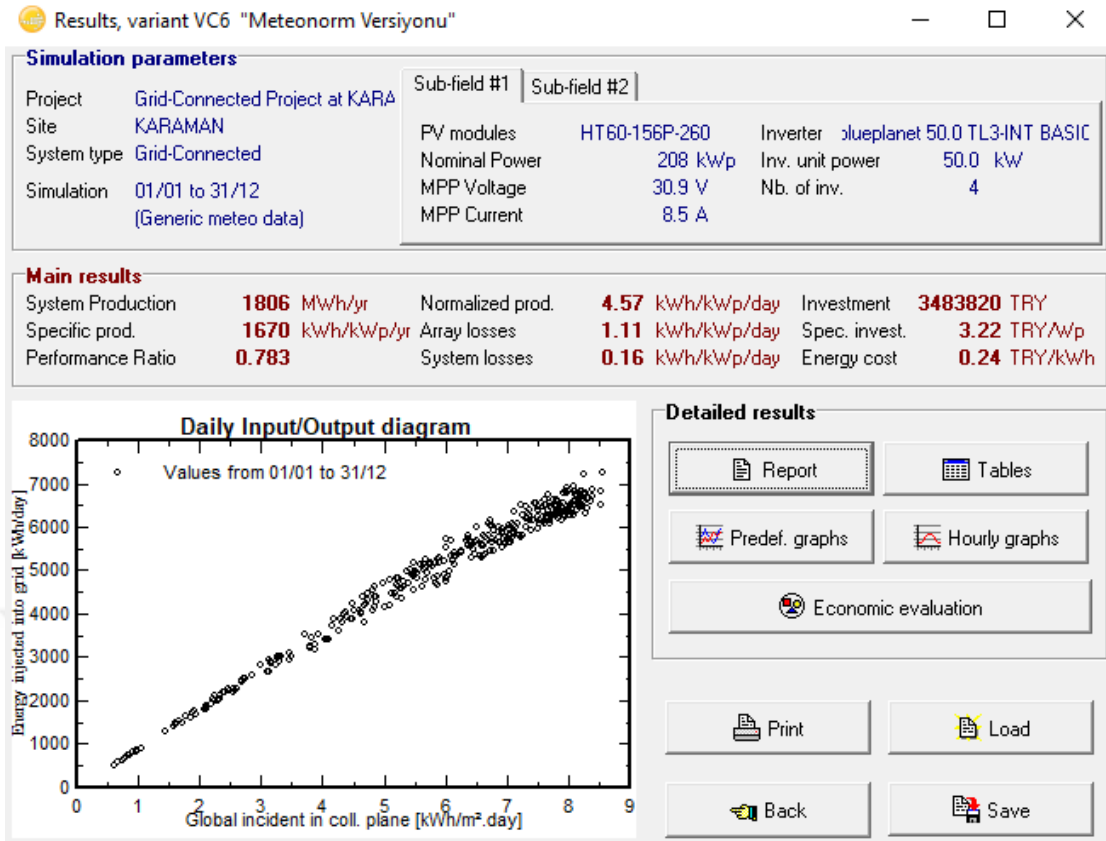
Energy cost

Produced Energy	1668	MWh / year
Yearly cost	436708	TRY / year
Energy cost	0.26	TRY / kWh

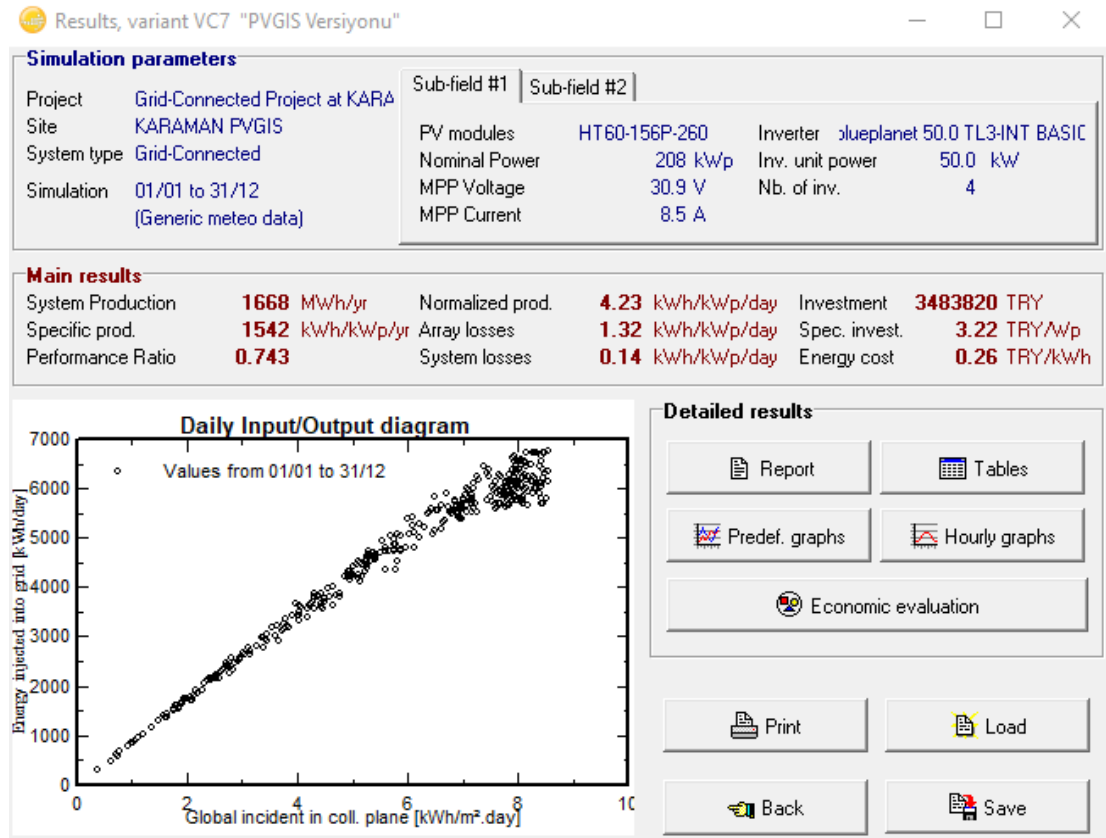
Şekil 4.23. Karaman Belediyesi GES Tesisi Simülasyonu Ekonomik Analiz Veri Ekranı

Bu aşama ile yazılımda simülasyon için gerekli olan tüm veriler girilmiştir. Sonraki aşamada yazılımda simülasyon başlatılarak simülasyon sonuçları elde edilir. Sonuçlar yazdırabildiği gibi farklı formatlarda kaydedilmektedir. Ayrıca simülasyon ile ilgili istenilen grafikler ve çizelgeler kopyalanabilmektedir.

Karaman Belediyesi için Meteonorm ve PVGIS veritabanları kullanılarak iki farklı simülasyon yapılmıştır. Bu simülasyonlara ait sonuç ekranları, Şekil 4.24 ve 4.25'de görülmektedir.



Şekil 4.24. Karaman Belediyesi GES Tesisi Meteonorm Veri tabanı Simülasyonu Sonuç Ekranı



Şekil 4.25. Karaman Belediyesi GES Tesisi PVGIS Veri tabanı Simülasyonu Sonuç Ekranı

4.2.1.2. Konya OSB 500 kW GES Tesisinin PVSyst Simülasyonu

Programda öncelikle sahanın koordinatları girilerek PVSOL ile karşılaştırma yapmak için Meteonorm meteorolojik veritabanı, PVGIS ile karşılaştırma yapabilmek için ise PVGIS meteorolojik veritabanı seçilmiştir (Şekil 4.26 ve Şekil 4.27).

Geographical site parameters

Geographical Coordinates: Monthly meteo Interactive Map

Site: **KONYA_OSB - (Turkey)**

Data source: KONYA_OSB_MN71.5IT - Meteonorm 7.1 (2003-2011)

	Global Inrad. kWh/m².mth	Diffuse kWh/m².mth	Temper. °C	Wind Vel. m/s
January	67.9	31.5	0.7	2.90
February	88.0	32.4	0.7	3.80
March	134.7	51.1	6.7	3.99
April	158.4	73.7	10.9	3.70
May	203.4	66.3	16.0	3.69
June	323.1	68.5	20.9	4.40
July	326.6	56.6	24.7	4.69
August	216.0	58.8	24.4	4.50
September	168.4	51.2	18.8	3.59
October	119.7	45.1	13.6	3.21
November	62.9	30.6	6.4	2.79
December	62.4	26.0	1.2	2.79
Year	1761.5	590.8	12.0	3.7

Required Data

Horizontal global irradiation

Average Ext. Temperature

Extra data

Horizontal diffuse irradiation

Wind velocity

Irradiation units

kWh/m².day

kWh/m².mth

MJ/m².day

MJ/m².mth

W/m²

Clearness Index Kl

Print Close

Şekil 4.26. PVSyst Yazılımında Konya OSB GES Tesisi Meteonorm Veri tabanı Seçimi

Geographical site parameters

Geographical Coordinates: Monthly meteo Interactive Map

Site: **KONYA OSB PVGIS - (Turkey)**

Data source: PVGIS CM SAF, satellite 1998-2011

	Global Inrad. kWh/m².mth	Diffuse kWh/m².mth	Temper. °C
January	61.7	31.6	1.9
February	81.8	38.5	3.5
March	143.2	53.8	7.3
April	160.2	65.6	12.1
May	200.9	74.9	17.6
June	326.0	70.6	21.8
July	347.4	66.1	26.1
August	225.7	60.1	25.7
September	174.0	51.9	21.3
October	124.6	45.5	13.7
November	61.3	33.8	7.8
December	58.7	28.0	2.9
Year	1785.5	621.2	13.5

Geographical site parameters are used in the "Orientation" and "System" parts of PVSyst projects.

Go to Databases/Meteo database to create or modify geographical sites.

Required Data

Horizontal global irradiation

Average Ext. Temperature

Extra data

Horizontal diffuse irradiation

Wind velocity

Irradiation units

kWh/m².day

kWh/m².mth

MJ/m².day

MJ/m².mth

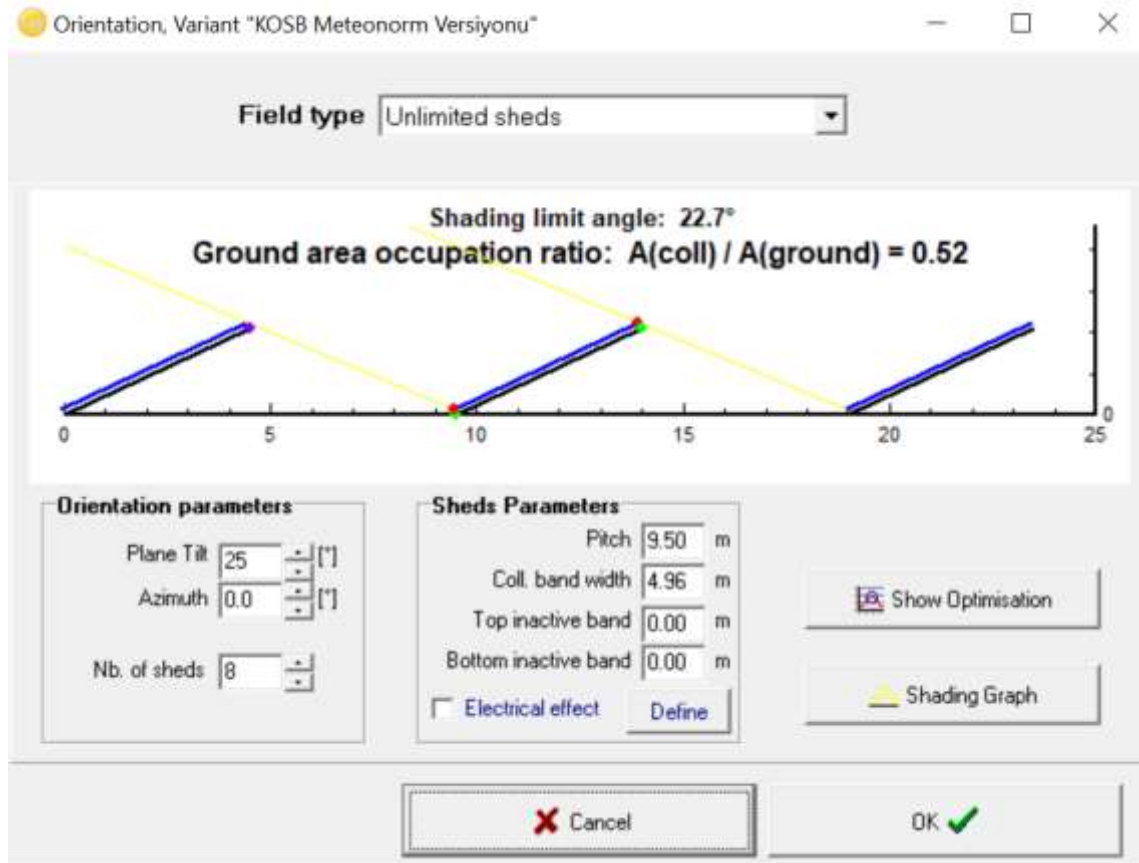
W/m²

Clearness Index Kl

Print Close

Şekil 4.27. PVSyst Yazılımında Konya OSB GES Tesisi PVGIS Veri tabanı Seçimi

Yazılımda ikinci aşamada tesiste kullanılan panellerin yerleşim uzaklıkları, panellerin tilt ve azimut açıları belirtilmiştir. Bu aşamada Konya OSB GES tesisinde panel taşıyıcıları arasındaki mesafe verileri gerçeğine uygun olarak girilerek gölgelenme kayıpları ortaya çıkarılmıştır. Tesiste kollektör uzunluğu 4,96 metre, iki kollektörün orta noktasındaki mesafe ise 9,5 metredir. Tesiste 8 adet panel taşıyıcı kullanılmıştır (Şekil 4.28).



Şekil 4.28. Konya OSB GES Simülasyonu Oryantasyon Ekranı

Simülasyonun üçüncü aşamasında tesiste kullanılan PV paneller ve eviriciler seçilerek dizilerin yerleşimi ve sayıları belirlenmiştir. Bu aşamada yazılım tasarımcıya optimum sayı ve yerleşim önerileri de sunmaktadır. Konya OSB GES tesisi için 1 adet dize tasarlanmıştır. Dizede 20 evirici ve her bir eviriciye bağlı 22 modüllü 5 dizi tasarlanmıştır. Toplamda 2200 modül ve 572 kWp kurulu gücünde 20 eviricili sistem tasarımı yapılmıştır (Şekil 4.29).

Grid system definition, Variant "KOSB Meteoronorm Versiyonu"

Global System configuration

Number of kinds of sub-arrays: 1

Simplified Schema

Global system summary

Nb. of modules	2200	Nominal PV Power	572 kWp
Module area	3599 m ²	Maximum PV Power	559 kW/dc
Nb. of inverters	20	Nominal AC Power	500 kW/ac

PV Array

Sub-array name and Orientation

Name: PV Array

Orient: Unlimited sheds

Tilt: 25°

Azimuth: 0°

Presizing Help

No Sizing

Enter planned power: 572.0 kWp

... or available area: 3599 m²

Select the PV module

Available Now

Endüstriyel Solar | 260 Wp 27V Si-polv | END-60-260P | Since 2018 | Manufacturer ZC

Sizing voltages: Vmpp (60°C) 26.4 V, Voc (-10°C) 42.0 V

Use Optimizer

Select the inverter

Available Now

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

Nb. of inverters: 20

Operating Voltage: 390-800 V

Input maximum voltage: 1000 V

Global Inverter's power: 500 kW/ac

Use multi-MPPT feature

Inverter with 2 MPPT

50 Hz

60 Hz

Design the array

Number of modules and strings

Mod. in series: 22 (between 15 and 23)

Nbre strings: 100

Overload loss: 0.0 %

Phom ratio: 1.14

Nb. modules: 2200 Area: 3599 m²

Operating conditions:

Vmpp (60°C): 580 V

Vmpp (20°C): 708 V

Voc (-10°C): 924 V

Plane irradiance: 1000 W/m²

Imp (STC): 838 A

Isc (STC): 890 A

Isc (at STC): 881 A

Max. operating power at 1000 W/m² and 50°C: 513 kW

Array nom. Power (STC): 572 kWp

The Array maximum power is greater than the specified Inverter maximum power. (Info, not significant)

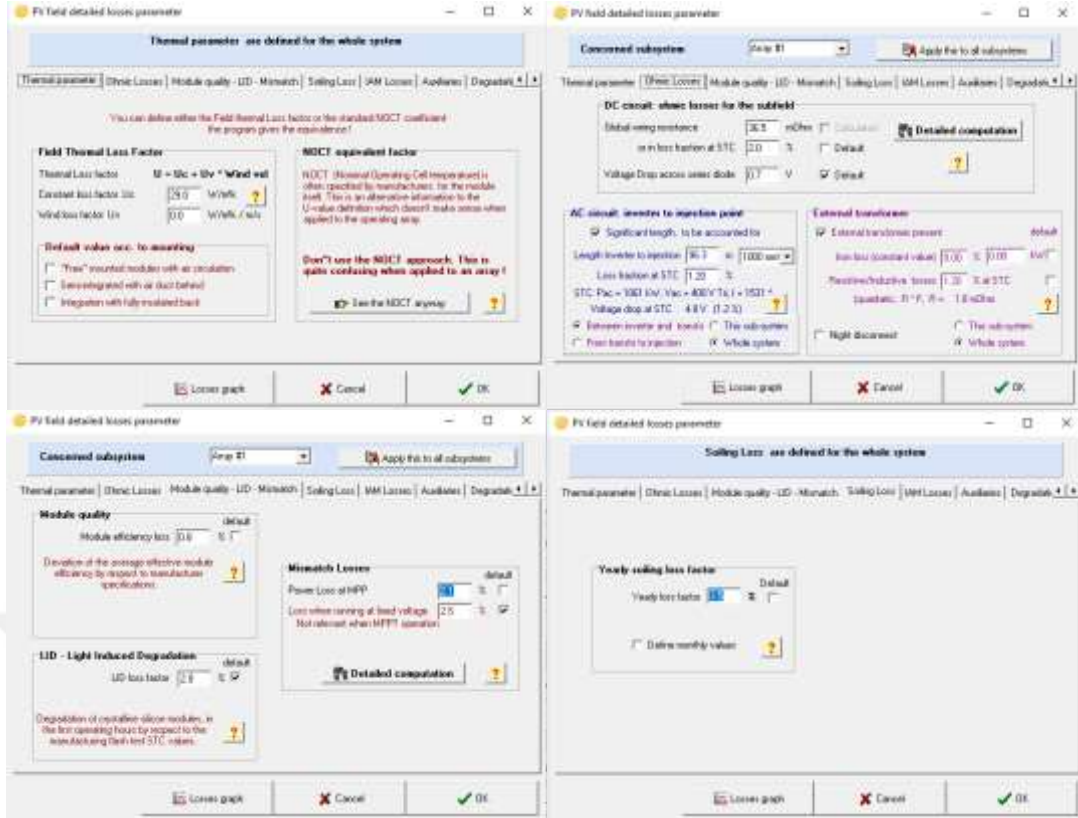
Max in data

STC

System summary | Cancel | OK

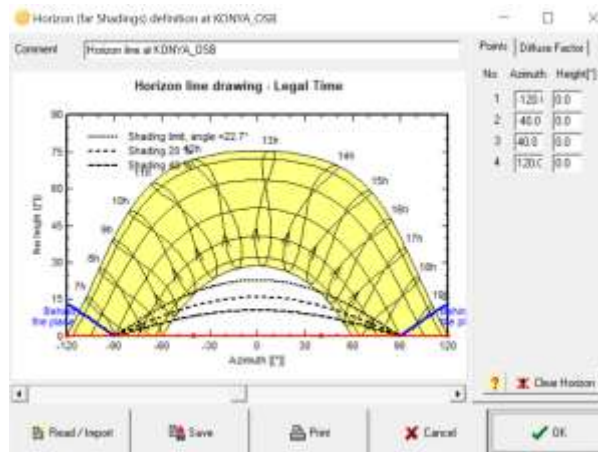
Şekil 4.29. Konya OSB GES Simülasyonunda 22 Modülden Oluşan Dizenin Tanımlandığı Sistem Tasarım Ekranı

Sistem kayıpları kapsamında Sudhakar'ın 2015 yılında yaptığı çalışmadaki varsayımlar bölgenin ve tesisin gerçek verileriyle harmonize edilerek yeni varsayımlar oluşturulmuştur. Sudhakar'ın performans analizi yaptığı tesisin yıllık sıcaklık değerleri Karaman ve Konya için söz konusu değildir. Bu nedenle sıcaklık kayıpları varsayılan değer olarak alınmıştır. Buna karşın bölgenin tozlanma katsayısı diğer bölgelere nazaran daha fazla olduğu gözlemlendiği için tozlanma kayıp oranı daha fazla olmuştur. Ayrıca iki tesiste kullanılan ekipmanların sistemde oluşturduğu kayıplar da birbirinden farklıdır. Bu nedenle Sudhakar çalışmasında sistem kayıplarını toplamda %25,3 olduğunu kabul etmesine karşın Konya ve Karaman bölgesinde bu kayıpların en fazla %24,4 olabileceği varsayımı yapılarak tüm simülasyon programlarında toplam sistem kaybı %24,4 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.30).



Şekil 4.30. Konya OSB GES Tesisi Simülasyonu Sistem Kayıpları Veri Girişi

Yazılım tesisin yakınlarında gölge unsuru olan coğrafi ya da insani nesnelerin olması durumunda (dağ, bina, ağaç vs.) gölgeleme kayıplarının daha hassas hesaplanabilmesi için iki farklı yöntem sunmaktadır. Birinci yöntemde ufuk çizgisini gölgeleme yapılan saatlerde manüel olarak ayarlamaya izin vermekte, ikinci olarak da sahanın iki boyutlu çizimini gölgeleme yapacak çizimler ile yapmanıza olanak sağlamaktadır. Konya OSB GES tesisinde gölgeleme yapabilecek cisim veya coğrafi unsur bulunmadığı için bu iki yöntem de kullanılmamıştır (Şekil 4.31).



Şekil 4.31. Konya OSB GES Tesisi Simülasyonu Gölgeleme için Ufuk Tanımlama Ekranı

Yazılımda tesisle ilgili ekonomik analiz de yapılabilmektedir (Şekil 4.32). Bu kapsamda simülasyonda Konya OSB GES'e ait gerçek yatırım değeri, tesise ait ilk yatırım maliyetlerinin alt bileşenleri ise Mayer ve arkadaşları'nın 2015 yılında yaptıkları çalışmadaki oranlara göre belirlenerek elde edilen değerler kullanılarak yapılmıştır (Energiewende et al., 2015).

Economic evaluation

Project and Simulation variant

Project: KOSB Meteorom
Simulation: KOSB Meteorom Versiyonu
PV Array, Pnom = 572 kWp System: Grid-Connected System
PV module: END-60-260P Inverter: Sunny Tripower 25000TL-30

Values: Global By Wp
 By piece By m²

Investment

PV modules	2200 units of 260 Wp	1194400	TRY	<input type="checkbox"/>	
Supports / Integration		0	TRY		
Inverters	20 units of 25.0 kW	199400	TRY	<input type="checkbox"/>	
Settings, wiring, ...		191424	TRY		
Others, miscellaneous...	<input type="button" value="Details"/>	408776	TRY		
Substitution underworth		0	TRY		
Gross investment, (excl. taxes)		1994000	TRY		

Financing

Taxes	18.00 %	358920	TRY
Subsidies		- 326406	TRY
Net investment		2026514	TRY
Annuities		238034	TRY / yr
Running Costs, Maintenance, insur.		20000	TRY / yr
Total yearly cost		258034	TRY / yr

Loan

Duration: 20 Years
Rate: 10.0 %
Ann. factor 11.75 %cap./yr

Currency

Turkey

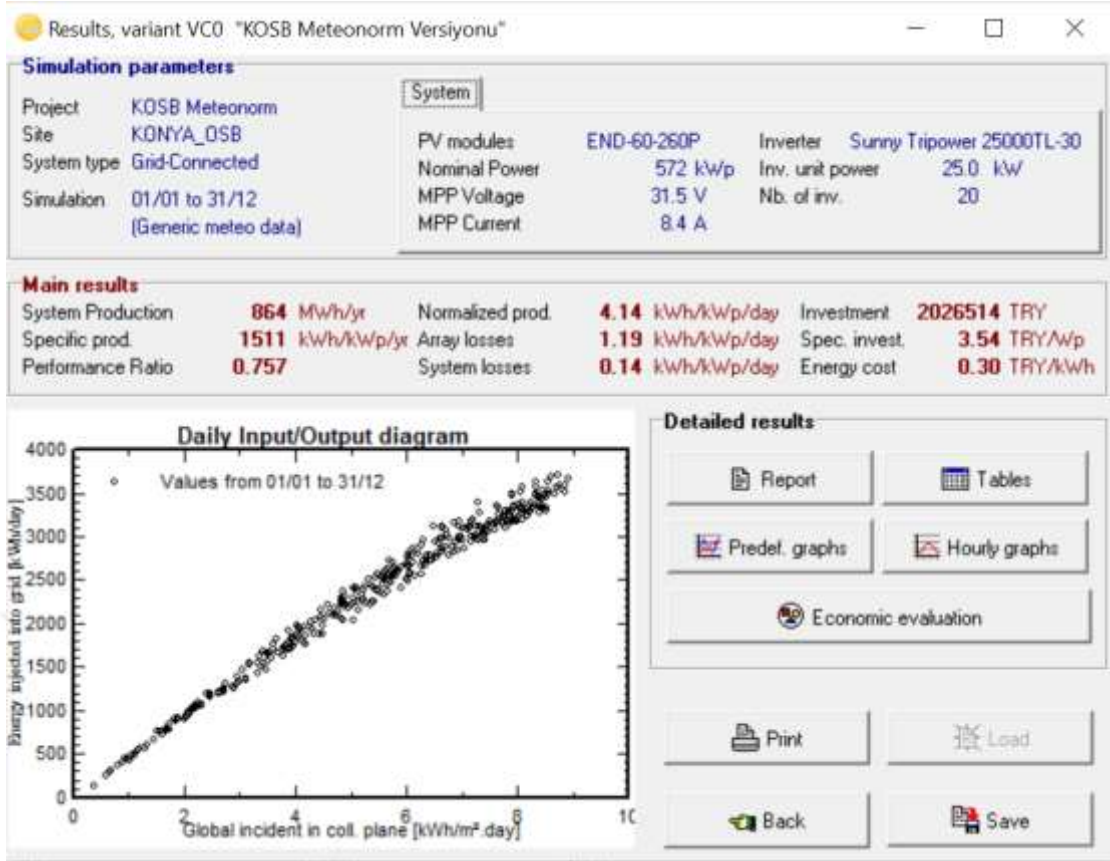
Energy cost

Produced Energy	864 MWh / year
Yearly cost	258034 TRY / year
Energy cost	0.30 TRY / kWh

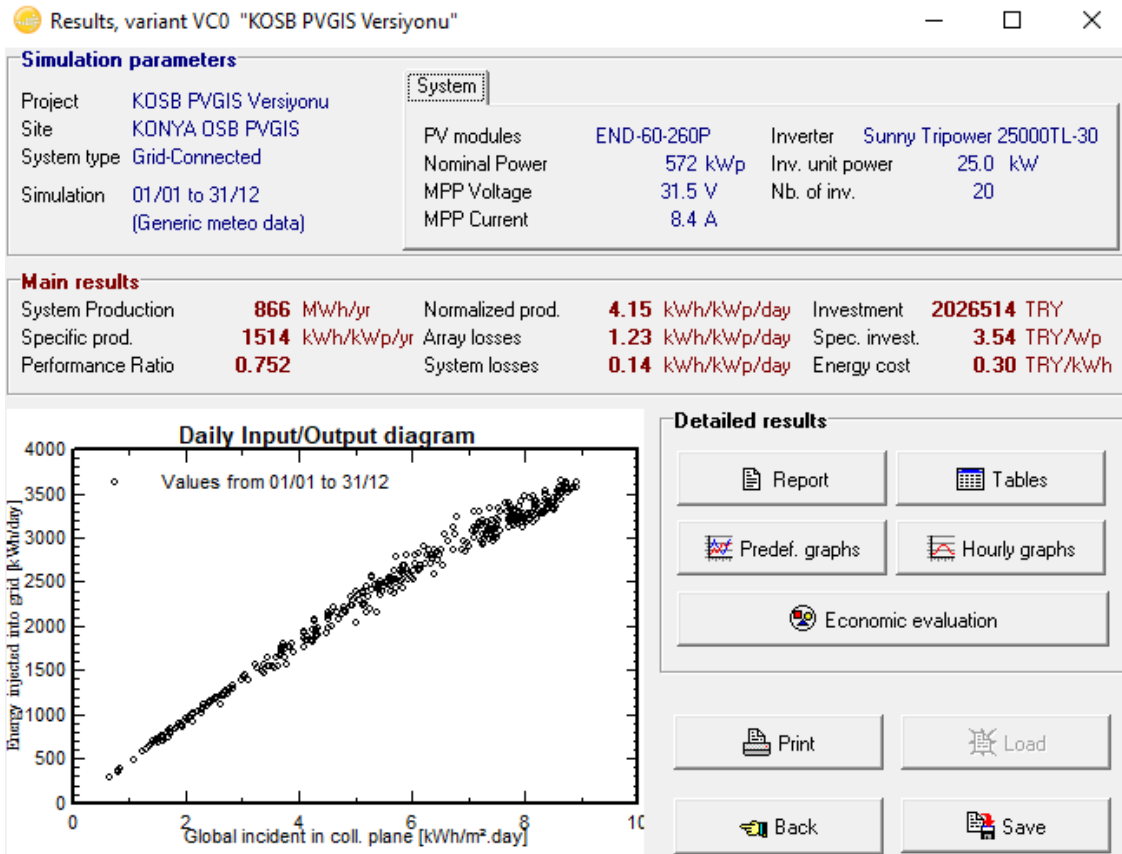
Şekil 4.32. Konya OSB GES Tesisi Simülasyonu Ekonomik Analiz Veri Ekranı

Bu aşama ile yazılımda simülasyon için gerekli olan tüm veriler girilmiştir. Sonraki aşamada yazılımda simülasyon başlatılarak simülasyon sonuçları elde edilecektir. Sonuçlar yazdırılabildiği gibi farklı formatlarda kaydedilmektedir. Ayrıca simülasyon ile ilgili istenilen grafikler ve çizelgeler kopyalanabilmektedir.

Konya OSB GES tesisi için Meteorom ve PVGIS veritabanları kullanılarak iki farklı simülasyon yapılmıştır. Bu simülasyonlara ait sonuç ekranları, Şekil 4.33 ve 4.34'de görülmektedir.



Şekil 4.33. Konya OSB GES Tesisi Meteororm Veri tabanı Simülasyonu Sonuç Ekranı



Şekil 4.34. Konya OSB GES Tesisi PVGIS Veri tabanı Simülasyonu Sonuç Ekranı

4.2.1.3. KOSKİ 250 kW GES Tesisinin PVSyst Simülasyonu

Programda öncelikle sahanın koordinatları girilerek PVSOL ile karşılaştırma yapmak için Meteonorm meteorolojik veritabanı, PVGIS ile karşılaştırma yapabilmek için ise PVGIS meteorolojik veritabanı seçilmiştir (Şekil 4.35 ve Şekil 4.36).

Geographical site parameters

Geographical Coordinates: Monthly meteo | Interactive Map

Site: **KONYA_KOSKI (Turkey)**

Data source: Meteonorm 7.1 (2003-2011)

	Global Irrad. kWh/m ² .mth	Diffuse kWh/m ² .mth	Temper. °C	Wind Vel. m/s
January	68.0	30.7	4.7	2.89
February	88.2	40.2	8.7	3.60
March	134.9	54.3	6.8	4.00
April	158.3	62.3	10.9	3.70
May	203.4	71.2	16.0	3.70
June	223.0	83.6	20.9	4.40
July	236.5	59.6	24.7	4.69
August	216.1	56.3	24.4	4.49
September	168.9	52.0	18.6	3.60
October	119.8	41.8	13.6	3.20
November	83.1	27.2	6.4	2.80
December	62.6	23.4	1.2	2.79
Year	1762.7	594.8	12.0	3.7

Geographical site parameters are used in the "Orientation" and "System" parts of PVSyst projects.

Go to Databases/Meteo database to create or modify geographical sites.

Required Data

Horizontal global irradiation

Average Ext. Temperature

Extra data

Horizontal diffuse irradiation

Wind velocity

Irradiation units

kWh/m².day

kWh/m².mth

MJ/m².day

MJ/m².mth

W/m²

Clearness Index Kt

Print Close

Şekil 4.35. PVSyst Yazılımında KOSKİ GES Tesisi Meteonorm Veri tabanı Seçimi

Geographical site parameters

Geographical Coordinates: Monthly meteo | Interactive Map

Site: **KOSKI PVGIS (Turkey)**

Data source: PVGIS CM SAF, satellite 1998-2011

	Global Irrad. kWh/m ² .mth	Diffuse kWh/m ² .mth	Temper. °C
January	63.2	34.1	1.6
February	83.2	39.9	3.0
March	146.3	67.3	6.7
April	165.3	71.1	11.5
May	205.8	76.2	16.8
June	232.2	65.0	21.1
July	248.9	57.3	25.5
August	228.2	52.5	25.1
September	175.2	45.6	20.8
October	125.9	45.3	13.2
November	81.9	33.6	7.3
December	58.0	30.7	2.5
Year	1814.1	618.6	12.9

Geographical site parameters are used in the "Orientation" and "System" parts of PVSyst projects.

Go to Databases/Meteo database to create or modify geographical sites.

Required Data

Horizontal global irradiation

Average Ext. Temperature

Extra data

Horizontal diffuse irradiation

Wind velocity

Irradiation units

kWh/m².day

kWh/m².mth

MJ/m².day

MJ/m².mth

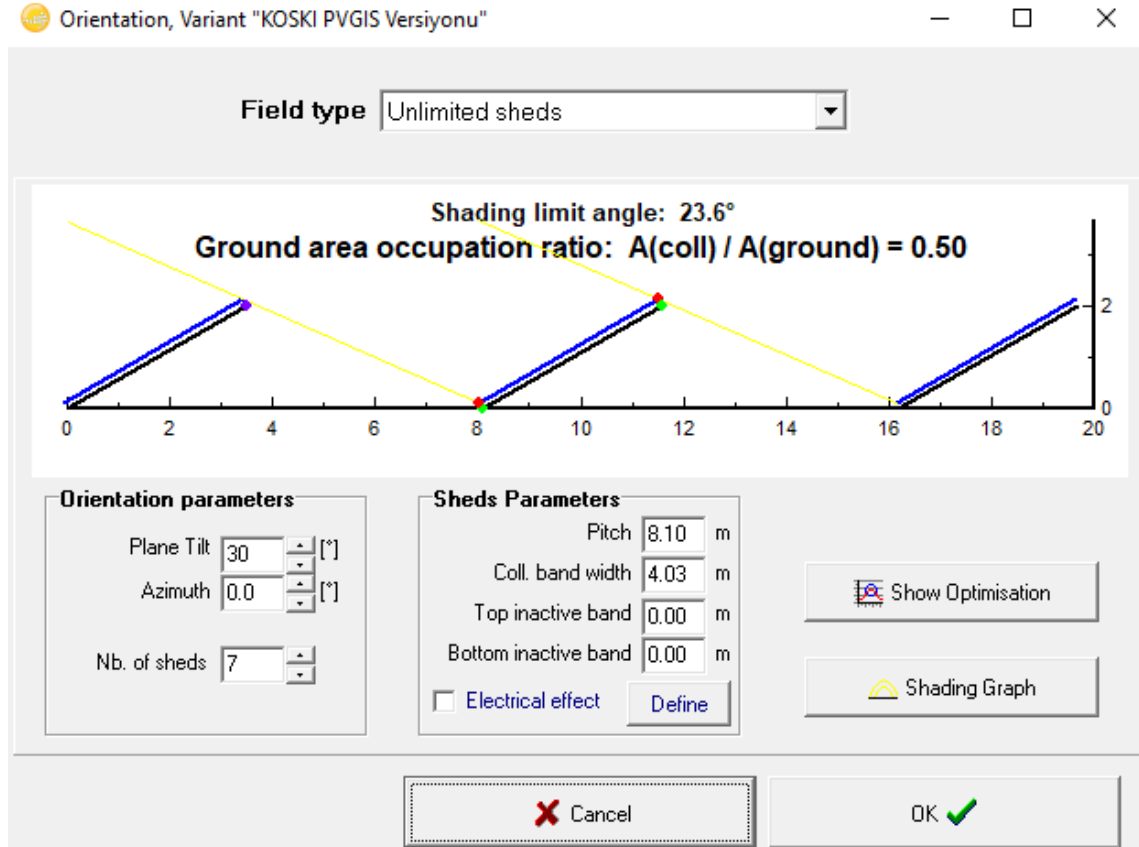
W/m²

Clearness Index Kt

Print Close

Şekil 4.36. PVSyst Yazılımında KOSKİ GES Tesisi PVGIS Veri tabanı Seçimi

Yazılımda ikinci aşamada tesiste kullanılan panellerin yerleşim uzaklıkları, panellerin tilt ve azimut açıları belirtilmiştir. Bu aşamada KOSKİ GES tesisinde panel taşıyıcıları arasındaki mesafe verileri gerçeğine uygun olarak girilerek gölgelenme kayıpları ortaya çıkarılmıştır. Tesiste kollektör uzunluğu 4,03 metre, iki kollektörün orta noktasındaki mesafe ise 8,10 metredir. Tesiste 7 adet panel taşıyıcı kullanılmıştır (Şekil 4.37).



Şekil 4.37. KOSKİ GES Simülasyonu Oryantasyon Ekranı

Simülasyonun üçüncü aşamasında tesiste kullanılan PV paneller ve eviriciler seçilerek dizilerin yerleşimi ve sayıları belirlenmiştir. Bu aşamada yazılım tasarımcıya optimum sayı ve yerleşim önerileri de sunmaktadır. KOSKİ GES tesisi için 2 adet dize tasarlanmış, birinci dizede 12 evirici ve her bir eviriciye bağlı 22 modüllü 48 dizi tasarlanmıştır. İkinci dizede ise 1 eviriciye bağlı 22 modüllü 2 dizi tasarlanmıştır. Toplamda 1100 modül ve 286 kWp kurulu gücünde 13 eviricili sistem tasarımı yapılmıştır (Şekil 4.38 ve Şekil 4.39).

Grid system definition, Variant "KOSKI PVGS Versiyonu"

Global System configuration

2 Number of kinds of sub-arrays

Simplified Schema

Global system summary

Nb. of modules:	1100	Nominal PV Power:	295 kWp
Module area:	1790 m ²	Maximum PV Power:	277 kWdc
Nb. of inverters:	12.5	Nominal AC Power:	245 kWac

20kVA% Dize | 10kVA% Dize |

Sub-array name and Orientation

Name: 20kVA% Dize

Orient: Unlimited sheds

Tilt: 30°

Azimuth: 0°

Presizing Help

No string

Enter planned power: 274.5 kWp

... or available area: 1718 m²

Select the PV module

Available Now

All Manufacturers: 260 Wp 26V Si-mono ANKARA SOLAR AS-PEI ANKARASOLAR Manufacturer

String voltages: Vmp(60°C) 25.9 V

Voc (-10°C) 43.0 V

Use Optimizer

Select the inverter

Available Now

Goodwe 20 kW 260 - 850 V TL 50/60 Hz GW20K-DT Since 2012

Nb. of inverters: 12 Use multi-MPPT feature

Operating Voltage: 260-850 V

Input maximum voltage: 1000 V

Global Inverter's power: 240 kWac

Inverter with 2 MPPT

50 Hz

60 Hz

Design the array

Number of modules and strings

Mod. in series: 22 between 11 and 23

Nbr strings: 48

Overload loss: 0.0 %

Poorn ratio: 1.14

Nb. modules: 1056

Area: 1718 m²

Operating conditions:

Vmp(60°C) 565 V

Vmp(20°C) 636 V

Voc (-10°C) 945 V

Plane irradiance: 1000 W/m²

Imp(STC) 405 A

Isc (STC) 437 A

Isc (at STC) 432 A

Max. operating power at 1000 W/m² and 50°C: 244 kW

Array nom. Power (STC): 275 kWp

System summary Cancel OK

Şekil 4.38. KOSKİ GES Simülasyonunda 12 Eviriciden Oluşan Dizenin Tanımlandığı Sistem Tasarım Ekranı

Grid system definition, Variant "KOSKI PVGS Versiyonu"

Global System configuration

2 Number of kinds of sub-arrays

Simplified Schema

Global system summary

Nb. of modules:	1100	Nominal PV Power:	286 kWp
Module area:	1790 m ²	Maximum PV Power:	277 kWdc
Nb. of inverters:	13	Nominal AC Power:	250 kWac

20kVA% Dize | 10kVA% Dize |

Sub-array name and Orientation

Name: 10kVA% Dize

Orient: Unlimited sheds

Tilt: 30°

Azimuth: 0°

Presizing Help

No string

Enter planned power: 11.4 kWp

... or available area: 72 m²

Select the PV module

Available Now

All Manufacturers: 260 Wp 26V Si-mono ANKARA SOLAR AS-PEI ANKARASOLAR Manufacturer

String voltages: Vmp(60°C) 25.9 V

Voc (-10°C) 43.0 V

Use Optimizer

Select the inverter

Available Now

Goodwe 10 kW 200 - 850 V 50/60 Hz GW10KN-DT Since 2012

Nb. of MPPT inputs: 2 Use multi-MPPT feature

Operating Voltage: 200-800 V

Input maximum voltage: 1000 V

Global Inverter's power: 10.0 kWac

Inverter with 2 MPPT

50 Hz

60 Hz

Design the array

Number of modules and strings

Mod. in series: 22 between 6 and 23

Nbr strings: 2

Overload loss: 0.0 %

Poorn ratio: 1.14

Nb. modules: 44

Area: 72 m²

Operating conditions:

Vmp(60°C) 565 V

Vmp(20°C) 636 V

Voc (-10°C) 945 V

Plane irradiance: 1000 W/m²

Imp(STC) 16.9 A

Isc (STC) 18.2 A

Isc (at STC) 18.0 A

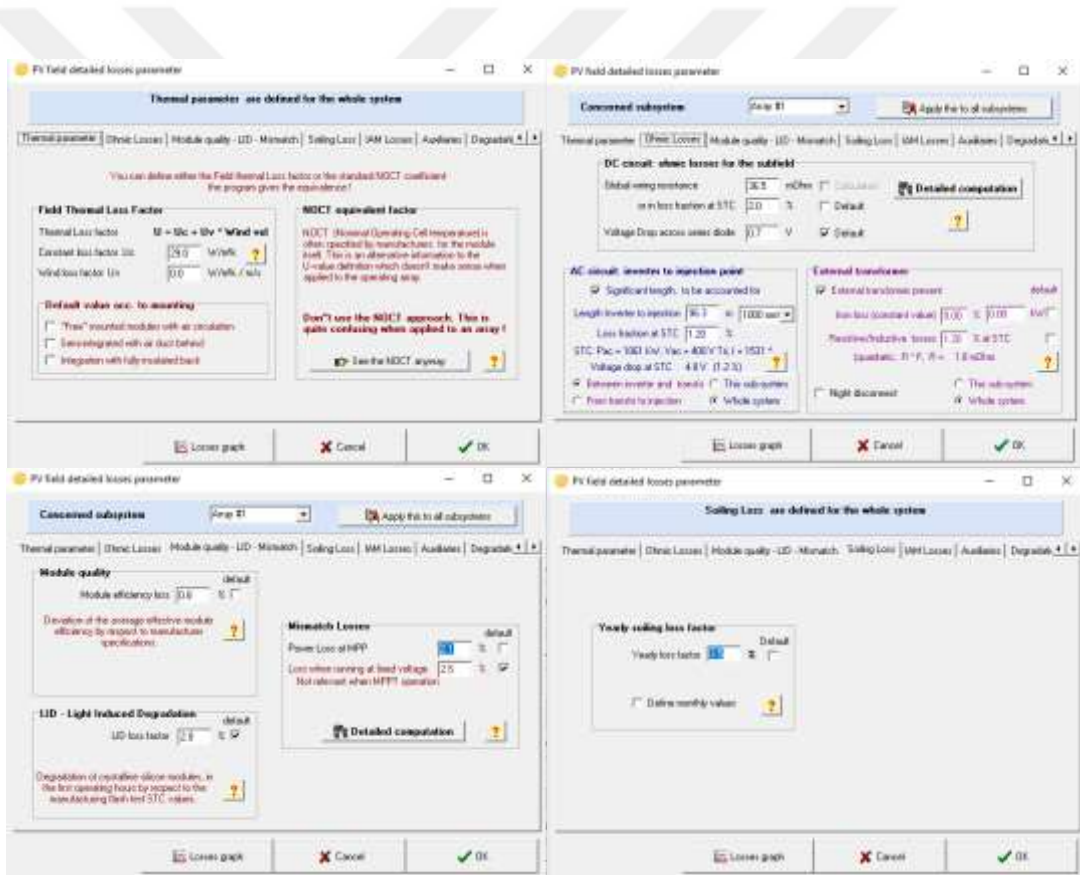
Max. operating power at 1000 W/m² and 50°C: 10.2 kW

Array nom. Power (STC): 11.4 kWp

System summary Cancel OK

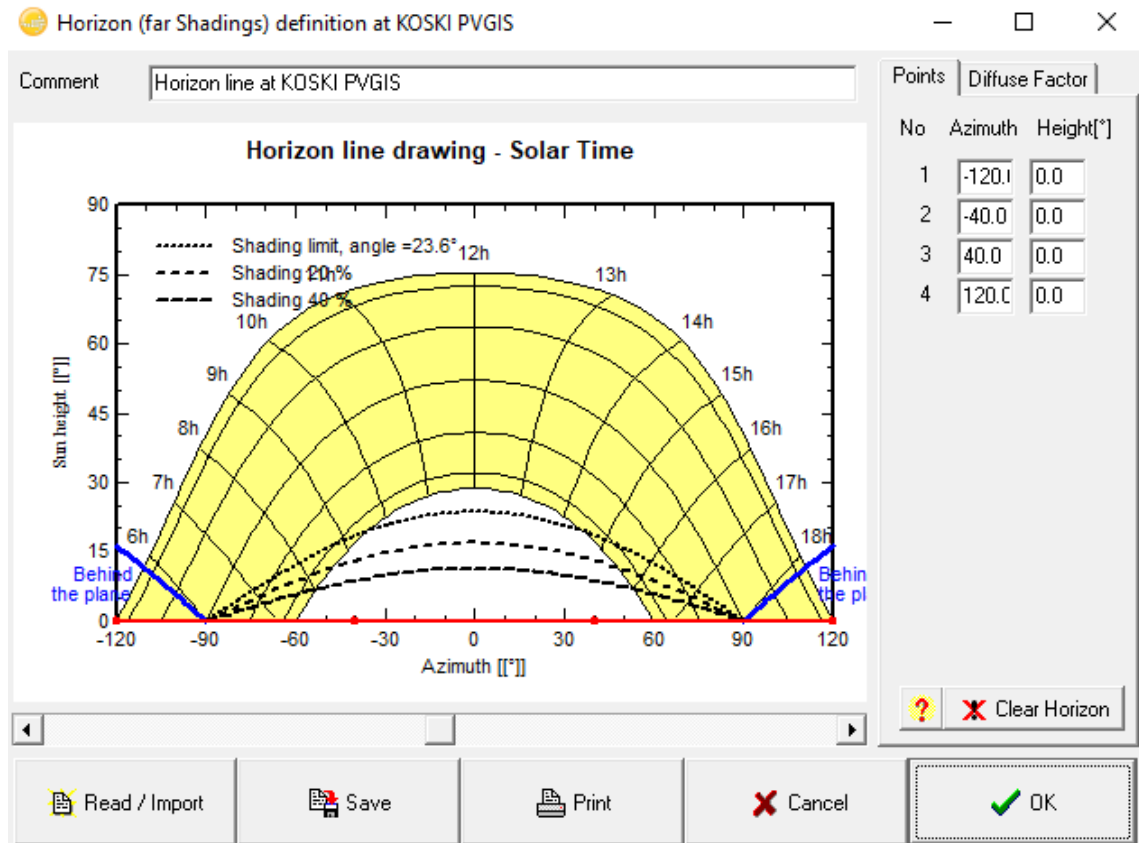
Şekil 4.39. KOSKİ GES Simülasyonunda 1 Eviriciden Oluşan Dizenin Tanımlandığı Sistem Tasarım Ekranı

Sistem kayıpları kapsamında Sudhakar'ın 2015 yılında yaptığı çalışmadaki varsayımlar bölgenin ve tesisin gerçek verileriyle harmonize edilerek yeni varsayımlar oluşturulmuştur. Sudhakar'ın performans analizi yaptığı tesisin yıllık sıcaklık değerleri Karaman ve Konya için söz konusu değildir. Bu nedenle sıcaklık kayıpları varsayılan değer olarak alınmıştır. Buna karşın bölgenin tozlanma katsayısı diğer bölgelere nazaran daha fazla olduğu gözlemlendiği için tozlanma kayıp oranı daha fazla olmuştur. Ayrıca iki tesiste kullanılan ekipmanların sistemde oluşturduğu kayıplar da birbirinden farklıdır. Bu nedenle Sudhakar çalışmasında sistem kayıplarını toplamda %25,3 olduğunu kabul etmesine karşın Konya ve Karaman bölgesinde bu kayıpların en fazla %24,4 olabileceği varsayımı yapılarak tüm simülasyon programlarında toplam sistem kaybı %24,4 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.40).



Şekil 4.40. KOSKİ GES Tesisi Simülasyonu Sistem Kayıpları Veri Girişi

Yazılım tesisin yakınlarında gölge unsuru olan coğrafi ya da insani nesnelere olması durumunda (dağ, bina, ağaç vs.) gölgeleme kayıplarının daha hassas hesaplanabilmesi için iki farklı yöntem sunmaktadır. Birinci yöntemde ufuk çizgisini gölgeleme yapılan saatlerde manuel olarak ayarlamaya izin vermekte, ikinci olarak da sahanın iki boyutlu çizimini gölgeleme yapacak çizimler ile yapmaya olanak sağlamaktadır. KOSKİ GES tesisinde gölgeleme yapabilecek cisim veya coğrafi unsur bulunmadığı için bu iki yöntem de kullanılmamıştır (Şekil 4.41).



Şekil 4.41. KOSKİ GES Tesisi Simülasyonu Gölgeleme için Ufuk Tanımlama Ekranı

Yazılımda tesisle ilgili ekonomik analiz de yapılabilmektedir (Şekil 4.42). Bu kapsamda simülasyonda KOSKİ GES'e ait gerçek yatırım değeri, tesise ait ilk yatırım maliyetlerinin alt bileşenleri ise Mayer ve arkadaşları'nın 2015 yılında yaptıkları çalışmadaki oranlara göre oranlanarak elde edilen değerler kullanılarak yapılmıştır (Energiewende et al., 2015).

Economic evaluation

Project and Simulation variant
 Project: KOSKI PVGIS Versiyonu
 Simulation: KOSKI PVGIS Versiyonu
 PV Array, Pnom = 286 kWp System: Grid-Connected System
 System with 2 different sub-fields defined

Values
 Global By Wp
 By piece By m²

Investment

PV modules	1100 units of 260 Wp	809419	TRY	<input type="checkbox"/>
Supports / Integration		0	TRY	
Inverters	13 units	147167	TRY	<input type="checkbox"/>
Settings, wiring, ...		164828	TRY	
Others, miscellaneous...	<input type="button" value="Details"/>	350257	TRY	
Substitution underworth		0	TRY	
Gross investment, (excl. taxes)		1471671	TRY	

Sub-field's components

Sub-field:

PV module: ANKARASOLAR 60P260W
 1056 units TRY

Inverter: GW20K-DT
 12 units TRY

Loan
 Duration: 20 Years
 Rate: 10.0 %
 Ann. factor 11.75 %cap./yr

Currency
 Turkey

Financing

Taxes	18.00 %	264901	TRY
Subsidies		- 396720	TRY
Net investment		1339852	TRY
Annuities		157378	TRY / yr
Running Costs, Maintenance, insur.		10000	TRY / yr
Total yearly cost		167378	TRY / yr

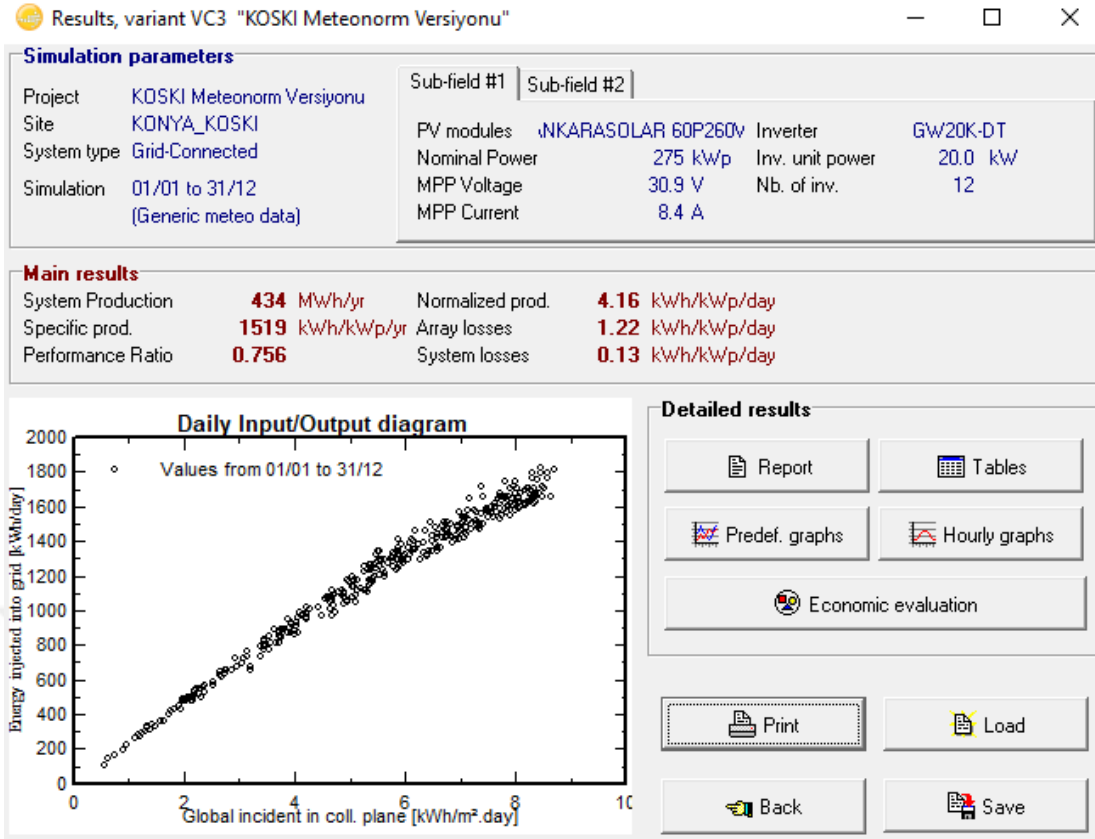
Energy cost

Produced Energy	479	MWh / year
Yearly cost	167378	TRY / year
Energy cost	0.35	TRY / kWh

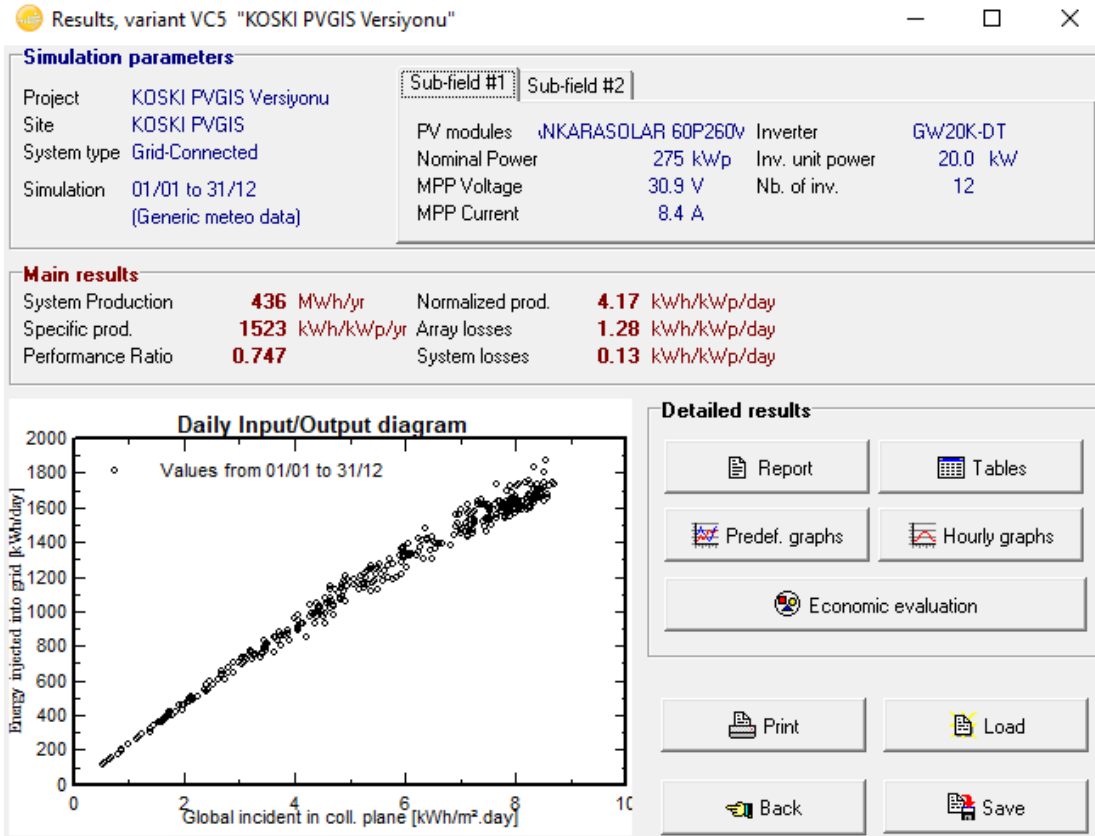
Şekil 4.42. KOSKİ GES Tesisi Simülasyonu Ekonomik Analiz Veri Ekranı

Bu aşama ile yazılımda simülasyon için gerekli olan tüm veriler girilmiştir. Sonraki aşamada yazılımda simülasyon başlatılarak simülasyon sonuçları elde edilir. Sonuçlar yazdırılabildiği gibi farklı formatlarda kaydedilmektedir. Ayrıca simülasyon ile ilgili istenilen grafikler ve çizelgeler kopyalanabilmektedir.

Karaman Belediyesi için Meteororm ve PVGIS veritabanları kullanılarak iki farklı simülasyon yapılmıştır. Bu simülasyonlara ait sonuç ekranları, Şekil 4.43 ve 4.44'de görülmektedir.



Şekil 4.43. KOSKİ GES Tesisi Meteonorm Veri tabanı Simülasyonu Sonuç Ekranı



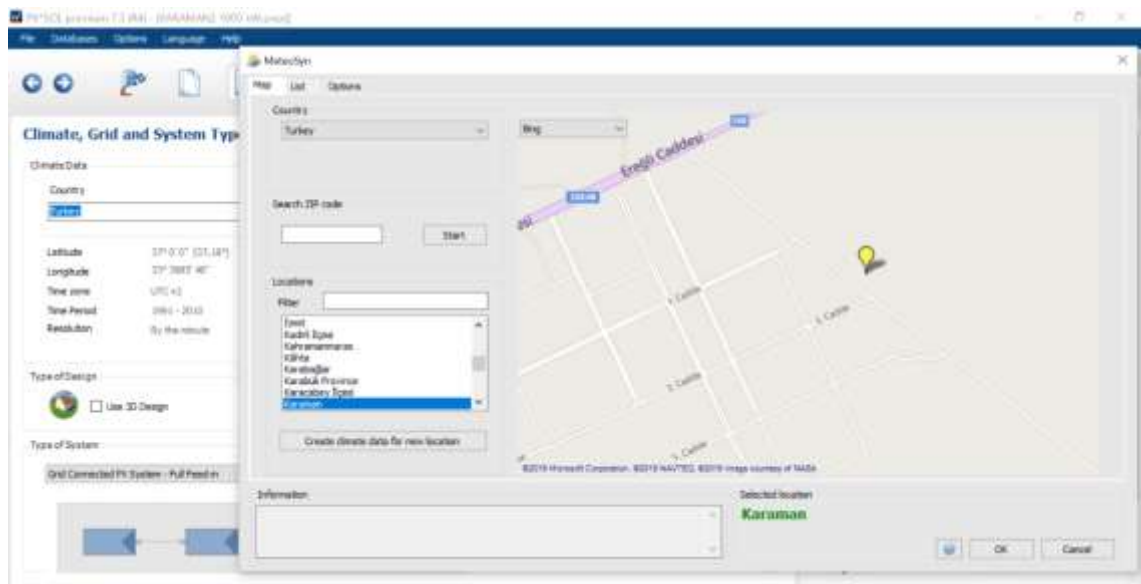
Şekil 4.44. KOSKİ GES Tesisi PVGIS Veri tabanı Simülasyonu Sonuç Ekranı

4.2.2. PVSOL Simülasyonları

PV*SOL simülasyon programında 3D menü navigasyonu da bulunmaktadır. Bu menü, arazi görünümü, nesne görünümü, modül kapsama alanı, modül montajı, modül konfigürasyonu ve kablo planı seçenekleri ile 6 bölümden oluşmaktadır. Şebekeden bağımsız sistemler için, alternatif akım ile bağlı yükler üzerinde profesyonelce planlama ve benzetim yapılabilmektedir. PV sistem tasarımı oluşturabilmek için sırasıyla; harita tabanı üzerinden istenilen enlem ve boylam parametreleri, PV modülün teknik özellikleri, toplam kapasiteleri ve montaj bilgileri (montaj eğimi, yatay azimut açısı ve montaj sahası özellikleri), evirici sayısı, teknik özellikleri ve dizilişi, sistem kurulumunda kullanılacak olan tüm enerji kablolarının uzunluğu ve kesitleri, 3D görsel tasarım seçeneği ile PV bileşenlerin görselleştirilmesi adımları takip edilmektedir. PV*SOL simülasyon programında iklim veri tabanı olarak MeteoSyn kullanılmaktadır. İstenilirse kullanıcının tercihi doğrultusunda mevcut ölçülen değerlerden ekleme yoluyla ya da kullanıcının kendisinin aylık ortalama değerlerine göre hesaplamalar yapılabilmektedir.

4.2.2.1. Karaman Belediyesi 1000 kW GES Tesisinin PVSOL Simülasyonu

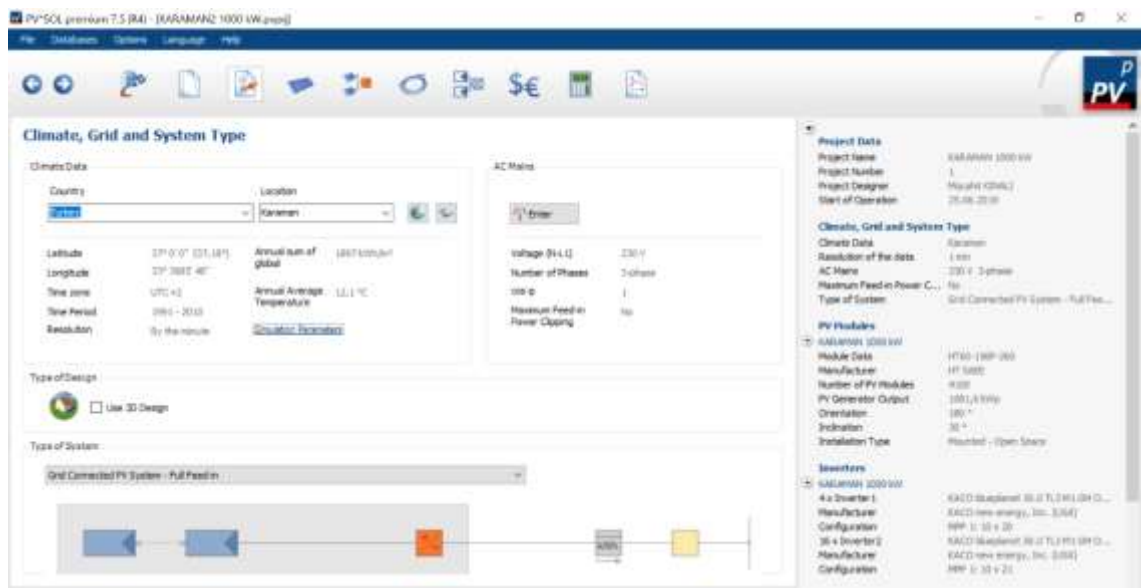
Programda öncelikle sahanın koordinatları girilerek PVSyst ile karşılaştırma yapmak için Meteonorm meteorolojik veritabanı seçilmiştir. Yazılım, meteorolojik veritabanı olarak Meteonorm veritabanını kullanmakta bu veritabanı haricinde ise ölçülen meteorolojik değerlerin girilmesine müsaade etmektedir (Şekil 4.45).



Şekil 4.45. PVSOL Yazılımında Karaman Belediyesi GES Tesisi Meteonorm Veri tabanı Seçimi

Yazılımda ikinci aşamada simülasyonda spektrumdaki standart sapmadan oluşan kayıpların girilebileceği parametre bölümü yer almaktadır. Bu alanda ayrıca simülasyonun saatlik değil de dakikalık meteorolojik verilerle yapılması da tercih edilebilmektedir. Bu tercih simülasyonun daha hassas olmasını sağlamaktadır. Çalışmada simülasyonlar bu yöntemle yapılmıştır.

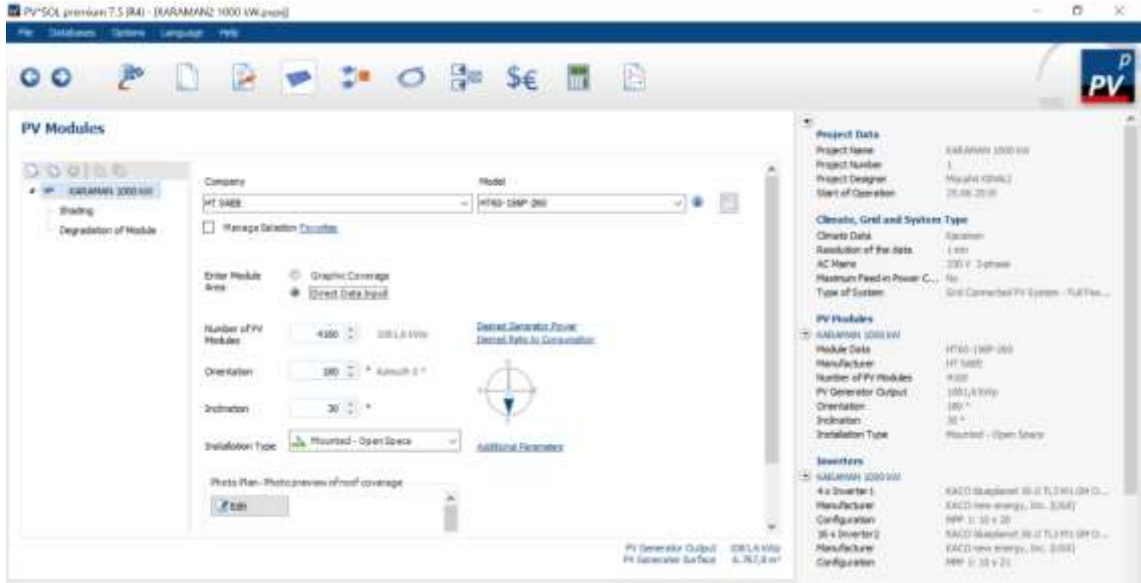
Aynı ekranda tesisin AC tarafı ile ilgili de bilgiler girilebilmektedir. Çalışmada bu verilere varsayılan veriler girilmiştir. Yine bu sayfada yazılım tasarımcıya üç boyutlu çizim yapılması ile ilgili seçenek sunmaktadır. PVSyst yazılımında ve bu yazılımda oryantasyon bilgileri girilerek çizim yapılmamıştır (Şekil 4.46).



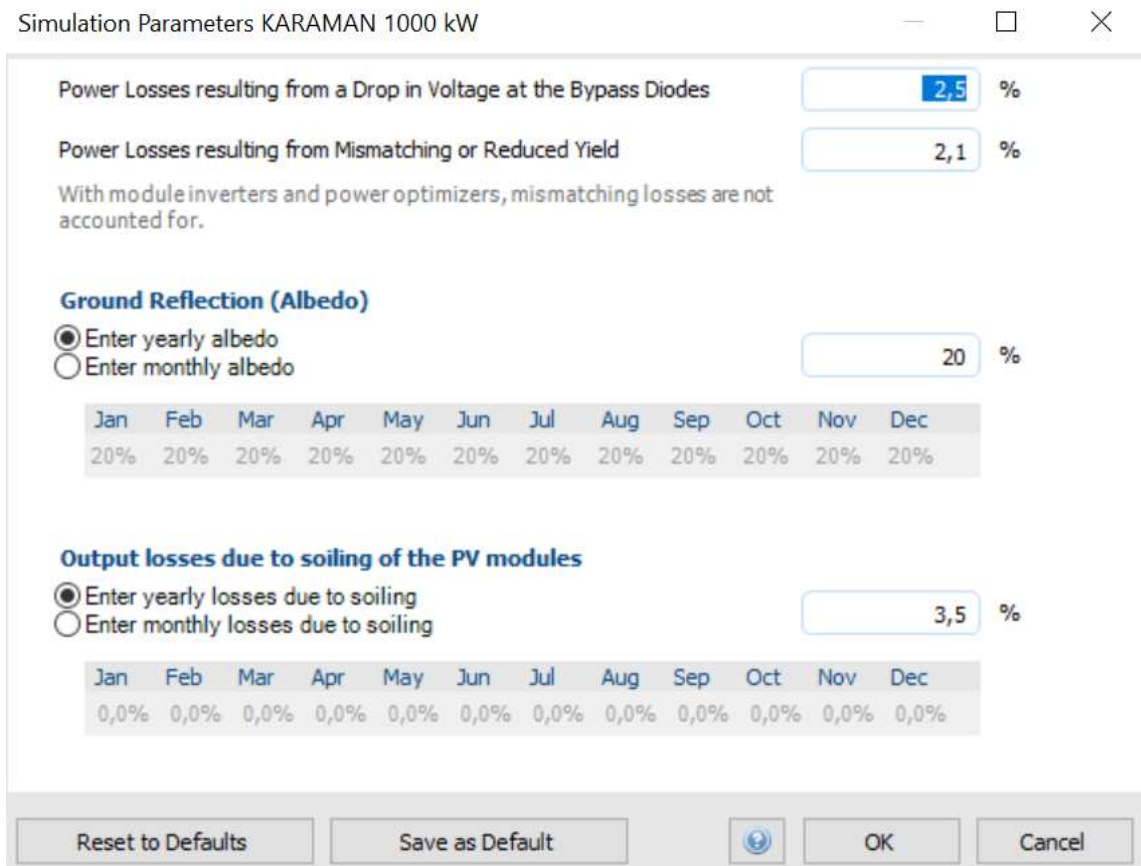
Şekil 4.46. PVSOL Yazılımında Karaman Belediyesi GES Tesisi için Tasarım Ekranı

Yazılımda üçüncü aşamada tesiste kullanılacak PV modüllerin yerleşimi ve PV modüller ile ilgili ayrıntılı veriler girilmektedir. Öncelikle veritabanından tesiste kullanılacak modüller seçilmiş, modüllerin azimut ve tilt açısı verileri girilmiştir. Sistemde kullanılacak panel sayısı girilmiştir. Bu ekranda istenilirse tesisin iki boyutlu çizimi üzerinden de oryantasyon yapılabilmektedir. Çalışmamızda oryantasyon, çizimle değil veri girişi ile yapılmıştır (Şekil 4.47).

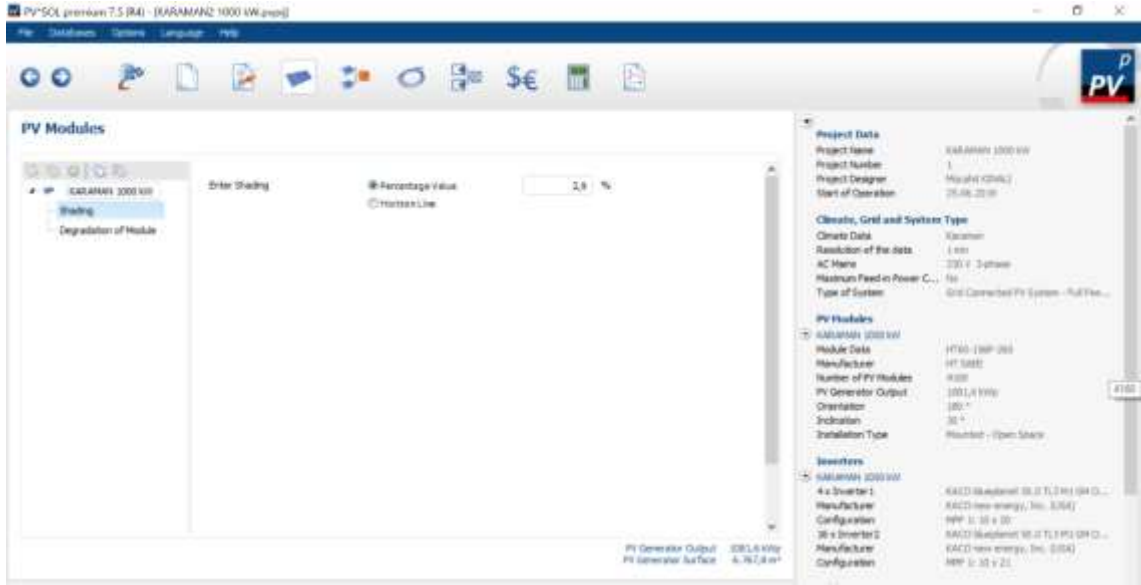
Bu ekranda kullanılacak panellerle ilgili kayıp verileri de girilmektedir. Şekil 4.48, Şekil 4.49 ve Şekil 4.50’de paneller ile ilgili olan kayıp verileri giriş ekranları görülmektedir. Bu ekranda ayrıca panellerin yerleşim biçimi de seçilmektedir. Tesisin açık havada olup olmadığı, çatı uygulaması olup olmadığı, tesiste güneş takip sistemi bulunup bulunmadığı bu ekranda seçilebilmektedir.



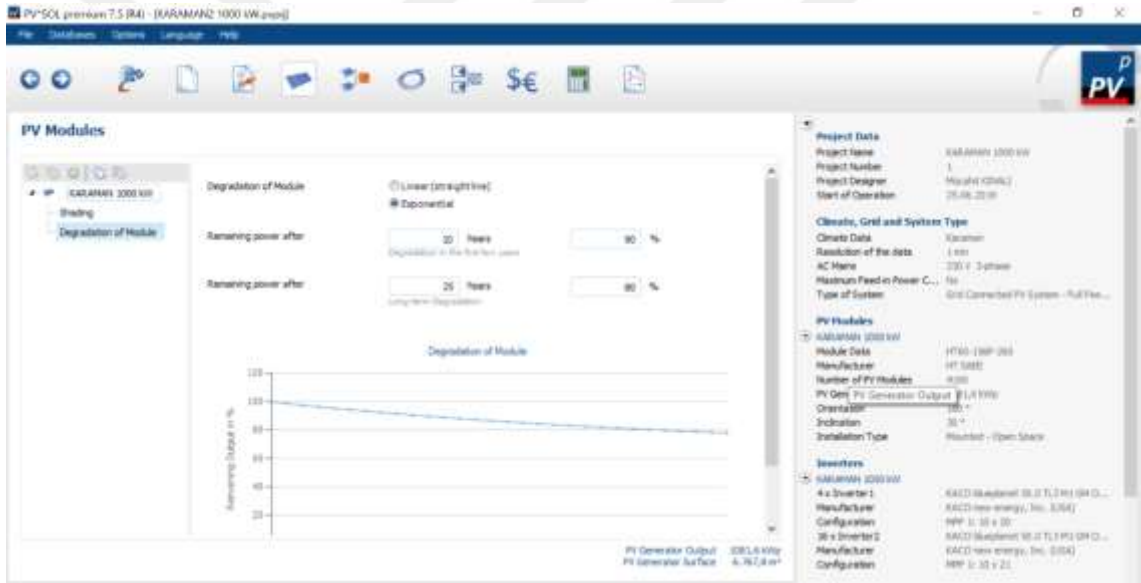
Şekil 4.47. PVSOL Yazılımında Karaman Belediyesi GES Tesisi PV Panel Seçimi ve Veri Girişi



Şekil 4.48. PVSOL Yazılımında Karaman Belediyesi GES Tesisi için Paneller ile ilgili Kayıp Girişi Ekranı

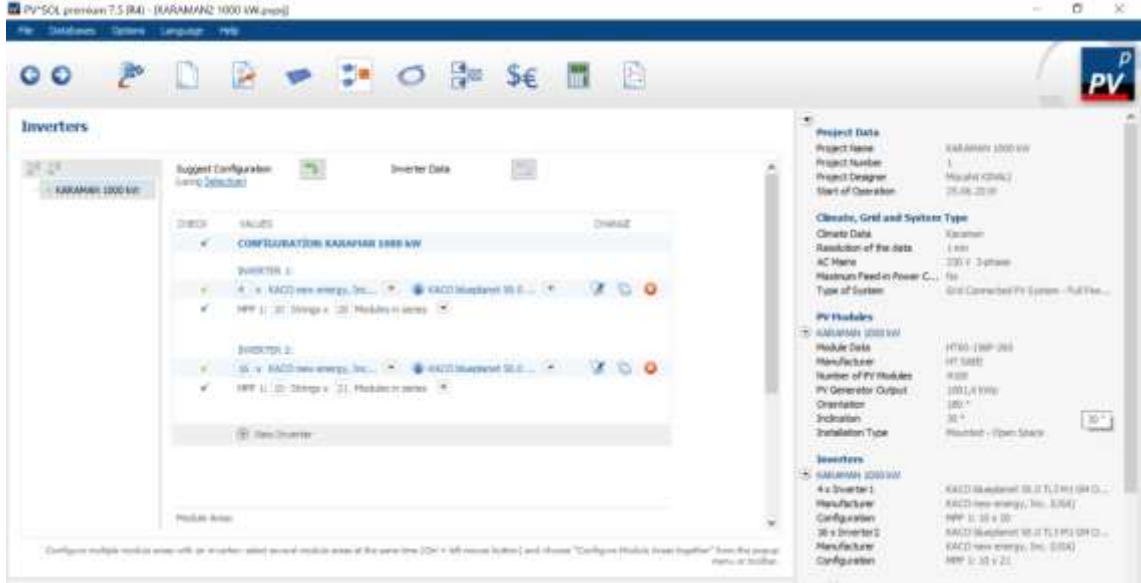


Şekil 4.49. PVSOL Yazılımında Karaman Belediyesi GES Tesisi için Paneller ile ilgili Kayıp Girişi Ekranı



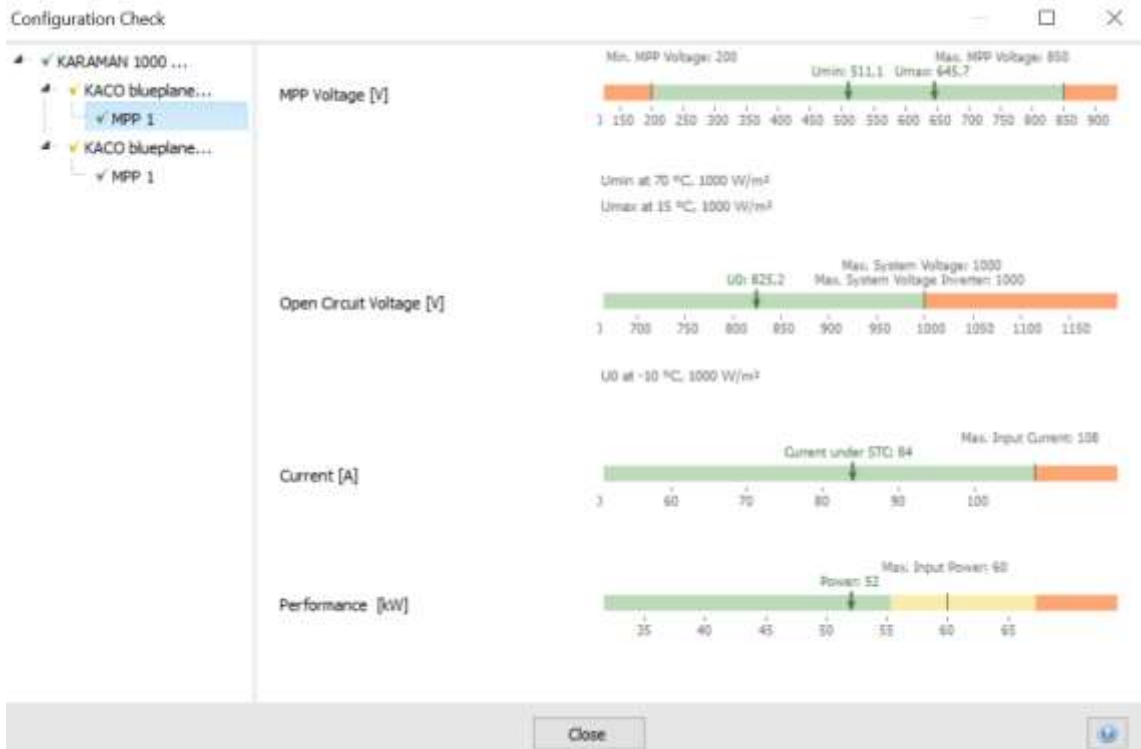
Şekil 4.50. PVSOL Yazılımında Karaman Belediyesi GES Tesisi için Paneller ile ilgili Kayıp Girişi Ekranı

Yazılımda dördüncü aşamada tesiste kullanılacak evirici ve evirici ile ilgili kısıtlamaların girildiği ekran bulunmaktadır. Eviriciler veritabanından seçilmekte, sistem seçilen eviricilere göre dizayn edilmektedir. Karaman GES tesisi için 2 adet dize tasarlanmış, birinci dizede 4 evirici ve her bir eviriciye bağlı 20 modüllü 40 dizi tasarlanmıştır. İkinci dizede ise 16 eviriciye bağlı 21 modüllü 160 dizi tasarlanmıştır. Toplamda 4160 modül ve 1081,6 kWp kurulu gücünde 20 eviricili sistem tasarımı yapılmıştır (Şekil 4.51).

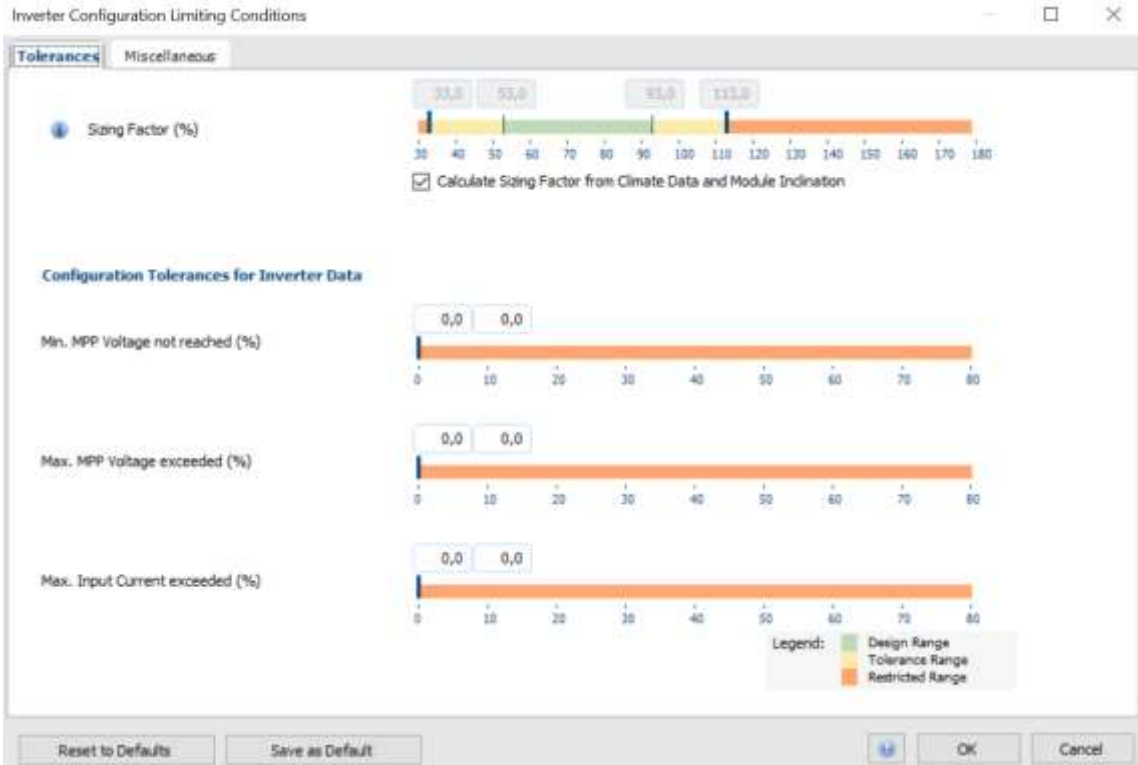


Şekil 4.51. PVSOL Yazılımında Karaman Belediyesi 1000 kW GES Tesisi Evirici Seçimi Ekranı

Bu ekranda ayrıca seçilen eviricide kullanılan paneller ve meteorolojik verilerle uyumu test edilebilmektedir (Şekil 4.52). Ayrıca evirici ile ilgili kısıt bilgileri yazılım tarafından otomatik olarak hesaplanabilmektedir (Şekil 4.53).

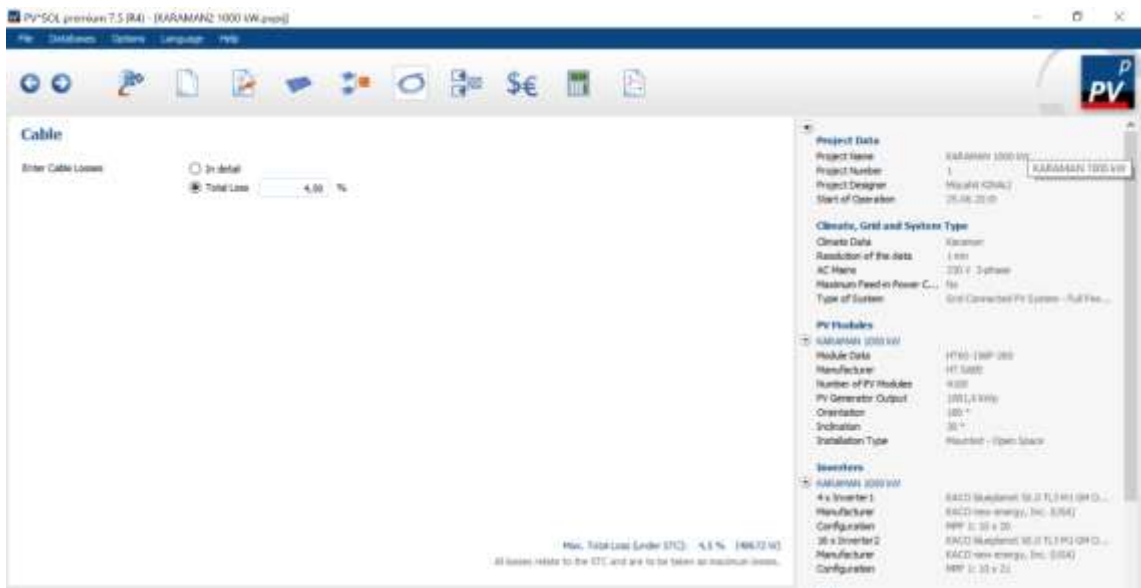


Şekil 4.52. PVSOL Yazılımında Karaman Belediyesi 1000kW GES Tesisinde Seçilen Evirici için Sistem Çalışabilirlik Kontrolü



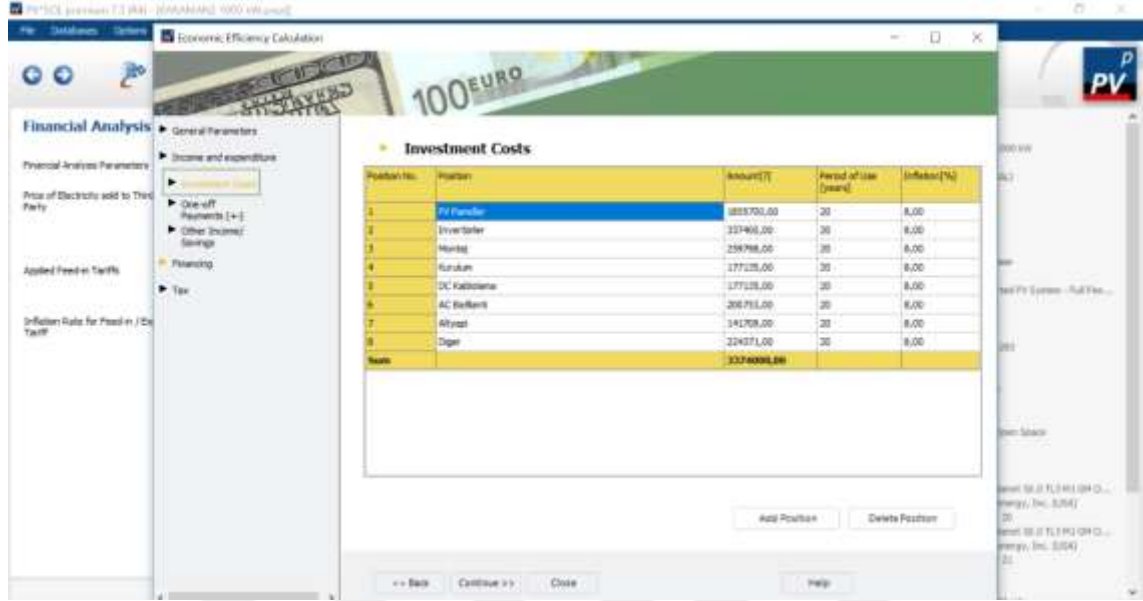
Şekil 4.53. PVSOL Yazılımında Karaman Belediyesi 1000kW GES Tesisi için Evirici Konfigürasyon Ekranı

Yazılımda bu aşamadan sonra omik kayıpların girilebileceği ekran bulunmaktadır. Bu ekranda kayıplar kablo uzunluğu ve kablo kesitleri bilgileri girilerek hesaplanabildiği gibi PVSyst yazılımında yapıldığı üzere yüzde oran girilerek hesaplanabilmektedir. Çalışmada PVSyst yazılımında kullanılan varsayım tercih edilmiş, DC ve AC kablo kayıpları toplamda %4,5 oranında girilerek simülasyon yapılmıştır (Şekil 4.54).



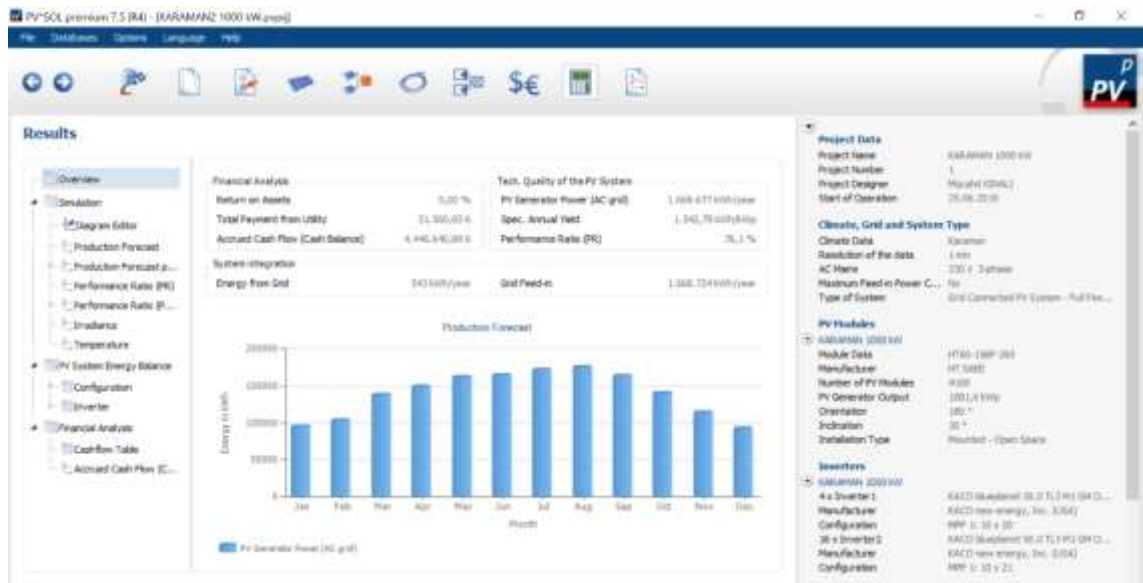
Şekil 4.54. PVSOL Yazılımında Karaman Belediyesi 1000kW GES Tesisi için Omik Kayıp Ekranı

Yazılımda tesisle ilgili ekonomik analiz de yapılabilmektedir (Şekil 4.55). Bu kapsamda simülasyonda Karaman GES'e ait gerçek yatırım değeri, tesise ait ilk yatırım maliyetlerinin alt bileşenleri ise Mayer ve arkadaşları'nın 2015 yılında yaptıkları çalışmadaki oranlara göre belirlenerek elde edilen değerler kullanılarak yapılmıştır (Energiewende et al., 2015).



Şekil 4.55. PVSOL Yazılımında Karaman Belediyesi GES Tesisi Ekonomik Analiz Veri Ekranı

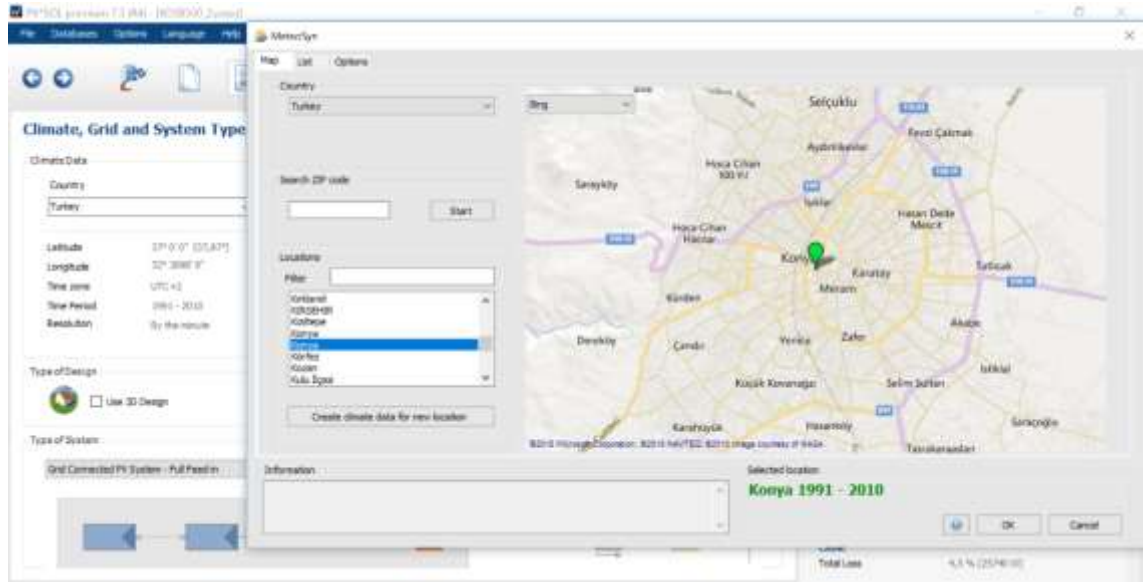
Bu aşama ile yazılımda simülasyon için gerekli olan tüm veriler girilmiştir. Sonraki aşamada yazılımda simülasyon başlatılarak simülasyon sonuçları elde edilir. Sonuçlar yazdırılabildiği gibi farklı formatlarda kaydedilmektedir. Ayrıca simülasyon ile ilgili istenilen grafikler ve çizelgeler kopyalanabilmektedir (Şekil 4.56).



Şekil 4.56. PVSOL Yazılımında Karaman Belediyesi 1000kW GES Tesisi Simülasyon Sonuç Ekranı

4.2.2.2. Konya OSB 500 kW GES Tesisinin PVSOL Simülasyonu

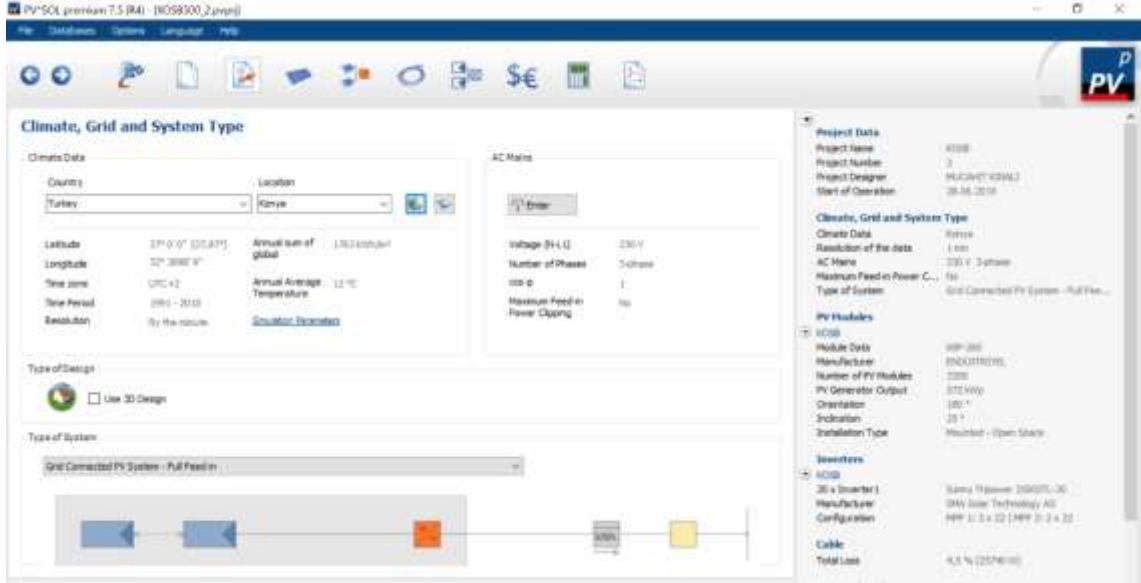
Programda öncelikle sahanın koordinatları girilerek PVSyst ile karşılaştırma yapmak için Meteororm meteorolojik veritabanı seçilmiştir. Yazılım, meteorolojik veritabanı olarak Meteororm veritabanını kullanmakta bu veritabanı haricinde ise ölçülen meteorolojik değerlerin girilmesine müsaade etmektedir (Şekil 4.57).



Şekil 4.57. PVSOL Yazılımında Konya OSB GES Tesisi Meteororm Veri tabanı Seçimi

Yazılımda ikinci aşamada simülasyonda spektrumdaki standart sapmadan oluşan kayıpların girilebileceği parametre bölümü yer almaktadır. Bu alanda ayrıca simülasyonun saatlik değil de dakikalık meteorolojik verilerle yapılması da tercih edilebilmektedir. Bu tercih simülasyonun daha hassas olmasını sağlamaktadır. Çalışmada simülasyonlar bu yöntemle yapılmıştır.

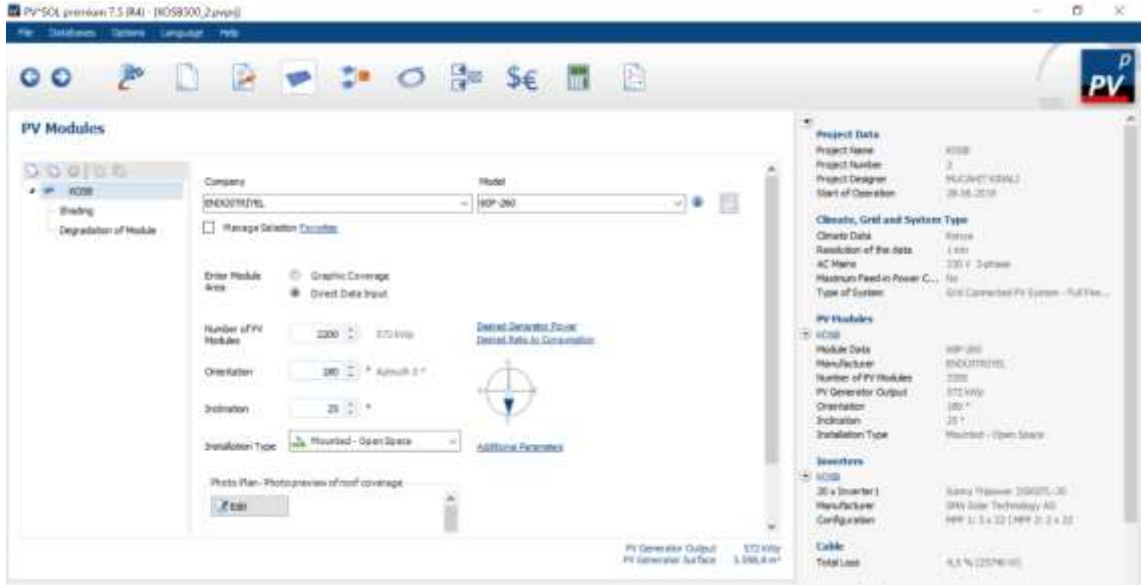
Aynı ekranda tesisin AC tarafı ile ilgili de bilgiler girilebilmektedir. Çalışmada bu verilere varsayılan veriler girilmiştir. Yine bu sayfada yazılım tasarımcıya üç boyutlu çizim yapılması ile ilgili seçenek sunmaktadır. PVSyst yazılımında ve bu yazılımda oryantasyon bilgileri girilerek çizim yapılmamıştır.



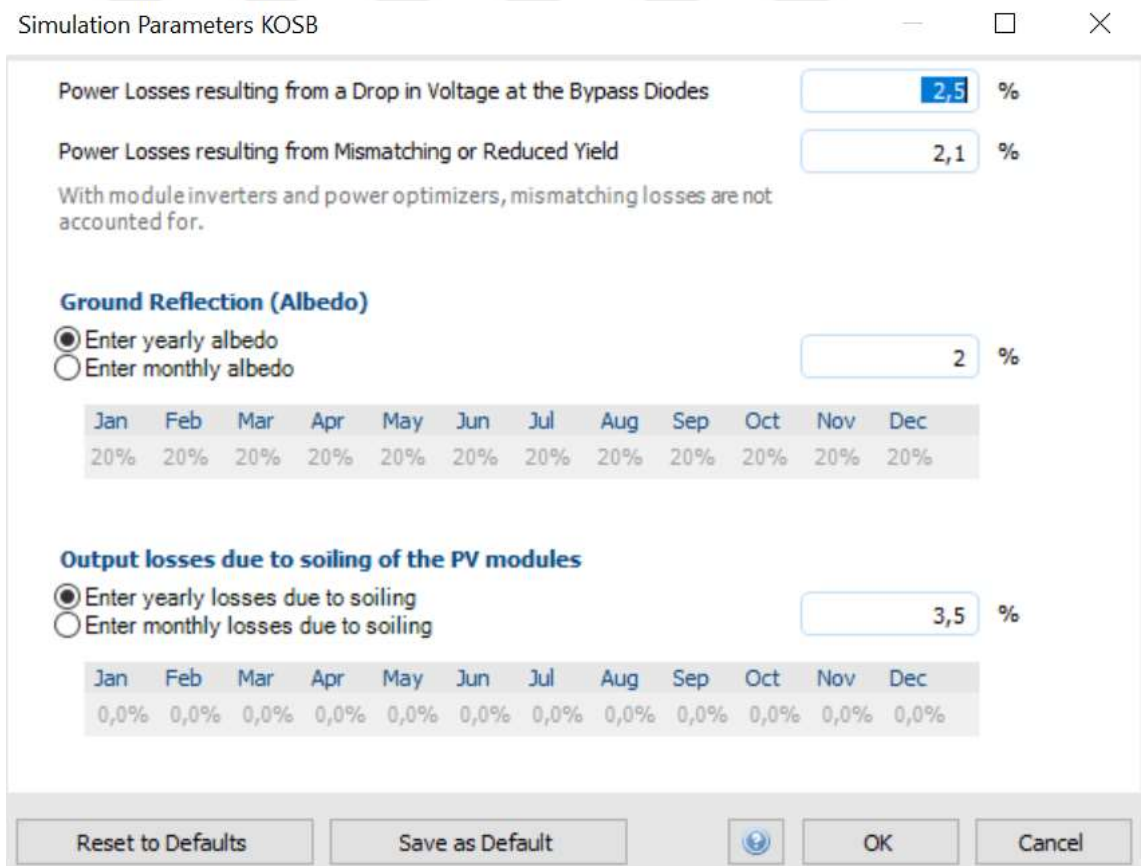
Şekil 4.58. PVSOL Yazılımında Konya OSB GES Tesisi için Tasarım Ekranı

Yazılımda üçüncü aşamada tesiste kullanılacak PV modüllerin yerleşimi ve PV modüller ile ilgili ayrıntılı veriler girilmektedir (Şekil 4.58). Öncelikle veritabanından tesiste kullanılacak modüller seçilmiş, modüllerin azimut ve tilt açısı verileri girilmiştir. Sistemde kullanılacak panel sayısı girilmiştir. Bu ekranda istenilirse tesisin iki boyutlu çizimi üzerinden de oryantasyon yapılabilmektedir. Çalışmamızda oryantasyon, çizimle değil veri girişi ile yapılmıştır (Şekil 4.59).

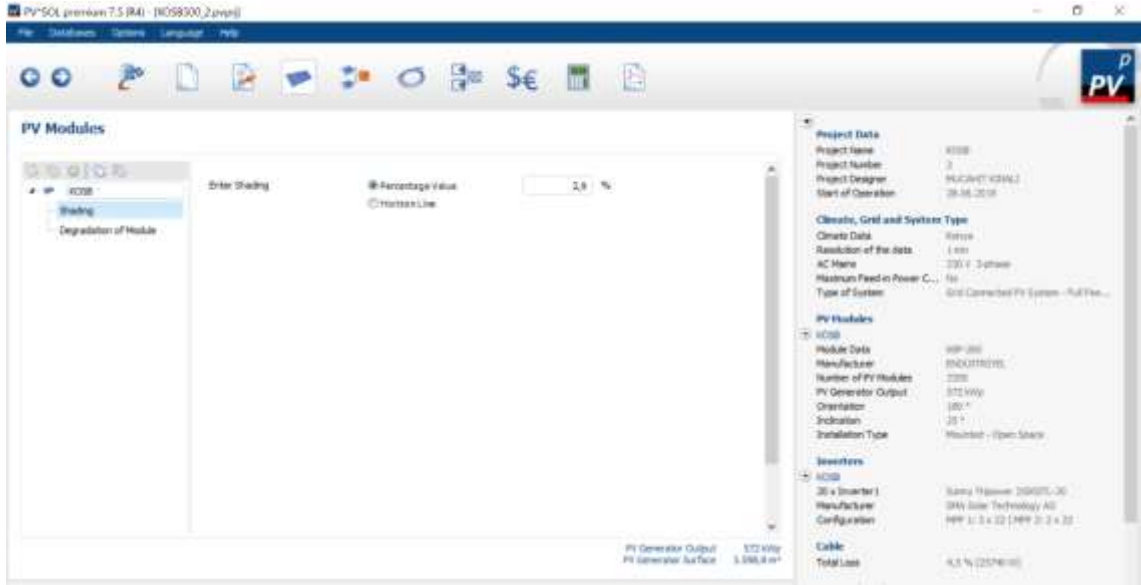
Bu ekranda kullanılacak panellerle ilgili kayıp verileri de girilmektedir. Şekil 4.60, Şekil 4.61 ve Şekil 4.62’de paneller ile ilgili olan kayıp verileri giriş ekranları görülmektedir. Bu ekranda ayrıca panellerin yerleşim biçimi de seçilmektedir. Tesisin açık havada olup olmadığı, çatı uygulaması olup olmadığı, tesiste güneş takip sistemi bulunup bulunmadığı bu ekranda seçilebilmektedir.



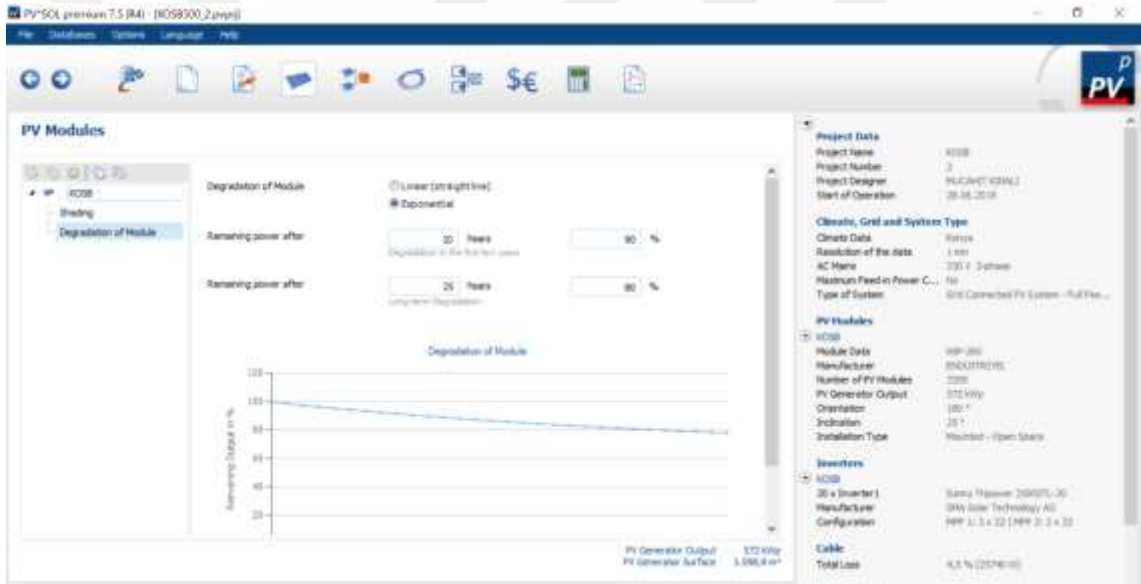
Şekil 4.59. PVSOL Yazılımında Konya OSB GES Tesisi PV Panel Seçimi ve Veri Girişi



Şekil 4.60. PVSOL Yazılımında Konya OSB GES Tesisi İçin Paneller ile İlgili Kayıp Girişi Ekranı

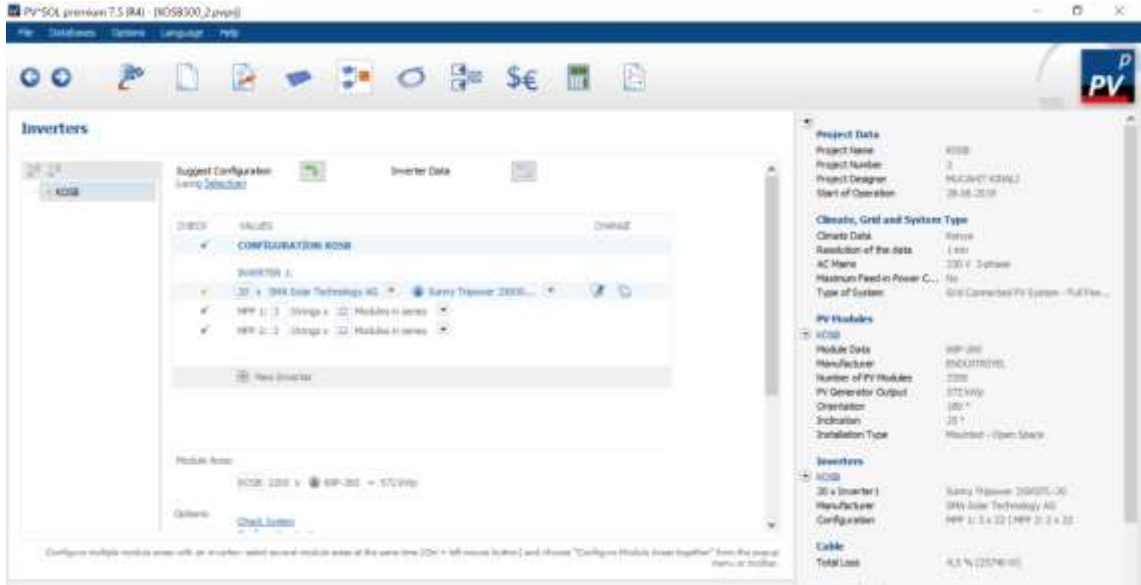


Şekil 4.61. PVSOL Yazılımında Konya OSB GES Tesisi İçin Paneller ile İlgili Kayıp Girişi Ekranı



Şekil 4.62. PVSOL Yazılımında Konya OSB GES Tesisi İçin Paneller ile İlgili Kayıp Girişi Ekranı

Yazılımda dördüncü aşamada tesiste kullanılacak invertör ve evirici ile ilgili kısıtlamaların girildiği ekran bulunmaktadır. Eviriciler veritabanından seçilmekte, sistem seçilen eviricilere göre dizayn edilmektedir. Konya OSB GES tesisi için 1 adet dize tasarlanmıştır. Dizede 20 evirici ve her bir eviriciye bağlı 22 modüllü 5 dizi tasarlanmıştır. Toplamda 2200 modül ve 572 kWp kurulu gücünde 20 eviricili sistem tasarımı yapılmıştır (Şekil 4.63).

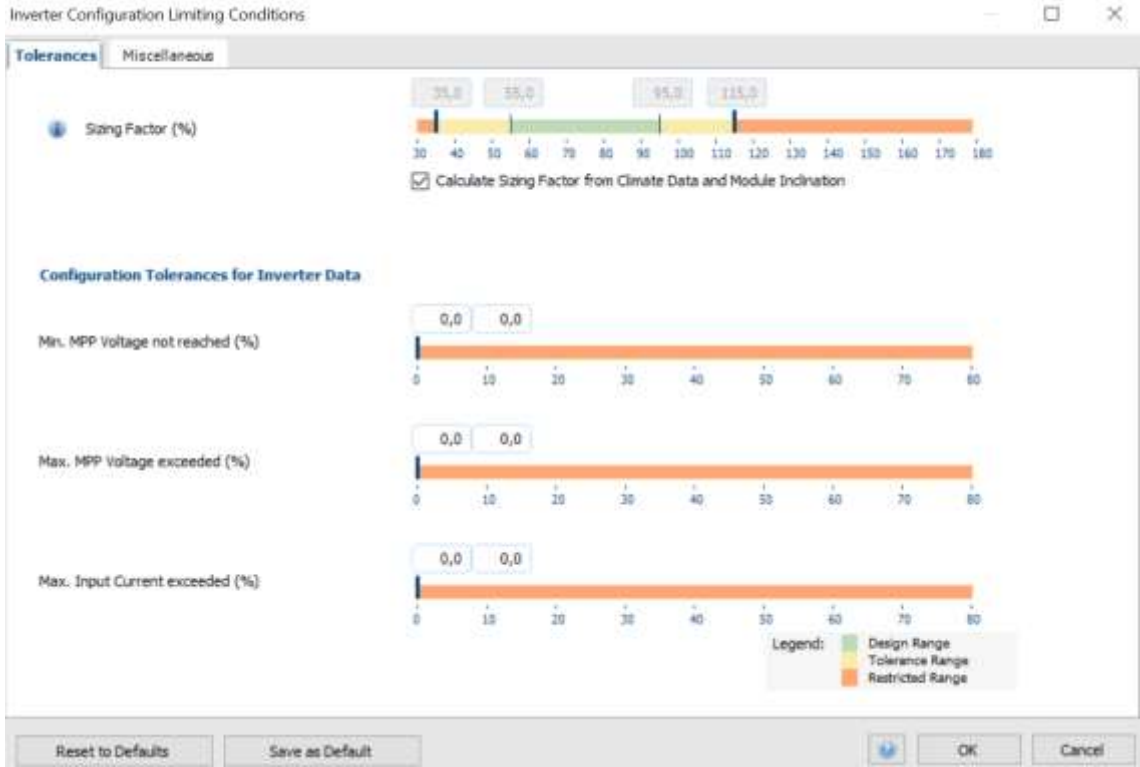


Şekil 4.63. PVSOL Yazılımında Konya OSB GES Tesisi Evirici Seçimi Ekranı

Bu ekranda ayrıca seçilen eviricinin kullanılan paneller ve meteorolojik verilerle uyumu test edilebilmektedir (Şekil 4.64). Ayrıca evirici ile ilgili kısıt bilgileri yazılım tarafından otomatik olarak hesaplanabilmektedir (Şekil 4.65).

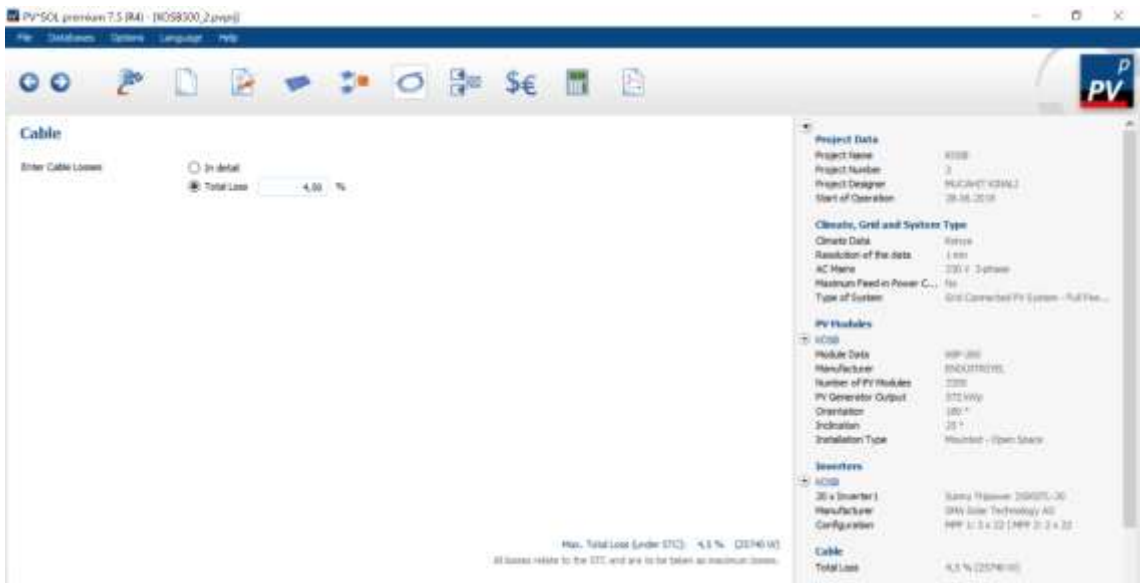


Şekil 4.64. PVSOL Yazılımında Konya OSB GES Tesisinde Seçilen Evirici için Sistem Çalışabilirlik Kontrolü



Şekil 4.65. PVSOL Yazılımında Konya OSB GES Tesisi için Evirici Konfigürasyon Ekranı

Yazılımda bu aşamadan sonra omik kayıpların girilebileceği ekran bulunmaktadır. Bu ekranda kayıplar kablo uzunluğu ve kablo kesitleri bilgileri girilerek hesaplanabildiği gibi PVSyst yazılımında yapıldığı üzere yüzde oran girilerek hesaplanabilmektedir. Çalışmada PVSyst yazılımında kullanılan varsayım tercih edilmiş, DC ve AC kablo kayıpları toplamda %4,5 oranında girilerek simülasyon yapılmıştır (Şekil 4.66).



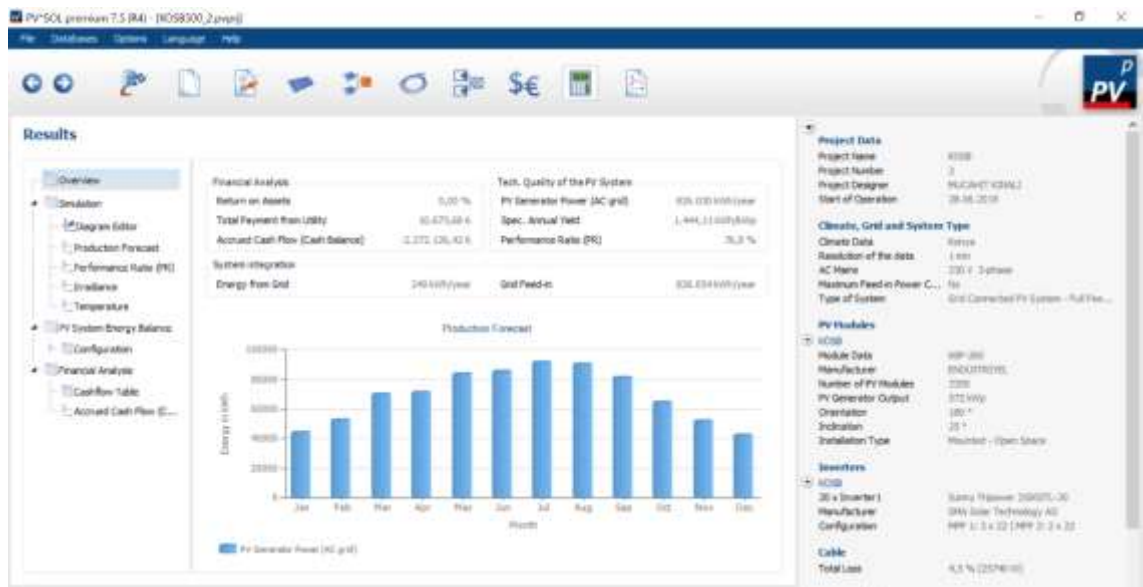
Şekil 4.66. PVSOL Yazılımında Konya OSB GES Tesisi için Omik Kayıp Ekranı

Yazılımda tesisle ilgili ekonomik analiz de yapılabilmektedir (Şekil 4.67). Bu kapsamda simülasyonda Konya OSB GES'e ait gerçek yatırım değeri, tesise ait ilk yatırım maliyetlerinin alt bileşenleri ise Mayer ve arkadaşları'nın 2015 yılında yaptıkları çalışmadaki oranlara göre belirlenerek elde edilen değerler kullanılarak yapılmıştır (Energiewende et al., 2015).



Şekil 4.67. PVSOL Yazılımında Konya OSB GES Tesisi Ekonomik Analiz Veri Ekranı

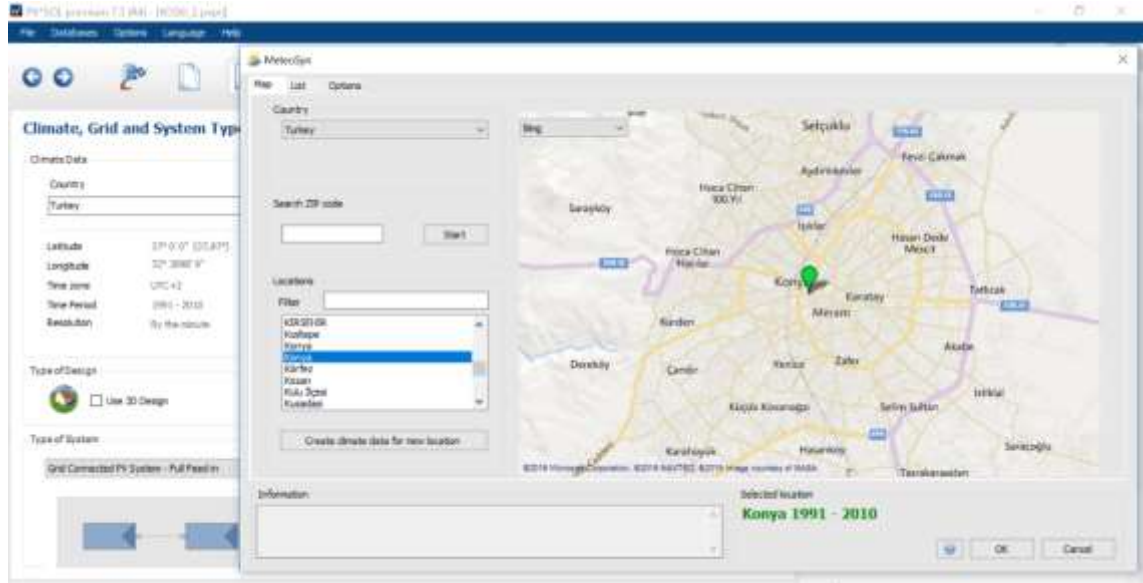
Bu aşama ile yazılımda simülasyon için gerekli olan tüm veriler girilmiştir. Sonraki aşamada yazılımda simülasyon başlatılarak simülasyon sonuçları elde edilir. Sonuçlar yazdırılabildiği gibi farklı formatlarda kaydedilmektedir. Ayrıca simülasyon ile ilgili istenilen grafikler ve çizelgeler kopyalanabilmektedir (Şekil 4.68).



Şekil 4.68. PVSOL Yazılımında Konya OSB GES Tesisi Simülasyon Sonuç Ekranı

4.2.2.3. KOSKİ 250 kW GES Tesisinin PVSOL Simülasyonu

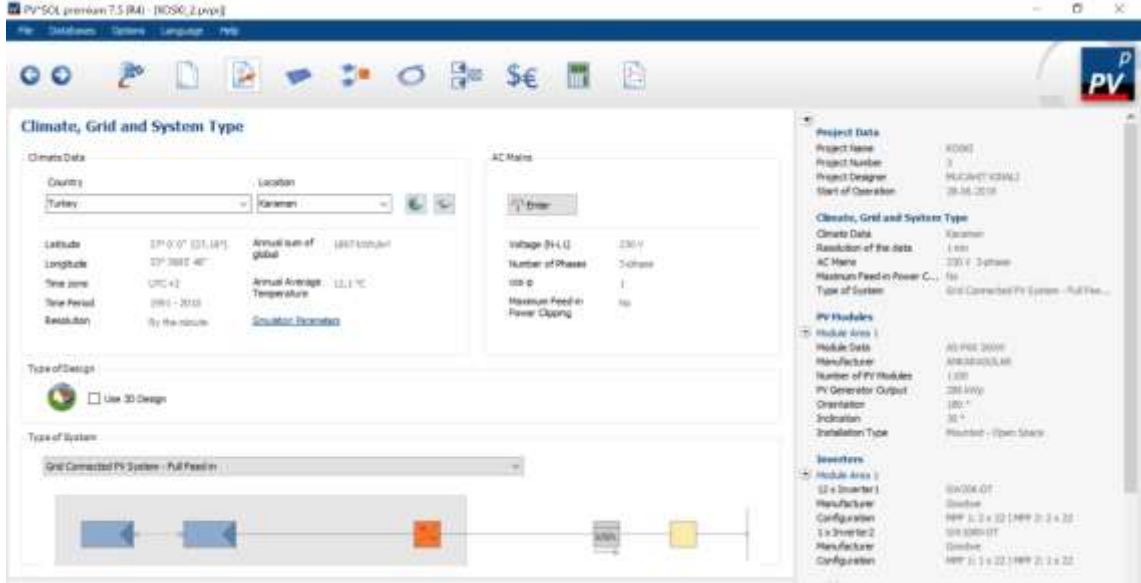
Programda öncelikle sahanın koordinatları girilerek PVSyst ile karşılaştırma yapmak için Meteororm meteorolojik veritabanı seçilmiştir. Yazılım, meteorolojik veritabanı olarak Meteororm veritabanını kullanmakta bu veritabanı haricinde ise ölçülen meteorolojik değerlerin girilmesine müsaade etmektedir (Şekil 4.69).



Şekil 4.69. PVSOL Yazılımında KOSKİ GES Tesisi Meteororm Veri tabanı Seçimi

Yazılımda ikinci aşamada simülasyonda spektrumdaki standart sapmadan oluşan kayıpların girilebileceği parametre bölümü yer almaktadır. Bu alanda ayrıca simülasyonun saatlik değil de dakikalık meteorolojik verilerle yapılması da tercih edilebilmektedir. Bu tercih simülasyonun daha hassas olmasını sağlamaktadır. Çalışmada simülasyonlar bu yöntemle yapılmıştır.

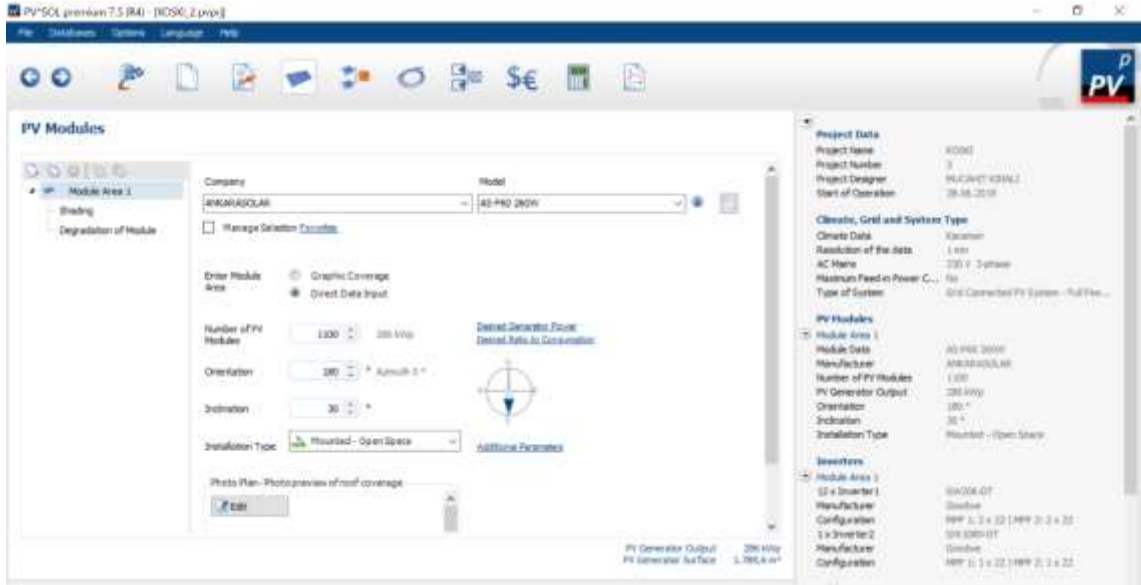
Aynı ekranda tesisin AC tarafı ile ilgili de bilgiler girilebilmektedir. Çalışmada bu verilere varsayılan veriler girilmiştir. Yine bu sayfada yazılım tasarımcıya üç boyutlu çizim yapılması ile ilgili seçenek sunmaktadır. PVSyst yazılımında ve bu yazılımda oryantasyon bilgileri girilerek çizim yapılmamıştır (Şekil 4.70).



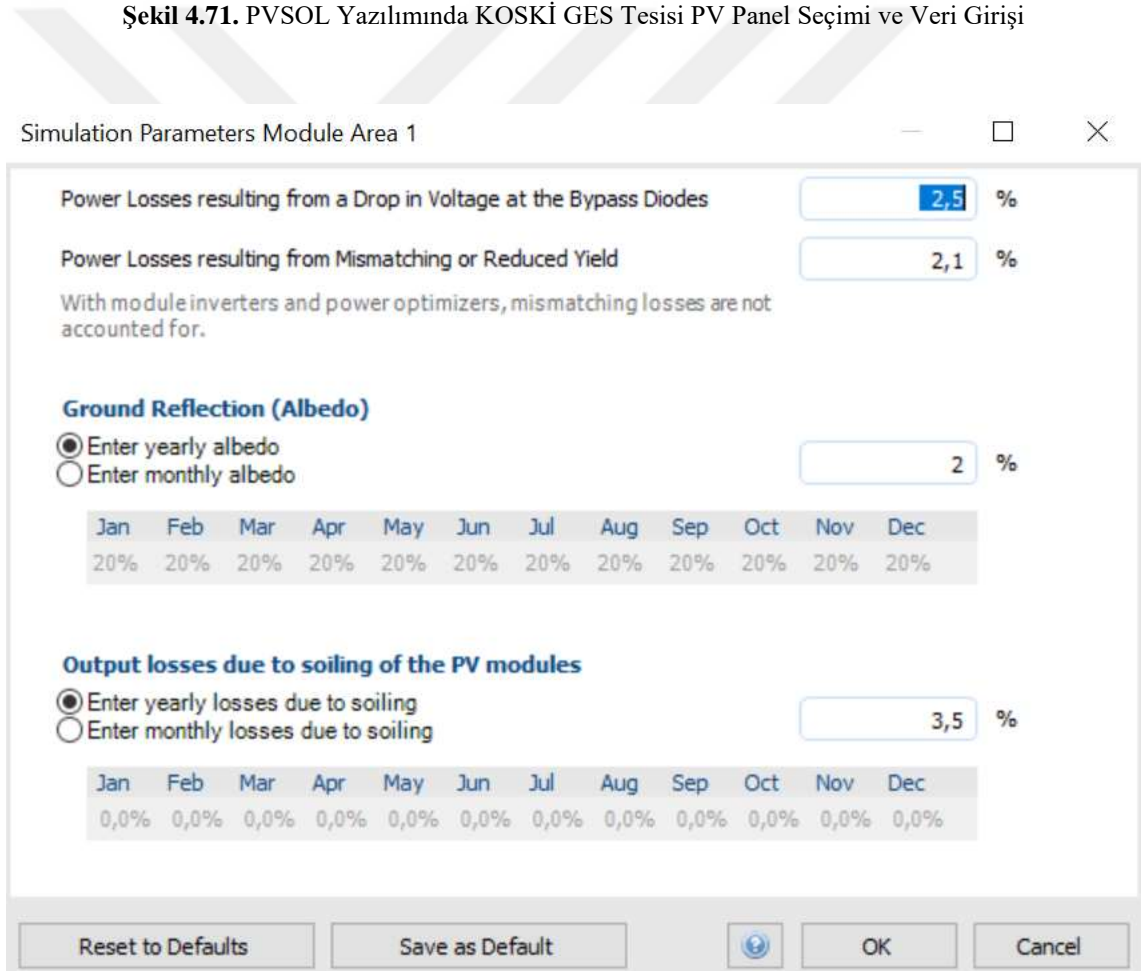
Şekil 4.70. PVSOL Yazılımında KOSKİ GES Tesisi için Tasarım Ekranı

Yazılımda üçüncü aşamada tesiste kullanılacak PV modüllerin yerleşimi ve PV modüller ile ilgili ayrıntılı veriler girilmektedir. Öncelikle veritabanından tesiste kullanılacak modüller seçilmiş, modüllerin azimut ve tilt açısı verileri girilmiştir. Sistemde kullanılacak panel sayısı girilmiştir. Bu ekranda istenilirse tesisin iki boyutlu çizimi üzerinden de oryantasyon yapılabilir. Bu çalışmada oryantasyon, çizimle değil veri girişi ile yapılmıştır (Şekil 4.71).

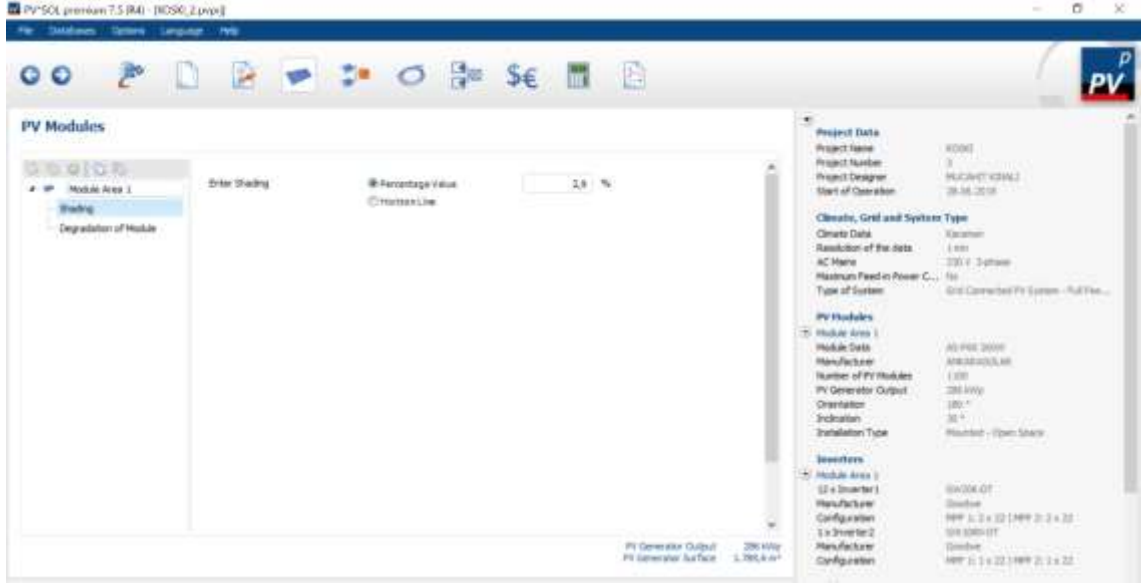
Bu ekranda kullanılacak panellerle ilgili kayıp verileri de girilmektedir. Şekil 4.72, Şekil 4.73 ve Şekil 4.74’de paneller ile ilgili olan kayıp verileri giriş ekranları görülmektedir. Bu ekranda ayrıca panellerin yerleşim biçimi de seçilmektedir. Tesisin açık havada olup olmadığı, çatı uygulaması olup olmadığı, tesiste güneş takip sistemi bulunup bulunmadığı bu ekranda seçilebilmektedir.



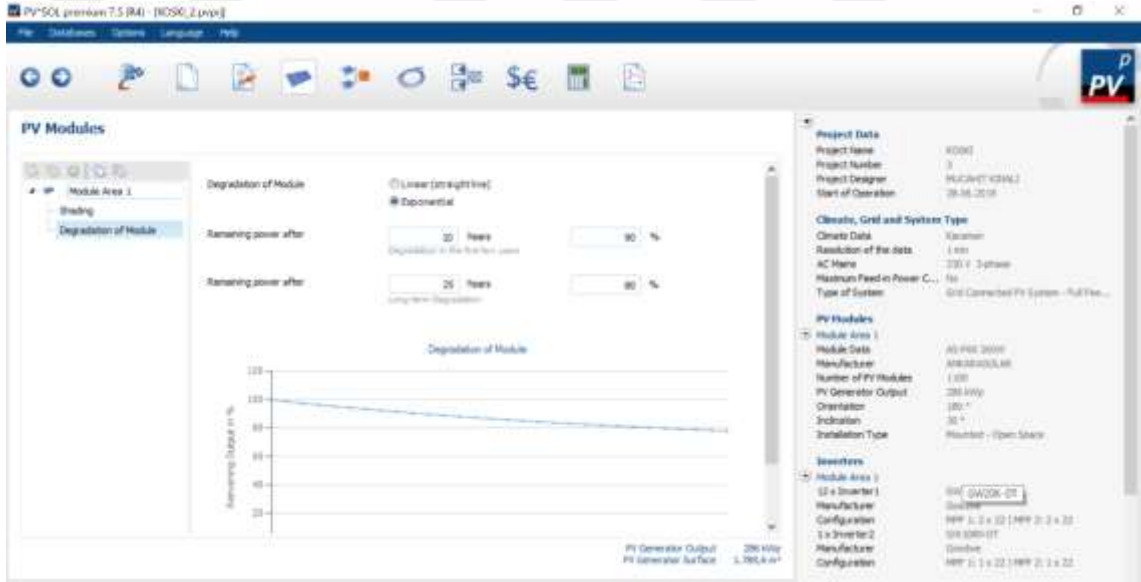
Şekil 4.71. PVSOL Yazılımında KOSKİ GES Tesisi PV Panel Seçimi ve Veri Girişi



Şekil 4.72. PVSOL Yazılımında KOSKİ GES Tesisi için Paneller ile İlgili Kayıp Girişi Ekranı

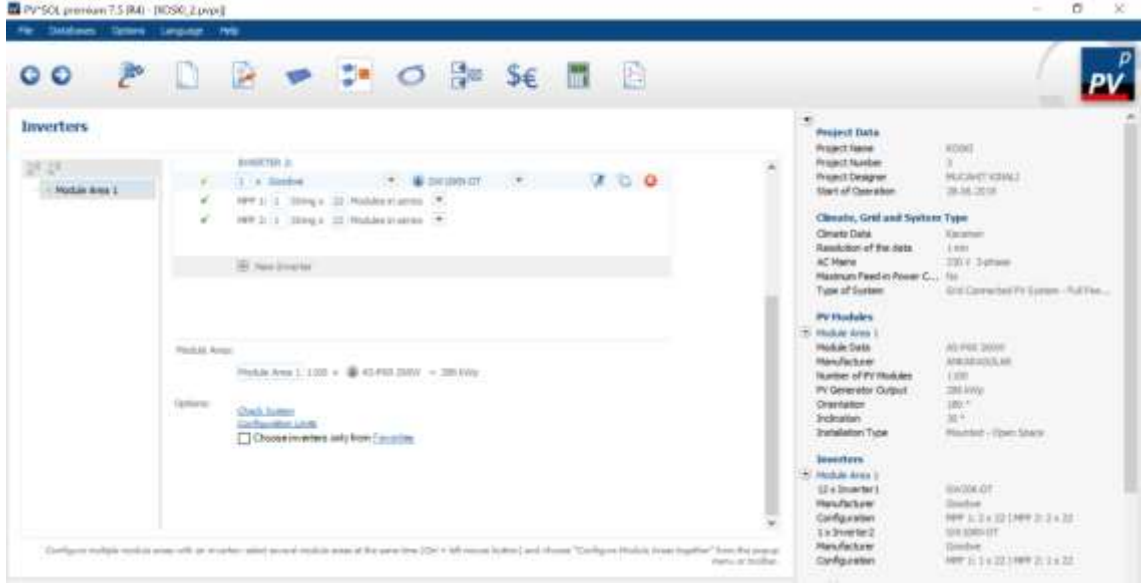


Şekil 4.73. PVSOL Yazılımında KOSKİ GES Tesisi için Paneller ile İlgili Kayıp Girişi Ekranı



Şekil 4.74. PVSOL Yazılımında KOSKİ GES Tesisi için Paneller ile İlgili Kayıp Girişi Ekranı

Yazılımda dördüncü aşamada tesiste kullanılacak invertör ve evirici ile ilgili kısıtlamaların girildiği ekran bulunmaktadır. Eviriciler veritabanından seçilmekte, sistem seçilen eviricilere göre dizayn edilmektedir. KOSKİ GES tesisi için 2 adet dize tasarlanmış, birinci dizede 12 evirici ve her bir eviriciye bağlı 22 modüllü 48 dizi tasarlanmıştır. İkinci dizede ise 1 eviriciye bağlı 22 modüllü 2 dizi tasarlanmıştır. Toplamda 1100 modül ve 286 kWp kurulu gücünde 13 eviricili sistem tasarımı yapılmıştır (Şekil 4.75).



Şekil 4.75. PVSOL Yazılımında KOSKİ GES Tesisi Evirici Seçimi Ekranı

Bu ekranda ayrıca seçilen eviricinin kullanılan paneller ve meteorolojik verilerle uyumu test edilebilmektedir (Şekil 4.76). Ayrıca evirici ile ilgili kısıt bilgileri yazılım tarafından otomatik olarak hesaplanabilmektedir (Şekil 4.77).

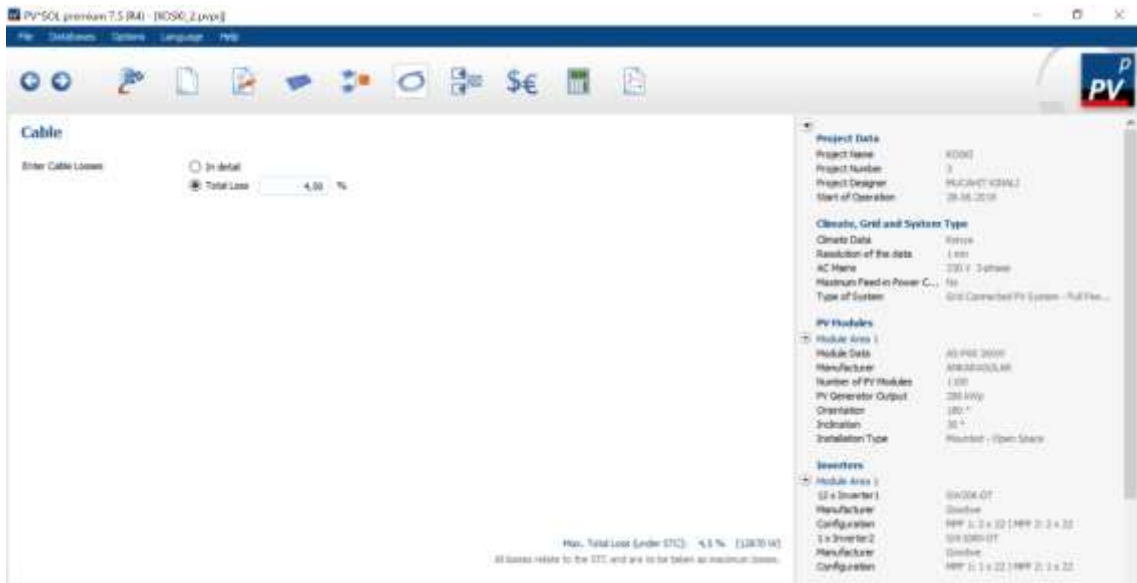


Şekil 4.76. PVSOL Yazılımında KOSKİ GES Tesisinde Seçilen Evirici için Sistem Çalışabilirlik Kontrolü



Şekil 4.77. PVSOL Yazılımında KOSKİ GES Tesisi için Evirici Konfigürasyon Ekranı

Yazılımda bu aşamadan sonra omik kayıpların girilebildiği ekran bulunmaktadır. Bu ekranda kayıplar kablo uzunluğu ve kablo kesitleri bilgileri girilerek hesaplanabildiği gibi PVSyst yazılımında yapıldığı üzere yüzde oran girilerek hesaplanabilmektedir. Çalışmada PVSyst yazılımında kullanılan varsayım tercih edilmiş, DC ve AC kablo kayıpları toplamda %4,5 oranında girilerek simülasyon yapılmıştır (Şekil 4.78).



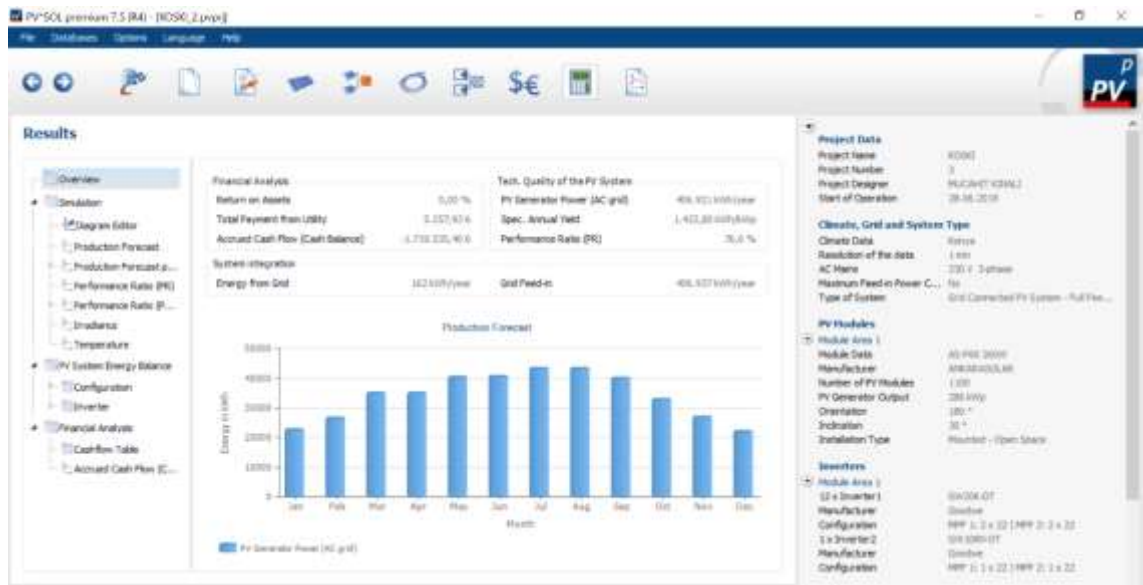
Şekil 4.78. PVSOL Yazılımında KOSKİ GES Tesisi için Omik Kayıp Ekranı

Yazılımda tesisle ilgili ekonomik analiz de yapılabilmektedir (Şekil 4.79). Bu kapsamda simülasyonda Konya OSB GES'e ait gerçek yatırım değeri, tesise ait ilk yatırım maliyetlerinin alt bileşenleri ise Mayer ve arkadaşları'nın 2015 yılında yaptıkları çalışmadaki oranlara göre belirlenerek elde edilen değerler kullanılarak yapılmıştır (Energiewende et al., 2015).



Şekil 4.79. PVSOL Yazılımında KOSKİ GES Tesisi Ekonomik Analiz Veri Ekranı

Bu aşama ile yazılımda simülasyon için gerekli olan tüm veriler girilmiştir. Sonraki aşamada yazılımda simülasyon başlatılarak simülasyon sonuçları elde edilir. Sonuçlar yazdırılabildiği gibi farklı formatlarda kaydedilmektedir. Ayrıca simülasyon ile ilgili istenilen grafikler ve çizelgeler kopyalanabilmektedir (Şekil 4.80).



Şekil 4.80. PVSOL Yazılımında KOSKİ GES Tesisi Simülasyon Sonuç Ekranı

4.2.3. PVGIS Simülasyonları

PVGIS, Avrupa Komisyonu'nun kendi bünyesindeki bilim servislerinden Ortak Araştırma Merkezi tarafından geliştirilen ve kullanılan ücretsiz bir PV enerji hesaplama programıdır. 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 PV enerji hesaplayıcı simülasyon programıdır. Bu uygulama kullanıcı tarafından, harita üzerinden istenilen enlem ve boylam parametreleri, PV modülün çeşidi ve toplam kapasiteleri, sistem performans oranı, modül montaj özellikleri ve açıları, izleme özellikleri gibi parametrelerin belirlenmesiyle bir PV sistemin aylık ve yıllık, güneş ışınım değerlerini kWh/m², potansiyel elektrik üretimini kWh cinsinden hesaplamaktadır (Ceylan, 2017).

PVGIS yazılımı online olarak sunulan bir araçtır. Bu yazılımda PVSOL ve PVSyst benzeri simülasyon araçları bulunmamaktadır. Kullanıcının çok temel verileri girilmesi sağlanmış, her düzeyde kullanıcı için basit bir arayüz oluşturulmuştur. Çalışmanın yapıldığı sıralarda PVGIS'in ulaşabildiği iki versiyonu bulunmaktadır. 31.07.2019 tarihinde ulaşıma kapatılacak olan dördüncü versiyonu ve 31.05.2017 tarihinde demo versiyonu yayınlanan beşinci versiyon kullanıcılara hizmet vermektedir. Çalışmamızda iki versiyon ile ilgili de sonuçlar elde edilerek karşılaştırma yapılmıştır.

4.2.3.1. Karaman Belediyesi 1000 kW GES Tesisinin PVGIS Simülasyonu

PVGIS simülasyon programının yayımda olan dördüncü versiyonunda veri girişi yapılabilecek sekiz parametre bulunmaktadır. Eğer simülasyon yapılacak sistemde güneş takip sistemi var ise beş parametre daha girilmektedir. Ayrıca sistemde ufuk çizgisi için resim de yüklenebilmektedir. Yazılımda şebeke bağlantılı PV sistemler için tahmin sonuçlarının yanında aylık ve günlük güneş radyasyon verileri de görülebilmektedir. Bu veriler diğer simülasyon programları tarafından alınabilmektedir. Yine bu versiyonda şebeke bağlantısız PV sistemler için hesaplama aracı da bulunmaktadır. Bu araç ile yük ve sistem parametreleri girilerek simülasyon yapılabilmektedir.

Çalışmamızda Karaman Belediyesi GES tesisinin koordinatları girilerek sistemin gücü 1081,6 kWp olarak girilmiş, sistemde toplamda %25,1 kayıp olabilmesi için ışınım kayıpları haricindeki kayıplar %14 olarak girilmiş, PV panellerin azimut ve tilt açıları girilerek simülasyon yapılmıştır. Bu ekranda radyasyon veri tabanı olarak PVGIS-

CMSAF veri tabanı ile PVGIS-KLASİK veri tabanı seçimi yapılabilmektedir. Çalışmamızda iki veri tabanı da karşılaştırılmıştır (Şekil 4.81 ve Şekil 4.82).

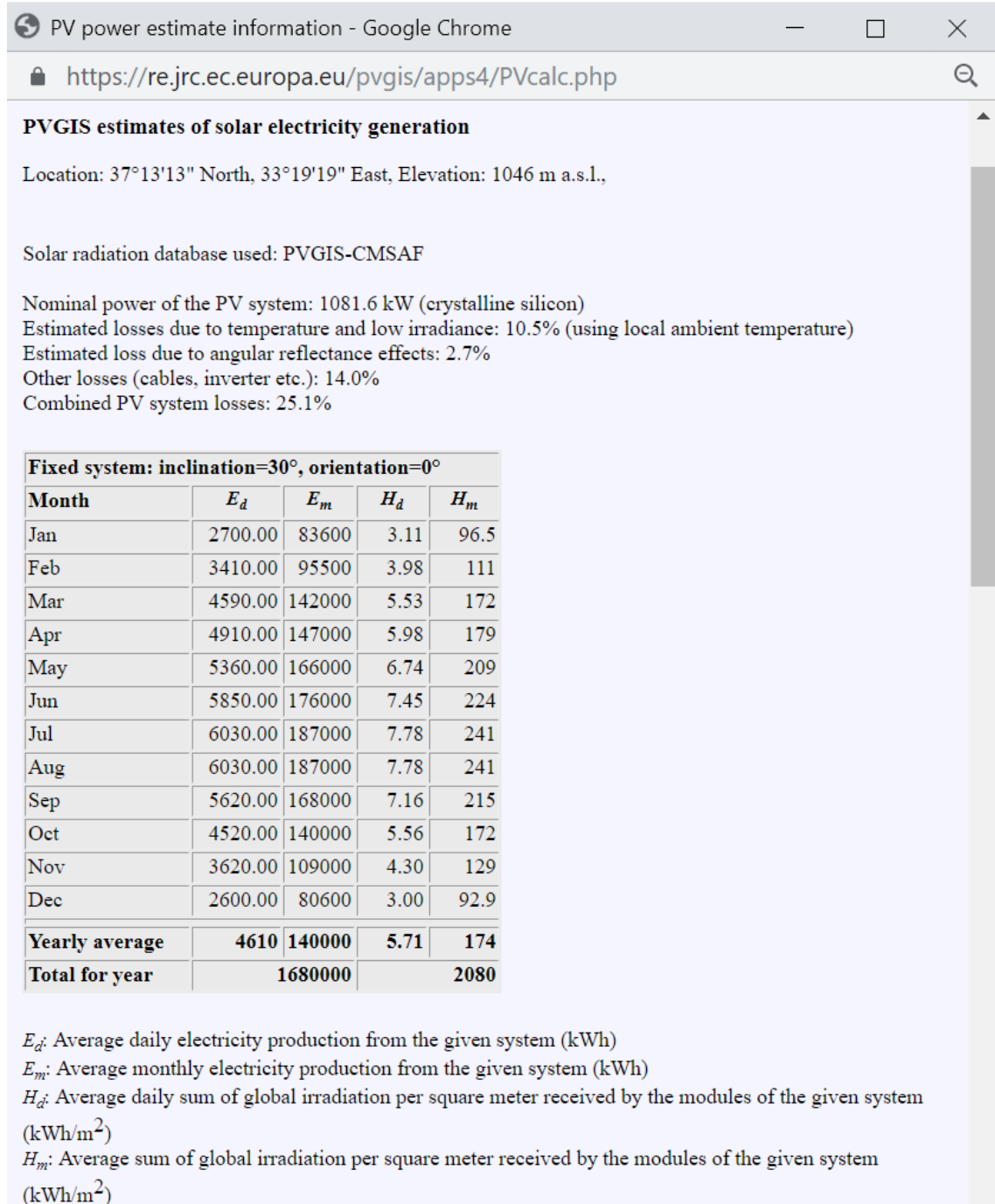
The screenshot shows the PVGIS-CMSAF web interface. The header includes the JRC logo and the title "Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps". The navigation bar shows the path: EUROPA > EC > JRC > DIR-C > RE > SOLAREC > PVGIS > Interactive maps > europe. The current position is 37.227, 33.330. The search bar contains "Karaman Belediyesi Güneş Enerji Tesisi" and the coordinates are Latitude: 37.220435, Longitude: 33.322062. The map shows the location of the solar facility in Karaman, Turkey. The right-hand panel displays the "Performance of Grid-connected PV" results for the "Climate-SAF PVGIS" radiation database. The installed peak PV power is 1081.6 kWp, and the estimated system losses are 14%. The fixed mounting options are set to "Free-standing" with a slope of 30 degrees and an azimuth of 0 degrees. The tracking options are set to "Vertical axis" with a slope of 0 degrees. The output options are set to "Show graphs", "Web page", and "Show horizon".

Şekil 4.81. PVGIS Yazılımı Dördüncü Versiyonda PVGIS-CMSAF Veri tabanı ile Karaman Belediyesi GES Tesisi Simülasyonu Veri Girişi Ekranı

The screenshot shows the PVGIS-Klasik web interface. The header includes the JRC logo and the title "Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps". The navigation bar shows the path: EUROPA > EC > JRC > DIR-C > RE > SOLAREC > PVGIS > Interactive maps > europe. The current position is 37.227, 33.332. The search bar contains "Karaman Belediyesi Güneş Enerji Tesisi" and the coordinates are Latitude: 37.220435, Longitude: 33.322062. The map shows the location of the solar facility in Karaman, Turkey. The right-hand panel displays the "Performance of Grid-connected PV" results for the "Classic PVGIS" radiation database. The installed peak PV power is 1081.6 kWp, and the estimated system losses are 14%. The fixed mounting options are set to "Free-standing" with a slope of 30 degrees and an azimuth of 0 degrees. The tracking options are set to "Vertical axis" with a slope of 0 degrees. The output options are set to "Show graphs", "Web page", and "Show horizon".

Şekil 4.82. PVGIS Yazılımı Dördüncü Versiyonda PVGIS-Klasik Veri tabanı ile Karaman Belediyesi GES Tesisi Simülasyonu Veri Girişi Ekranı

PVGIS yazılımında girilen parametreler sonucunda yapılan tahminler farklı ortamlarda kayıt edilebilmektedir. Karaman Belediyesi GES Tesisi için PVGIS aracının dördüncü versiyonunda iki farklı veri tabanı kullanılarak yapılan tahmin sonuçları, Şekil 4.83 ve Şekil 4.84’de görülmektedir.



Şekil 4.83. PVGIS Yazılımı Dördüncü Versiyonda PVGIS-CMSAF Veri tabanı ile Karaman Belediyesi GES Tesisi Simülasyon Sonuçları

PV power estimate information - Google Chrome

https://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/PVcalc.php

PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 37°13'13" North, 33°19'19" East, Elevation: 1046 m a.s.l.,

Solar radiation database used: PVGIS-classic

Nominal power of the PV system: 1081.6 kW (crystalline silicon)
 Estimated losses due to temperature and low irradiance: 10.2% (using local ambient temperature)
 Estimated loss due to angular reflectance effects: 3.0%
 Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%
 Combined PV system losses: 25.1%

Fixed system: inclination=30°, orientation=0°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	3090.00	95900	3.58	111
Feb	3600.00	101000	4.21	118
Mar	4630.00	144000	5.59	173
Apr	4700.00	141000	5.74	172
May	5050.00	156000	6.37	197
Jun	5260.00	158000	6.73	202
Jul	5180.00	160000	6.72	208
Aug	5040.00	156000	6.53	202
Sep	5000.00	150000	6.39	192
Oct	4360.00	135000	5.37	167
Nov	3320.00	99700	3.95	119
Dec	2770.00	85800	3.20	99.1
Yearly average	4340	132000	5.37	163
Total for year		1580000		1960

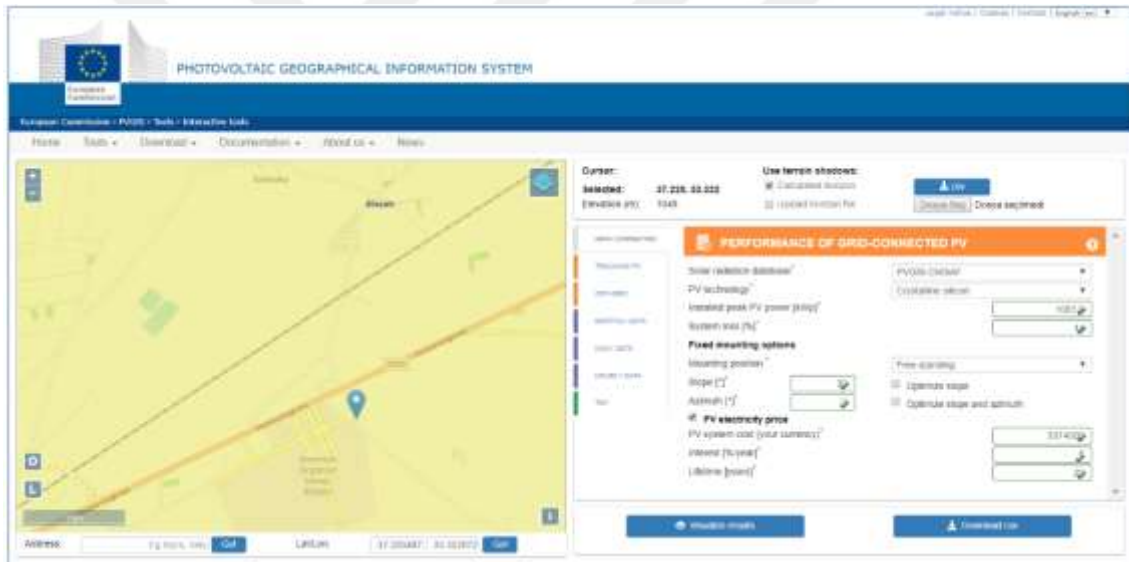
E_d : Average daily electricity production from the given system (kWh)
 E_m : Average monthly electricity production from the given system (kWh)
 H_d : Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)
 H_m : Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

Şekil 4.84. PVGIS Yazılımı Dördüncü Versiyonda PVGIS-Klasik Veri tabanı ile Karaman Belediyesi GES Tesisi Simülasyon Sonuçları

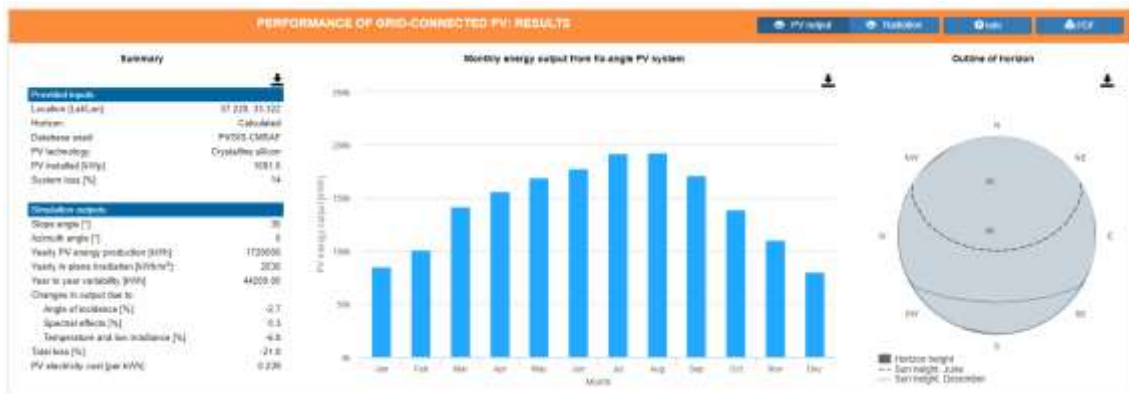
PVGIS simülasyon programının yayımda olan beşinci versiyonunda ise veri girişi yapılabilecek on parametre bulunmaktadır. Eğer simülasyon yapılacak sistemde güneş takip sistemi var ise üç parametre daha girilmektedir. Ayrıca sistemde ufuk çizgisi için resim de yüklenebilmektedir. Yazılımda şebeke bağlantılı PV sistemler için tahmin sonuçlarının yanında aylık ve günlük güneş radyasyon verileri de görülebilmektedir. Bu veriler diğer simülasyon programları tarafından alınabilmektedir. Yine bu versiyonda

şebeke bağlantısız PV sistemler için hesaplama aracı da bulunmaktadır. Bu araç ile yük ve sistem parametreleri girilerek simülasyon yapılabilir (Şekil 4.85).

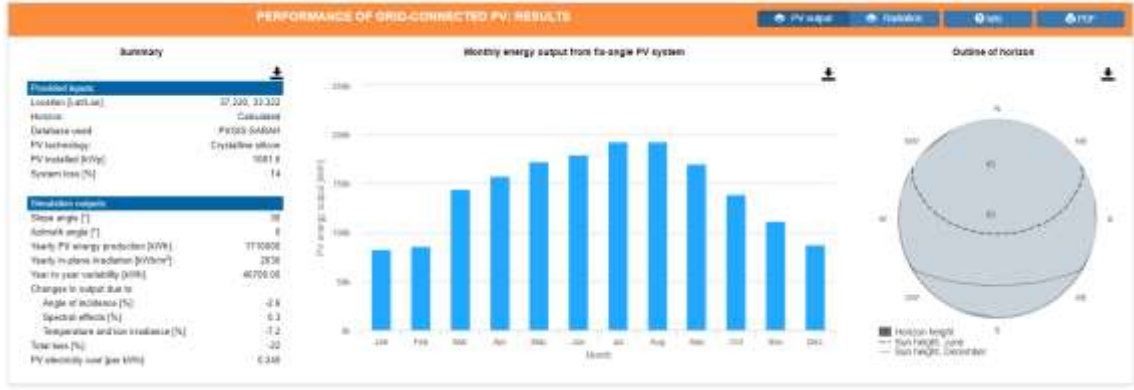
Çalışmamızda Karaman Belediyesi GES tesisinin koordinatları girilerek sistemin gücü 1081,6 kWp olarak girilmiş, önceki simülasyondaki gibi sistem için %14 kayıp oranı girilmiş, PV panellerin azimut ve tilt açıları girilerek simülasyon yapılmıştır. Beşinci versiyonda önceki versiyona ek olarak iki veri tabanı daha eklenmiştir. Kullanıcı, simülasyon için PVGIS-CMSAF, PVGIS-SARAH, PVGIS-ERA5 ve PVGIS-COSMO veri tabanlarını seçebilmektedir. Çalışmamızda bu veri tabanları karşılaştırılmıştır. Beşinci versiyonda toplam kayıplar önceki versiyondan daha farklı bir algoritma ile hesaplanmaktadır. Seçilen veri tabanlarına bağlı olarak toplam kayıpları değişmektedir. Dördüncü versiyonda sistem kayıpları olarak girilen %14 kayıpla toplam kayıp %25,1 olarak hesaplanırken yeni versiyonda bu oran PVGIS-CMSAF veri tabanı için %21,8 olarak hesaplanmaktadır.



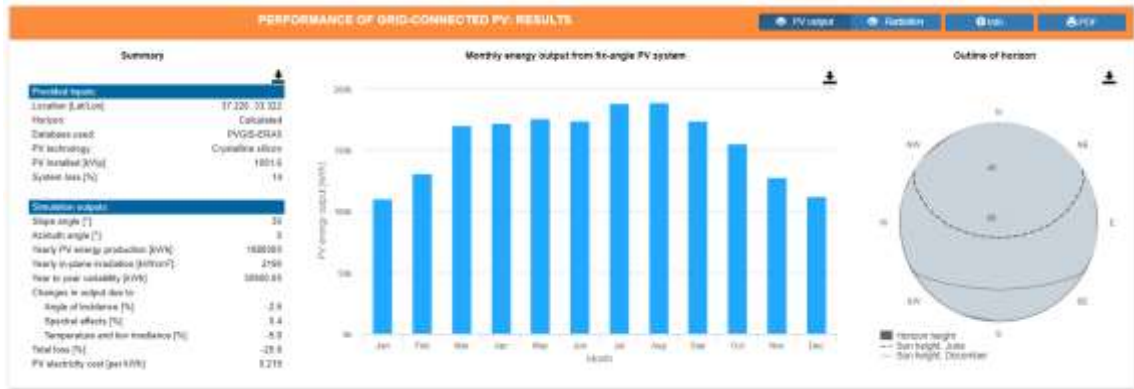
Şekil 4.85. PVGIS Yazılımı Beşinci Versiyonda PVGIS-CMSAF Veri tabanı ile Karaman Belediyesi GES Tesisi Simülasyonu Veri Girişi Ekranı



Şekil 4.86. PVGIS Yazılımı Beşinci Versiyonda PVGIS-CMSAF Veri tabanı ile Karaman Belediyesi GES Tesisi Simülasyonu Sonuçları



Şekil 4.87. PVGIS Yazılımı Beşinci Versiyonda PVGIS-SARAH Veri tabanı ile Karaman Belediyesi GES Tesisi Simülasyonu Sonuçları



Şekil 4.88. PVGIS Yazılımı Beşinci Versiyonda PVGIS-ERA5 Veri tabanı ile Karaman Belediyesi GES Tesisi Simülasyonu Sonuçları



Şekil 4.89. PVGIS Yazılımı Beşinci Versiyonda PVGIS-COSMO Veri tabanı ile Karaman Belediyesi GES Tesisi Simülasyonu Sonuçları

PVGIS yazılımında girilen parametreler sonucunda yapılan tahminler farklı ortamlarda kayıt edilebilmektedir. Karaman Belediyesi GES Tesisi için PVGIS aracının beşinci versiyonunda dört farklı veri tabanı kullanılarak yapılan tahmin sonuçları, Şekil 4.86, Şekil 4.87, Şekil 4.88 ve Şekil 4.89'da görülmektedir.

4.2.3.2. Konya OSB 500 kW GES Tesisinin PVGIS Simülasyonu

Çalışmamızda Konya OSB GES tesisinin koordinatları girilerek sistemin gücü 572 kWp olarak girilmiş, sistemde toplamda %25,1 kayıp olabilmesi için ışığa kayıpları haricindeki kayıplar %14 olarak girilmiş, PV panellerin azimut ve tilt açıları girilerek simülasyon yapılmıştır. Bu ekranda radyasyon veri tabanı olarak PVGIS-CMSAF veri tabanı ile PVGIS-KLASİK veri tabanı seçimi yapılabilmektedir. Çalışmamızda iki veri tabanı da karşılaştırılmıştır (Şekil 4.9 ve Şekil 4.91).



Şekil 4.90. PVGIS Yazılımı Dördüncü Versiyonda PVGIS-CMSAF Veri tabanı ile Konya OSB GES Tesisi Simülasyonu Veri Girişi Ekranı



Şekil 4.91. PVGIS Yazılımı Dördüncü Versiyonda PVGIS-Klasik Veri tabanı ile Konya OSB GES Tesisi Simülasyonu Veri Girişi Ekranı

PVGIS yazılımında girilen parametreler sonucunda yapılan tahminler farklı ortamlarda kayıt edilebilmektedir. Konya OSB GES Tesisi için PVGIS aracının dördüncü versiyonunda iki farklı veri tabanı kullanılarak yapılan tahmin sonuçları, Şekil 4.92 ve Şekil 4.93’de görülmektedir.

PV power estimate information - Google Chrome

https://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/PVcalc.php

Performance of Grid-connected PV

NOTE: before using these calculations for anything serious, you should read [\[this\]](#)

PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 37°57'37" North, 32°37'37" East, Elevation: 1003 m a.s.l.,

Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF

Nominal power of the PV system: 572.0 kW (crystalline silicon)
 Estimated losses due to temperature and low irradiance: 10.7% (using local ambient temperature)
 Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.8%
 Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%
 Combined PV system losses: 25.3%

Fixed system: inclination=25°, orientation=0°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	1300.00	40200	2.80	86.8
Feb	1740.00	48800	3.82	107
Mar	2390.00	74100	5.45	169
Apr	2460.00	73900	5.69	171
May	2680.00	83100	6.42	199
Jun	3000.00	89900	7.27	218
Jul	3160.00	98000	7.78	241
Aug	3120.00	96700	7.66	237
Sep	2820.00	84500	6.81	204
Oct	2270.00	70400	5.27	163
Nov	1790.00	53600	3.99	120
Dec	1230.00	38200	2.68	83.0
Yearly average	2330	71000	5.48	167
Total for year		851000		2000

E_d : Average daily electricity production from the given system (kWh)
 E_m : Average monthly electricity production from the given system (kWh)
 H_d : Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)
 H_m : Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

PVGIS © European Communities, 2001-2012
 Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged
 See the disclaimer [here](#)

Şekil 4.92. PVGIS Yazılımı Dördüncü Versiyonda PVGIS-CMSAF Veri tabanı ile Konya OSB GES Tesisi Simülasyon Sonuçları

PV power estimate information - Google Chrome

https://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/PVcalc.php

Performance of Grid-connected PV

NOTE: before using these calculations for anything serious, you should read [\[this\]](#)

PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 37°57'37" North, 32°37'37" East, Elevation: 1003 m a.s.l.,

Solar radiation database used: PVGIS-classic

Nominal power of the PV system: 572.0 kW (crystalline silicon)
 Estimated losses due to temperature and low irradiance: 10.4% (using local ambient temperature)
 Estimated loss due to angular reflectance effects: 3.0%
 Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%
 Combined PV system losses: 25.3%

Fixed system: inclination=25°, orientation=0°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	1460.00	45200	3.15	97.7
Feb	1730.00	48400	3.80	106
Mar	2340.00	72700	5.35	166
Apr	2390.00	71600	5.52	166
May	2610.00	80900	6.26	194
Jun	2760.00	82700	6.71	201
Jul	2720.00	84200	6.73	209
Aug	2620.00	81100	6.45	200
Sep	2610.00	78300	6.34	190
Oct	2160.00	67000	5.02	155
Nov	1610.00	48300	3.60	108
Dec	1320.00	40900	2.87	88.9
Yearly average	2200	66800	5.16	157
Total for year		801000		1880

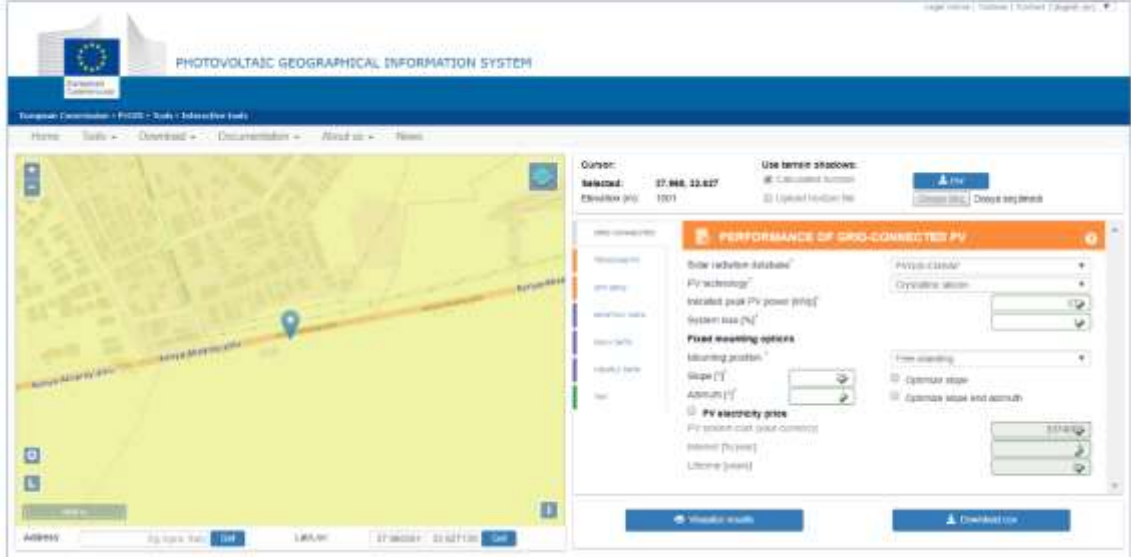
E_d : Average daily electricity production from the given system (kWh)
 E_m : Average monthly electricity production from the given system (kWh)
 H_d : Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)
 H_m : Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

PVGIS © European Communities, 2001-2012
 Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged
 See the disclaimer [here](#)

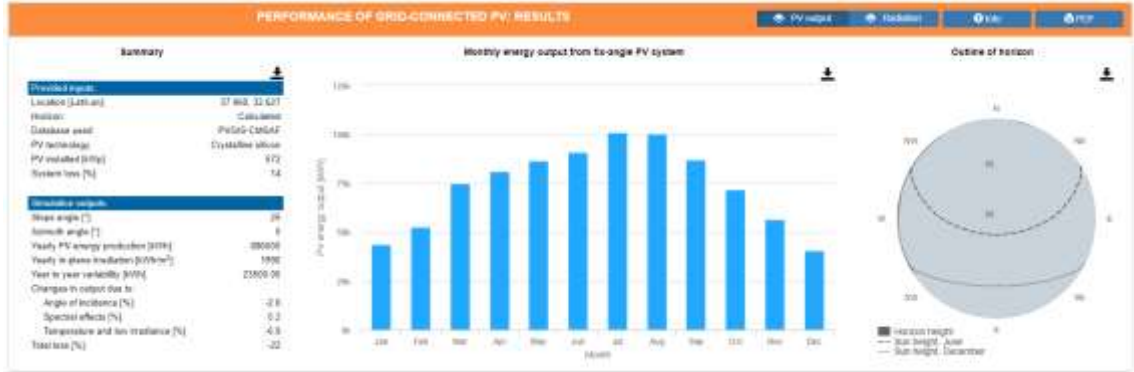
Şekil 4.93. PVGIS Yazılımı Dördüncü Versiyonda PVGIS-Klasik Veri tabanı ile Konya OSB GES Tesisi Simülasyon Sonuçları

PVGIS yazılımının beşinci versiyonunda yapılan simülasyon çalışmamızda Konya OSB GES tesisinin koordinatları girilerek sistemin gücü 572 kWp olarak girilmiş, önceki simülasyondaki gibi sistem için %14 kayıp oranı girilmiş, PV panellerin azimut ve tilt açıları girilerek simülasyon yapılmıştır. Beşinci versiyonda önceki versiyona ek olarak iki veri tabanı daha eklenmiştir. Kullanıcı, simülasyon için PVGIS-CMSAF, PVGIS-SARAH, PVGIS-ERA5 ve PVGIS-COSMO veri tabanlarını seçebilmektedir. Çalışmamızda bu veri tabanları karşılaştırılmıştır. Beşinci versiyonda toplam kayıplar

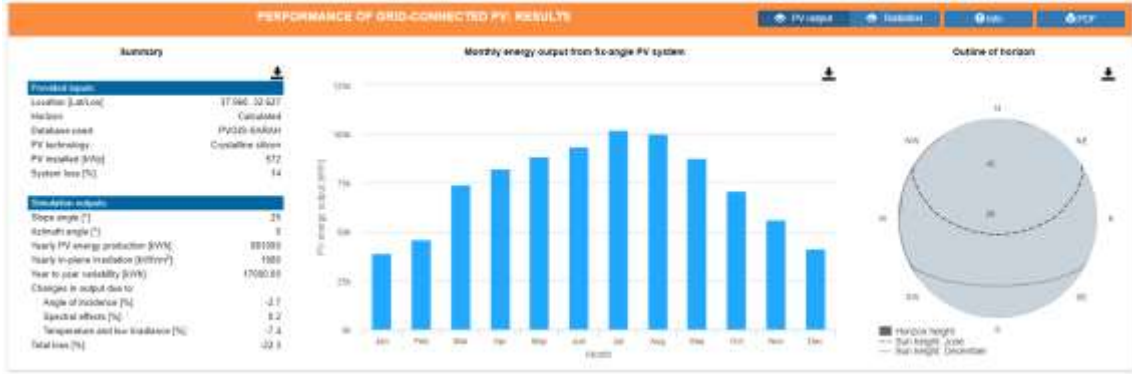
önceki versiyondan daha farklı bir algoritma ile hesaplanmaktadır. Seçilen veri tabanlarına bağlı olarak toplam kayıpları değişmektedir. Dördüncü versiyonda sistem kayıpları olarak girilen %14 kayıpla toplam kayıp %25,1 olarak hesaplanırken yeni versiyonda bu oran PVGIS-CMSAF veri tabanı için %21,8 olarak hesaplanmaktadır (Şekil 4.94).



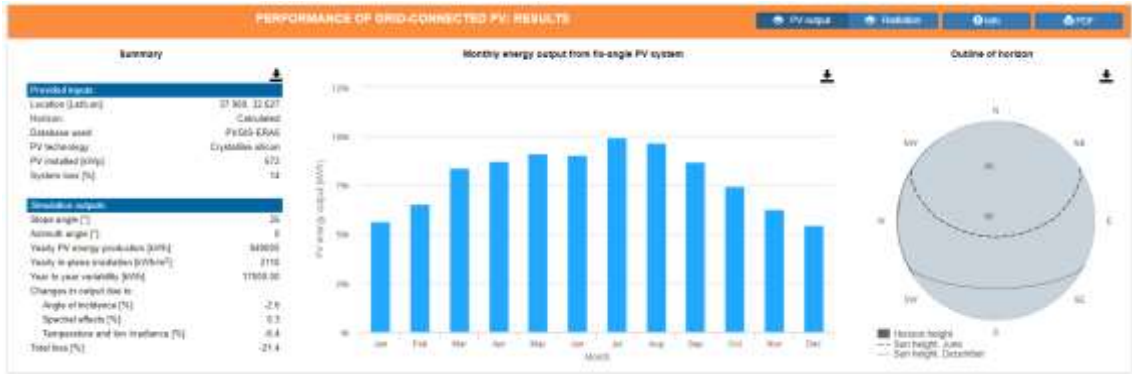
Şekil 4.94. PVGIS Yazılımı Beşinci Versiyonda PVGIS-CMSAF Veri tabanı ile Konya OSB GES Tesisi Simülasyonu Veri Girişi Ekranı



Şekil 4.95. PVGIS Yazılımı Beşinci Versiyonda PVGIS-CMSAF Veri tabanı ile Konya OSB GES Tesisi Simülasyonu Sonuçları



Şekil 4.96. PVGIS Yazılımı Beşinci Versiyonda PVGIS-SARAH Veri tabanı ile Konya OSB GES Tesisi Simülasyonu Sonuçları



Şekil 4.97. PVGIS Yazılımı Beşinci Versiyonda PVGIS-ERA5 Veri tabanı ile Konya OSB GES Tesisi Simülasyonu Sonuçları



Şekil 4.98. PVGIS Yazılımı Beşinci Versiyonda PVGIS-COSMO Veri tabanı ile Konya OSB GES Tesisi Simülasyonu Sonuçları

PVGIS yazılımında girilen parametreler sonucunda yapılan tahminler farklı ortamlarda kayıt edilebilmektedir. Konya OSB GES Tesisi için PVGIS aracının beşinci versiyonunda dört farklı veri tabanı kullanılarak yapılan tahmin sonuçları, Şekil 4.95, Şekil 4.96, Şekil 4.97 ve Şekil 4.98’de görülmektedir.

4.2.3.3. KOSKİ 250 kW GES Tesisinin PVGIS Simülasyonu

Çalışmamızda KOSKİ GES tesisinin koordinatları girilerek sistemin gücü 286 kWp olarak girilmiş, sistemde toplamda %25,1 kayıp olabilmesi için ışığa kayıpları haricindeki kayıplar %14 olarak girilmiş, PV panellerin azimut ve tilt açıları girilerek simülasyon yapılmıştır. Bu ekranda radyasyon veri tabanı olarak PVGIS-CMSAF veri tabanı ile PVGIS-KLASİK veri tabanı seçimi yapılabilmektedir. Çalışmamızda iki veri tabanı da karşılaştırılmıştır (Şekil 4.99 ve Şekil 4.100).

The screenshot displays the PVGIS-CMSAF web interface. The top navigation bar includes the JRC logo and the text 'Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps'. Below the navigation bar, there is a search bar with the text 'e.g., "Tara, Italy" or "46.2596, 16.9584"'. The current position is listed as 37.879, 32.587 and the selected position as 37.084, 32.580. The latitude is 37.883694 and the longitude is 32.579500. The interface is divided into two main sections: a map on the left and a configuration panel on the right. The map shows the location of the KOSKİ 250 kW GES facility in Turkey. The configuration panel is titled 'Performance of Grid-connected PV' and includes the following settings:

- Radiation database: Climate-SAF PVGIS
- PV technology: Crystalline silicon
- Installed peak PV power: 286 kWp
- Estimated system losses [0;100]: 14 %
- Fixed mounting options:
 - Mounting position: Free-standing
 - Slope [0;90]: 30 °
 - Azimuth [-180;180]: 0 °
- Tracking options:
 - Vertical axis: Slope [0;90]: 0 °
 - Inclined axis: Slope [0;90]: 0 °
 - 2-axis tracking
- Horizon file: Dosya Seç
- Output options:
 - Show graphs
 - Show horizon
 - Web page
 - Text file
 - PDF

The 'Calculate' button is visible at the bottom of the configuration panel.

Şekil 4.99. PVGIS Yazılımı Dördüncü Versiyonda PVGIS-CMSAF Veri tabanı ile KOSKİ GES Tesisi Simülasyonu Veri Girişi Ekranı



Şekil 4.100. PVGIS Yazılımı Dördüncü Versiyonda PVGIS-Klasik Veri tabanı ile KOSKİ GES Tesisi Simülasyonu Veri Giriş Ekranı

PVGIS yazılımında girilen parametreler sonucunda yapılan tahminler farklı ortamlarda kayıt edilebilmektedir. KOSKİ GES Tesisi için PVGIS aracının dördüncü versiyonunda iki farklı veri tabanı kullanılarak yapılan tahmin sonuçları, Şekil 4.101 ve Şekil 4.102’de görülmektedir.

PV power estimate information - Google Chrome

https://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/PVcalc.php

Performance of Grid-connected PV

NOTE: before using these calculations for anything serious, you should read [\[this\]](#)

PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 37°53'1" North, 32°34'46" East, Elevation: 1003 m a.s.l.,

Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF

Nominal power of the PV system: 286.0 kW (crystalline silicon)
 Estimated losses due to temperature and low irradiance: 10.5% (using local ambient temperature)
 Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.7%
 Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%
 Combined PV system losses: 25.1%

Fixed system: inclination=30°, orientation=0°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	697.00	21600	3.01	93.4
Feb	917.00	25700	4.03	113
Mar	1240.00	38600	5.67	176
Apr	1280.00	38300	5.88	176
May	1350.00	41900	6.46	200
Jun	1490.00	44700	7.20	216
Jul	1550.00	48200	7.64	237
Aug	1560.00	48500	7.67	238
Sep	1440.00	43100	6.94	208
Oct	1180.00	36700	5.49	170
Nov	947.00	28400	4.23	127
Dec	667.00	20700	2.89	89.7
Yearly average	1200	36400	5.60	170
Total for year		436000		2040

E_d : Average daily electricity production from the given system (kWh)
 E_m : Average monthly electricity production from the given system (kWh)
 H_d : Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)
 H_m : Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

PVGIS © European Communities, 2001-2012
 Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged
 See the disclaimer [here](#)

Şekil 4.101. PVGIS Yazılımı Dördüncü Versiyonda PVGIS-CMSAF Veri tabanı ile KOSKİ GES Tesisi Simülasyon Sonuçları

PV power estimate information - Google Chrome

https://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/PVcalc.php

Performance of Grid-connected PV

NOTE: before using these calculations for anything serious, you should read [\[this\]](#)

PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 37°53'1" North, 32°34'46" East, Elevation: 1003 m a.s.l.,

Solar radiation database used: PVGIS-classic

Nominal power of the PV system: 286.0 kW (crystalline silicon)
 Estimated losses due to temperature and low irradiance: 10.3% (using local ambient temperature)
 Estimated loss due to angular reflectance effects: 3.0%
 Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%
 Combined PV system losses: 25.2%

Fixed system: inclination=30°, orientation=0°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	767.00	23800	3.32	103
Feb	896.00	25100	3.94	110
Mar	1190.00	36900	5.43	168
Apr	1190.00	35800	5.51	165
May	1290.00	39900	6.16	191
Jun	1350.00	40500	6.55	197
Jul	1330.00	41300	6.58	204
Aug	1300.00	40300	6.40	198
Sep	1320.00	39500	6.38	191
Oct	1120.00	34600	5.19	161
Nov	841.00	25200	3.77	113
Dec	694.00	21500	3.02	93.5
Yearly average	1110	33700	5.19	158
Total for year		404000		1900

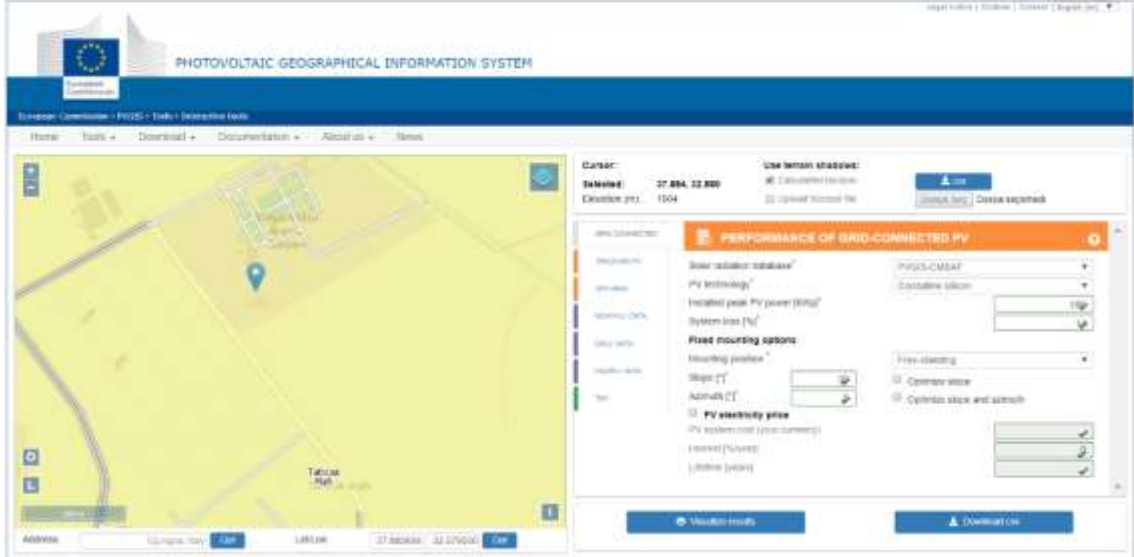
E_d : Average daily electricity production from the given system (kWh)
 E_m : Average monthly electricity production from the given system (kWh)
 H_d : Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)
 H_m : Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

PVGIS © European Communities, 2001-2012
 Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged
 See the disclaimer [here](#)

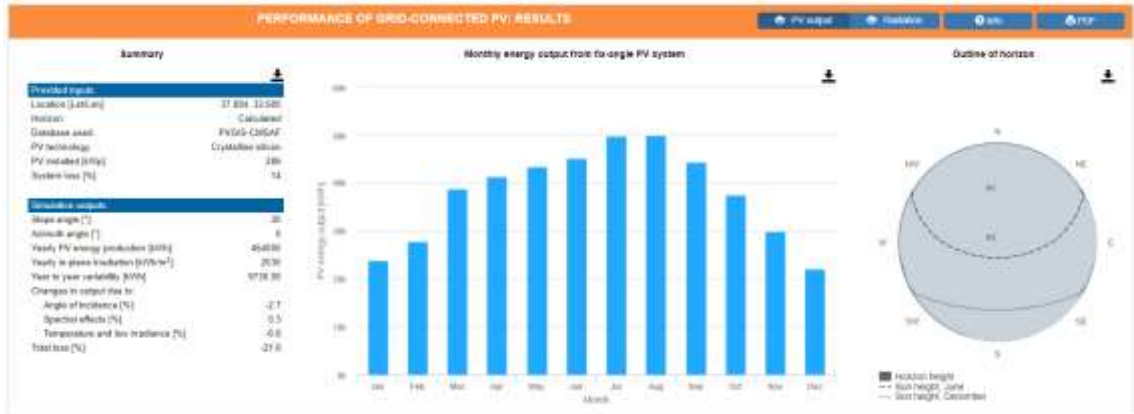
Şekil 4.102. PVGIS Yazılımı Dördüncü Versiyonda PVGIS-Klasik Veri tabanı ile KOSKİ GES Tesisi Simülasyon Sonuçları

PVGIS yazılımının beşinci versiyonunda yapılan simülasyon çalışmamızda KOSKİ GES tesisinin koordinatları girilerek sistemin gücü 286 kWp olarak girilmiş, önceki simülasyondaki gibi sistem için %14 kayıp oranı girilmiş, PV panellerin azimut ve tilt açıları girilerek simülasyon yapılmıştır. Beşinci versiyonda önceki versiyona ek olarak iki veri tabanı daha eklenmiştir. Kullanıcı, simülasyon için PVGIS-CMSAF, PVGIS-SARAH, PVGIS-ERA5 ve PVGIS-COSMO veri tabanlarını seçebilmektedir. Çalışmamızda bu veri tabanları karşılaştırılmıştır. Beşinci versiyonda toplam kayıplar

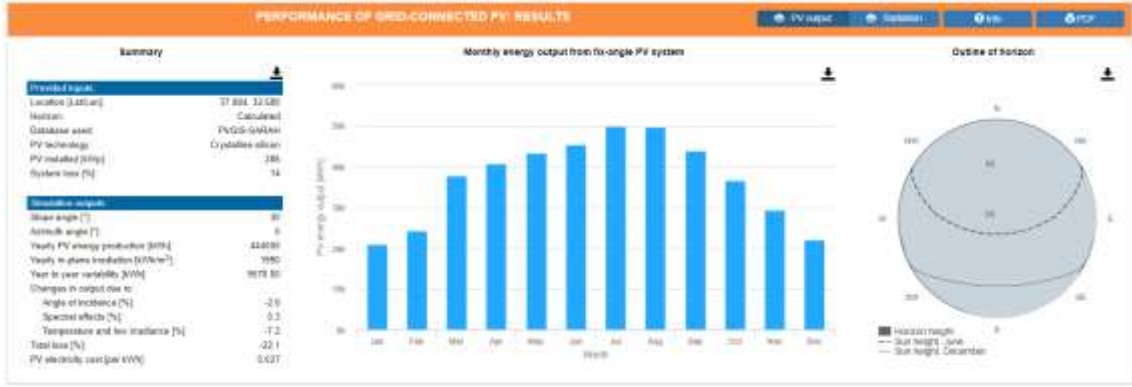
önceki versiyondan daha farklı bir algoritma ile hesaplanmaktadır. Seçilen veri tabanlarına bağlı olarak toplam kayıpları değişmektedir. Dördüncü versiyonda sistem kayıpları olarak girilen %14 kayıpla toplam kayıp %25,1 olarak hesaplanırken yeni versiyonda bu oran PVGIS-CMSAF veri tabanı için %21,8 olarak hesaplanmaktadır (Şekil 4.103).



Şekil 4.103. PVGIS Yazılımı Beşinci Versiyonda PVGIS-CMSAF Veri tabanı ile KOSKİ GES Tesisi Simülasyonu Veri Girişi Ekranı



Şekil 4.104. PVGIS Yazılımı Beşinci Versiyonda PVGIS-CMSAF Veri tabanı ile KOSKİ GES Tesisi Simülasyonu Sonuçları



Şekil 4.105. PVGIS Yazılımı Beşinci Versiyonda PVGIS-SARAH Veri tabanı ile KOSKİ GES Tesisi Simülasyonu Sonuçları



Şekil 4.106. PVGIS Yazılımı Beşinci Versiyonda PVGIS-ERA5 Veri tabanı ile KOSKİ GES Tesisi Simülasyonu Sonuçları



Şekil 4.107. PVGIS Yazılımı Beşinci Versiyonda PVGIS-COSMO Veri tabanı ile KOSKİ GES Tesisi Simülasyonu Sonuçları

PVGIS yazılımında girilen parametreler sonucunda yapılan tahminler farklı ortamlarda kayıt edilebilmektedir. KOSKİ GES Tesisi için PVGIS aracının beşinci versiyonunda dört farklı veri tabanı kullanılarak yapılan tahmin sonuçları, Şekil 4.104, Şekil 4.105, Şekil 4.106 ve Şekil 4.107’de görülmektedir.

5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1. Karaman Belediyesi 1000 kW Güneş Enerjisi Santrali

Bu çalışmada, GES tesisi fizibilitelelerinde kullanılan tahmin yazılımlarının Konya ve Karaman illeri için ne kadar doğru tahminler ürettiğinin araştırılması için bu illerde işletmede olan saha tipi üç adet GES tesisinin işletmeye girdiği günden beri ürettiği enerji miktarı ile bu tesislerin tasarımında ve fizibilite çalışmalarında kullanılan simülasyon programlarının üretmiş olduğu tahmin değerleri karşılaştırılmıştır.

Simülasyon programlarının performanslarının doğru bir şekilde karşılaştırılması amacıyla IEC tarafından oluşturulan IEC 61724 numaralı performans analizi standardı kullanılmıştır. Yine bu amaçla yazılımlarda kullanılan meteorolojik veri tabanlarının seçiminde birbirleriyle karşılaştırma yapılabilecek olasılıklar olmasına dikkat edilmiştir. PVSyst programının PVSOL programıyla kıyas edilebilmesi için Meteororm veritabanı, PVGIS programı ile kıyas edilebilmesi için ise PV-GIS meteoroloji veri tabanı kullanılmıştır. Çalışmamızda, PVSyst yazılımında üç adet GES tesisi için altı adet simülasyon, PVSOL yazılımında üç adet GES tesisi için üç simülasyon, PVGIS ile de üç adet GES tesisi için 18 adet simülasyon yapılarak tahmin değerleri oluşturulmuştur. Yapılan simülasyonlar ile ilgili özet bilgi Çizelge 5.1’de görülmektedir.

Çizelge 5.1. Yazılımlar ile Gerçekleştirilen Simülasyonlar Listesi

	Karaman Belediyesi GES	Konya OSB GES	KOSKİ GES
PVSyst	<i>Meteororm</i> Veri Tabanı	<i>Meteororm</i> Veri Tabanı	<i>Meteororm</i> Veri Tabanı
	Simülasyonu (Kar_Syst_1)	Simülasyonu (Os_b_Syst_1)	Simülasyonu (Kos_Syst_1)
PVSOL	<i>PVGIS-CMSAF</i> Veri Tabanı	<i>PVGIS-CMSAF</i> Veri Tabanı	<i>PVGIS-CMSAF</i> Veri Tabanı
	Simülasyonu (Kar_Syst_2)	Simülasyonu (Os_b_Syst_2)	Simülasyonu (Kos_Syst_2)
PVSOL	<i>Meteororm</i> Veri Tabanı	<i>Meteororm</i> Veri Tabanı	<i>Meteororm</i> Veri Tabanı
	Simülasyonu (Kar_Sol_1)	Simülasyonu (Os_b_Sol_1)	Simülasyonu (Kos_Sol_1)
PVGIS	4. Versiyon	4. Versiyon	4. Versiyon
	<i>PVGIS-CMSAF</i> Veri Tabanı	<i>PVGIS-CMSAF</i> Veri Tabanı	<i>PVGIS-CMSAF</i> Veri Tabanı
PVGIS	Simülasyonu (Kar_Gis_1)	Simülasyonu (Os_b_Gis_1)	Simülasyonu (Kos_Gis_1)
	4. Versiyon	4. Versiyon	4. Versiyon
PVGIS	<i>PVGIS-Classic</i> Veri Tabanı	<i>PVGIS-Classic</i> Veri Tabanı	<i>PVGIS-Classic</i> Veri Tabanı
	Simülasyonu (Kar_Gis_2)	Simülasyonu (Os_b_Gis_2)	Simülasyonu (Kos_Gis_2)
PVGIS	5. Versiyon	5. Versiyon	5. Versiyon
	<i>PVGIS-CMSAF</i> Veri Tabanı	<i>PVGIS-CMSAF</i> Veri Tabanı	<i>PVGIS-CMSAF</i> Veri Tabanı
PVGIS	Versiyonu(Kar_Gis_3)	Versiyonu(Os_b_Gis_3)	Versiyonu(Kos_Gis_3)
	5. Versiyon	5. Versiyon	5. Versiyon
PVGIS	<i>PVGIS-SARAH</i> Veri Tabanı	<i>PVGIS-SARAH</i> Veri Tabanı	<i>PVGIS-SARAH</i> Veri Tabanı
	Versiyonu (Kar_Gis_4)	Versiyonu (Os_b_Gis_4)	Versiyonu (Kos_Gis_4)
PVGIS	5. Versiyon <i>PVGIS-ERA5</i>	5. Versiyon <i>PVGIS-ERA5</i>	5. Versiyon <i>PVGIS-ERA5</i>
	Veri Tabanı Versiyonu	Veri Tabanı Versiyonu	Veri Tabanı Versiyonu
PVGIS	(Kar_Gis_5)	(Os_b_Gis_5)	(Kos_Gis_5)
	5. Versiyon	5. Versiyon	5. Versiyon
PVGIS	<i>PVGIS-COSMO</i> Veri	<i>PVGIS-COSMO</i> Veri	<i>PVGIS-COSMO</i> Veri
	Tabanı Versiyonu	Tabanı Versiyonu	Tabanı Versiyonu
PVGIS	(Kar_Gis_6)	(Os_b_Gis_6)	(Kos_Gis_6)

Çizelge 5.2’de simülasyonlarda kullanılan programların adları, versiyonları, programlarda kullanılan meteorolojik veri tabanları ve simülasyonlardan elde edilen karşılaştırma değerleri özet olarak verilmiştir.

Çizelge 5.2. Karaman Belediyesi GES Tesisi için Yapılan Simülasyonlarda Karşılaştırılan Değerler

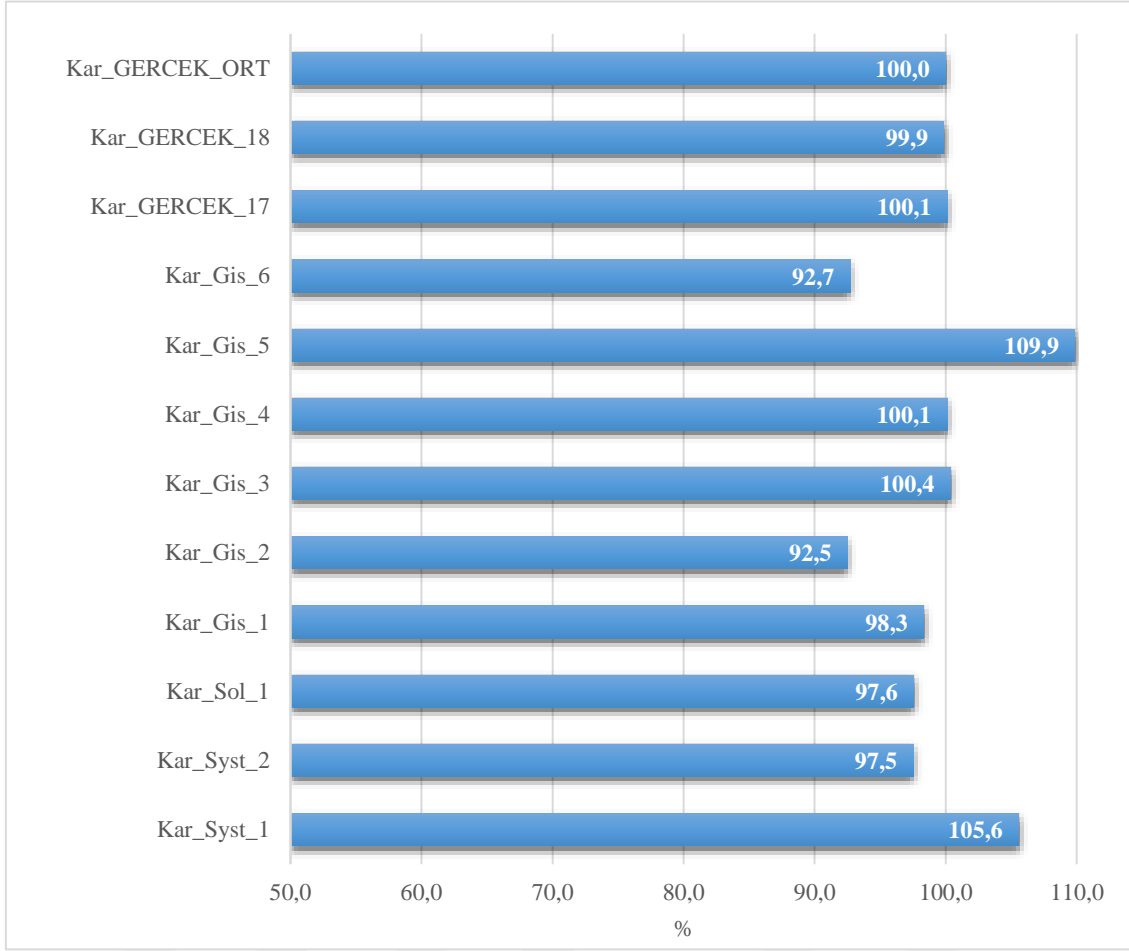
Simülasyon Numarası	Yazılım Versiyonu	Veritabanı	Karşılaştırılan Değerler				
			$E_{T,AY}$	$E_{T,YIL}$	Y_f	CF	R_p
Kar_Syst_1	PVSyst 6,4,3	Meteonorm 7.1	$E_{T,AY}$	$E_{T,YIL}$	Y_f	CF	R_p
Kar_Syst_2	PVSyst 6,4,3	PVGIS-CMSAF	$E_{T,AY}$	$E_{T,YIL}$	Y_f	CF	R_p
Kar_Sol_1	PVSOL 7.5	Meteonorm 7.1	$E_{T,AY}$	$E_{T,YIL}$	Y_f	CF	R_p
Kar_Gis_1	PVGIS 4	PVGIS-CMSAF	$E_{T,AY}$	$E_{T,YIL}$	Y_f	CF	R_p
Kar_Gis_2	PVGIS 4	PVGIS-Classic	$E_{T,AY}$	$E_{T,YIL}$	Y_f	CF	R_p
Kar_Gis_3	PVGIS 5	PVGIS-CMSAF	$E_{T,AY}$	$E_{T,YIL}$	Y_f	CF	R_p
Kar_Gis_4	PVGIS 5	PVGIS-SARAH	$E_{T,AY}$	$E_{T,YIL}$	Y_f	CF	R_p
Kar_Gis_5	PVGIS 5	PVGIS-ERA5	$E_{T,AY}$	$E_{T,YIL}$	Y_f	CF	R_p
Kar_Gis_6	PVGIS 5	PVGIS-COSMO	$E_{T,AY}$	$E_{T,YIL}$	Y_f	CF	R_p
Kar_GERCEK_17	2017 YILI SAYAÇ VERİLERİ		$E_{T,AY}$	$E_{T,YIL}$	Y_f	CF	R_p
Kar_GERCEK_18	2018 YILI SAYAÇ VERİLERİ		$E_{T,AY}$	$E_{T,YIL}$	Y_f	CF	R_p
Kar_GERCEK_ORT	2017-2018 YILLARI SAYAÇ VERİLERİ ORTALAMASI		$E_{T,AY}$	$E_{T,YIL}$	Y_f	CF	R_p

$E_{T,AY}$: Sistem Tarafından Şebekeye Verilen Aylık Net Enerji
 $E_{T,YIL}$: Sistem Tarafından Şebekeye Verilen Yıllık Net Enerji
 Y_f : Final Verim, CF : Kapasite Faktörü, R_p : Performans Oranı

Karaman Belediyesine ait GES tesisine ait yapılan dokuz adet simülasyon sonucunda elde edilen aylık enerji üretim değerleri ve yıllık enerji değerleri, tesisin 2017 ve 2018 yıllarında ürettiği aylık ve yıllık enerji üretim değerleri Çizelge 5.3’de gösterilmiştir. Tesise ait gerçekleşen iki yıllık enerji üretim değeri olduğu için karşılaştırma bu iki yılın ortalaması alınarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.3. Karaman Belediyesi GES Tesisi için Aylık Enerji Üretim Değerleri ve Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

	<i>PVSyst Meteonorm</i>	<i>PVSyst PVGIS CMSAF</i>	<i>PVSOL Meteonorm</i>	<i>PVGIS4 CMSAF</i>	<i>PVGIS4 Classic</i>	<i>PVGIS5 CMSAF</i>	<i>PVGIS5 SARAH</i>	<i>PVGIS5 ERA5</i>	<i>PVGIS5 COSMO</i>	<i>GERÇEK VERİLER 2017</i>	<i>GERÇEK VERİLER 2018</i>	<i>GERÇEK VERİLER ORTALAMA</i>	
	Karaman PVSyst_1	Karaman PVSyst_2	Karaman PVSOL_1	Karaman PVGIS_1	Karaman PVGIS_2	Karaman PVGIS_3	Karaman PVGIS_4	Karaman PVGIS_5	Karaman PVGIS_6	Karaman Gerçek_17	Karaman Gerçek_18	Karaman Gerçek_Ort	
Aylık Üretilen Enerji E _{T,AY} MWh	Ocak	99,3	83,2	94,6	83,6	95,9	85,6	82,9	110	88,5	70,0	65,4	67,7
	Şubat	111,9	95,8	103,5	95,5	101	101	85,9	131	109	129,9	112,8	121,3
	Mart	147,9	146,2	137,8	142	144	142	144	170	146	136,3	156,6	146,5
	Nisan	164,9	146,7	149,1	147	141	156	157	172	150	165,6	173,3	169,4
	Mayıs	176,6	169,4	161,7	166	156	169	172	176	157	169,5	160,2	164,8
	Haziran	178,6	174,3	164,0	176	158	178	179	174	156	182,6	191,5	187,1
	Temmuz	183,4	179,8	171,7	187	160	192	192	188	169	161,2	194,4	177,8
	Ağustos	191	178,8	175,1	187	156	193	192	189	166	170,5	205,7	188,1
	Eylül	176,3	165,3	163,6	168	150	171	170	174	147	175,2	177,0	176,1
	Ekim	156,3	140,7	140,1	140	135	139	139	155	120	152,2	119,0	135,6
	Kasım	120,8	108,7	114,5	109	99,7	110	111	128	95,1	108,9	92,3	100,6
	Aralık	98,7	79,1	93,0	80,6	85,8	80	87,5	112	82,4	88,9	58,1	73,5
Yıllık Üretilen Enerji E _{T,YIL} MWh	Toplam	1805,8	1668	1668,7	1681,7	1582,4	1716,6	1712,3	1879,0	1586,0	1712,8	1708,2	1710,5

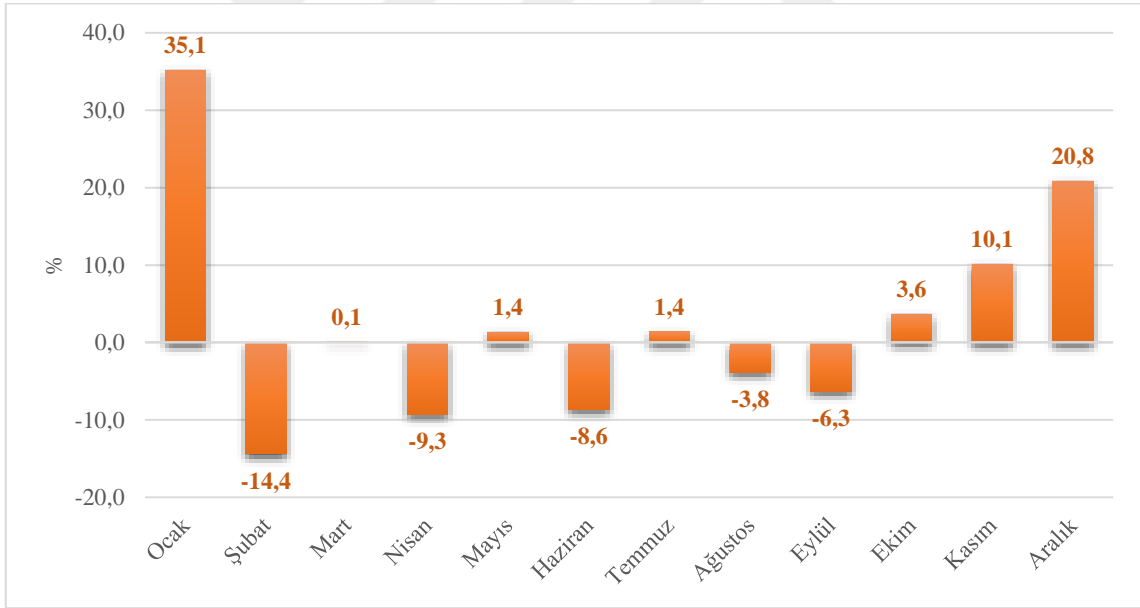


Şekil 5.1. Karaman Belediyesi GES Tesisi Yıllık Enerji Üretimi Endeks Değerleri

Karaman Belediyesi'ne ait GES tesisinin yıllık enerji üretim değerleri ve simülasyon sonuçlarının değerlendirilebilmesi için 2017 ve 2018 yıllarında üretilen enerjinin ortalaması referans alınmıştır. Şekil 5.1'de görüldüğü üzere gerçekleşen yıllık enerji üretim değerlerinin ortalaması referans alınarak diğer sonuçlar buna göre endekslenmiştir. Tesise ait simülasyon sonuçları değerlendirildiğinde aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmaktadır:

- a. Yapılan simülasyonların gerçek verilere çok yakın tahminler yaptığı görülmektedir. Yapılan simülasyonların %55'inde hata payı %3'ün altındadır. En büyük hata payının değeri ise %9,9'dur.
- b. Bu tesis için en başarılı tahmin değerleri, PVGIS yazılımının beşinci versiyonu tarafından ve CMSAF ile SARA meteorolojik veri tabanları kullanıldığında oluşmuştur. PVGIS5-CMSAF simülasyonunun hata sapması sadece %0,1 olurken PVGIS5-SARA simülasyonunun hata sapması ise %0,4 olmuştur.

- c. PVSyst yazılımının PVGIS-CMSAF meteorolojik veri tabanı ile yaptığı simülasyon tahmininin Meteororm veri tabanı ile yaptığı simülasyondan tahmininden daha başarılı olduğu görülmektedir. PVSyst yazılımında Meteororm veri tabanı ile yapılan tahminde %5,6 hata payı oluşurken PVGIS-CMSAF ile yapılan tahminde %2,5 hata payı oluşmuştur.
- d. PVSOL yazılımının Meteororm veri tabanı ile yaptığı simülasyonda hata payı %2,4 olmuştur. PVSOL yazılımı, PVSyst yazılımına göre aynı veri tabanı ile daha doğru bir tahmin sonucu ortaya çıkarmıştır.
- e. PVGIS yazılımının PVGIS-CMSAF veri tabanını kullanan dördüncü ve beşinci versiyonundaki tahmin değerleri birbirinden farklı çıkmıştır. Yazılımın beşinci versiyonunda kullanılan algoritma ile kullandığı CMSAF ile SARA meteorolojik veritabanları simülasyonlarda çok başarılı tahminler ortaya koymuştur. Yazılımın yeni versiyonunda hesaplama yöntemlerini geliştirdiği anlaşılmaktadır.



Şekil 5.2. Karaman Belediyesi GES Tesisi için Aylık Enerji Üretim Farkları

Tesisin aylık ürettiği enerji değerleri (Şekil 5.1) incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmaktadır:

- a. Aylık enerji üretimleri simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırıldığında hata payı ortalamasının %2,5 olduğu tespit edilmektedir. Bu sonuç, simülasyonlar ile hem yıllık hem de aylık enerji üretimlerinin gerçeğe çok yakın bir biçimde tahmin edebildiği anlamına gelmektedir.

- b. Yapılan dokuz simülasyonun aylık enerji üretim değerleri ortalamasına göre, Mart, Mayıs, Temmuz, Ağustos ve Ekim aylarında %5'in altında doğru bir tahmin elde edildiği görülmektedir.
- c. Simülasyon tahminleri Şubat, Nisan, Haziran ve Eylül aylarında daha az enerji üretileceğini tahmin etmiştir. Bu aylarda gerçekte daha fazla enerji üretilmiştir. Simülasyon tahminleri ile gerçek üretimdeki en fazla fark Şubat ayında gerçekleşmiştir.
- d. Simülasyonların Kasım, Aralık ve Ocak aylarında gerçek üretimden daha fazla enerji üretilebileceği tahmininde bulunduğu gözlemlenmektedir. Bu aylarda tahminler ile gerçek değerler arasındaki fark olağan farkın çok üzerinde kalmıştır. Bu farkın tesiste kar kayıplarından kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

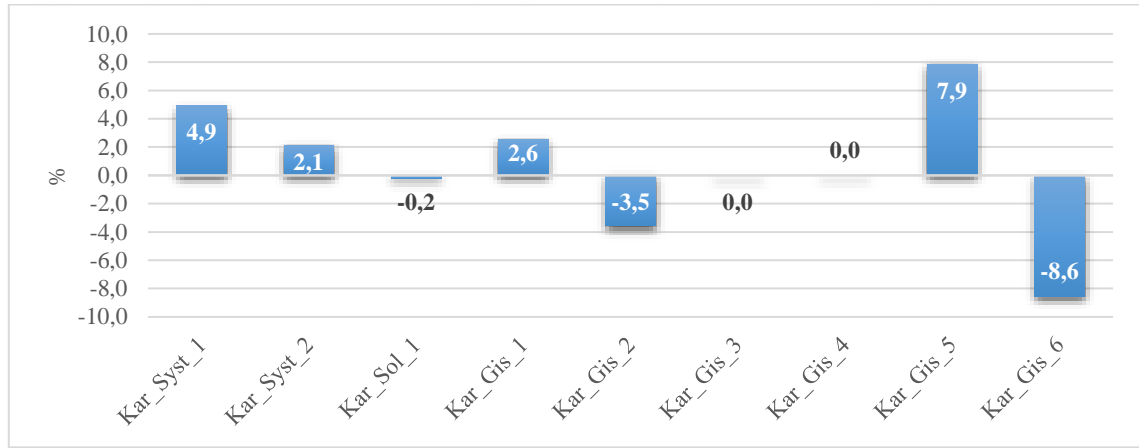
Tesisin performans analizi yapılabilmesi için öncelikle referans veriminin bilinmesi gerekir. Performans parametrelerinden ilki olan referans verim (Y_R) belli bir düzleme gelen toplam güneş ışınımının (H_t) referans ışınımına G (1 kW/m^2) oranıdır. Tesisin gerçek referans verimi pıranometre ile ölçülebilir. Simülasyon yapılan tesislerde modül üzerine düşen ışınımı ölçen pıranometrenin olmaması nedeniyle yıllık enerji üretiminde en yakın tahmini veren PVGIS5-SARAH veri tabanı ile gerçekleştirilen Kar_Gis_4 simülasyonunda hesaplanan modül üzerine düşen ışınım değeri referans alınacaktır. Bu simülasyonda hesaplanan modül üzerine düşen ışınım değeri 2.030 kWh/m^2 'dir. Karşılaştırmalarda bu değer gerçek değer olarak varsayılacaktır.

Çizelge 5.4. Karaman Belediyesi GES Tesisi Performans Parametreleri Karşılaştırması

	<i>Referans Verim</i> (kWh/m ²)	<i>Final Verim</i> (kWh/kWp/Yıl)	<i>Performans Oranı</i> (%)	<i>Kapasite Faktörü</i> (%)
Kar_Syst_1	2132	1670	78,3%	19,1%
Kar_Syst_2	2075	1542	74,3%	17,6%
Kar_Sol_1	2027	1543	76,1%	17,6%
Kar_Gis_1	2084	1555	74,6%	17,7%
Kar_Gis_2	1960	1463	74,6%	16,7%
Kar_Gis_3	2031	1587	78,1%	18,1%
Kar_Gis_4	2032	1583	77,9%	18,1%
Kar_Gis_5	2192	1737	79,3%	19,8%
Kar_Gis_6	1858	1466	78,9%	16,7%
Kar_GERCEK_ORT	2032	1581	77,8%	18,1%

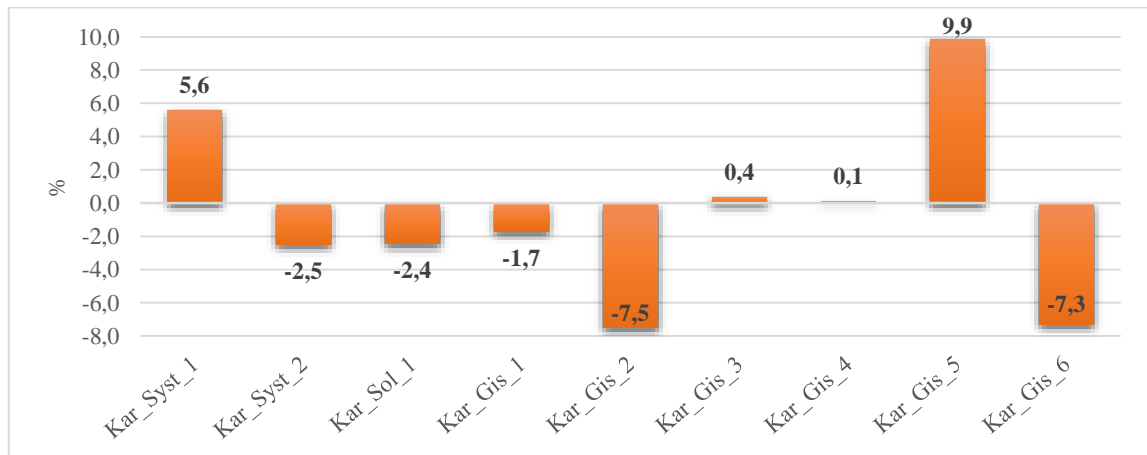
Tesisin gerçek performans analizi parametreleri ile simülasyonlarda bulunan performans parametreleri Çizelge 5.4’de görülmektedir. Simülasyonlarda bulunan değerlerin hata payları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

Şekil 5.3’de PVGIS5-SARAH veri tabanı ile gerçekleştirilen Kar_Gis_4 simülasyonunda hesaplanan modül üzerine düşen ışınım değeri referans alınarak bulunan **referans veriminin** (kWh/m²) simülasyonlarda bulunan referans verimlerine farkı görülmektedir. Buna göre en fazla farkın %8,6 ile PVGIS yazılımının beşinci versiyon PVGIS-COSMO veri tabanı simülasyonu olduğu görülmektedir. Bu farkı, %7,9 ile aynı yazılımın aynı versiyonunun PVGIS-ERA5 veri tabanı simülasyonu izlemektedir. Referans verimin bulunmasında simülasyonların mutlak değer hata farkı ortalaması %3 olmuştur.



Şekil 5.3. Karaman Belediyesi GES Tesisi için Referans Verim Farkları

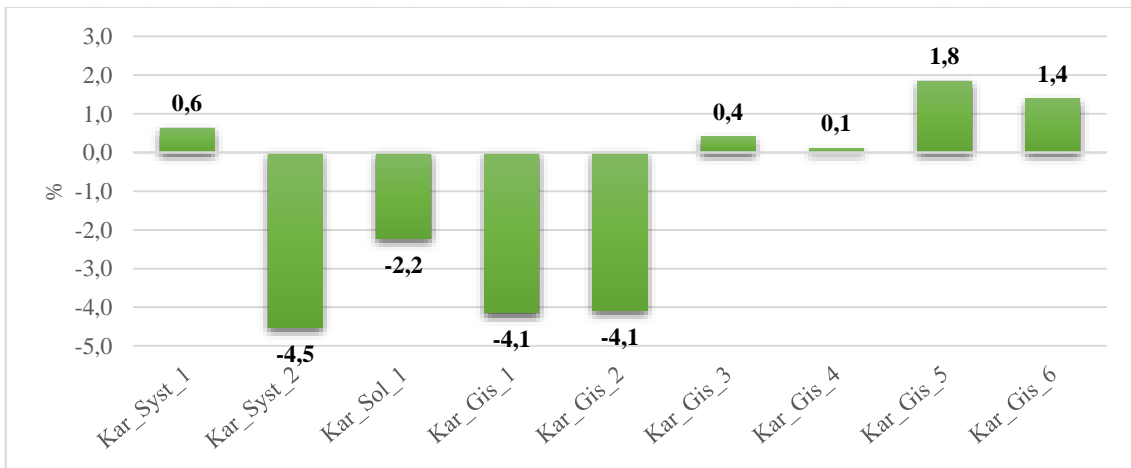
Şekil 5.4’de tesiste üretilen enerjinin kurulu güce oranı olarak ifade edilen **final veriminin** (kWh/kWp/Yıl) simülasyonlarda bulunan final verimlerine farkı görülmektedir.



Şekil 5.4. Karaman Belediyesi GES Tesisi için Final Verim Farkları

Buna göre en fazla farkın %9,9 ile PVGIS yazılımının beşinci versiyon PVGIS-ERA5 veri tabanı simülasyonu olduğu görülmektedir. Bu farkı, %7,5 ile aynı yazılımın dördüncü versiyonunun PVGIS-Classic veri tabanı simülasyonu izlemektedir. Final verimin bulunmasında simülasyonların hata farkı ortalaması %0,6 olmuştur. Gerçek final verim ile simülasyonlarda tahmin edilen final verimler arasındaki fark yüzdeleri ile gerçek ortalama yıllık üretilen enerji miktarı ile simülasyonlarda tahmin edilen yıllık üretilen enerji arasındaki fark yüzdeleri birbiriyle aynıdır.

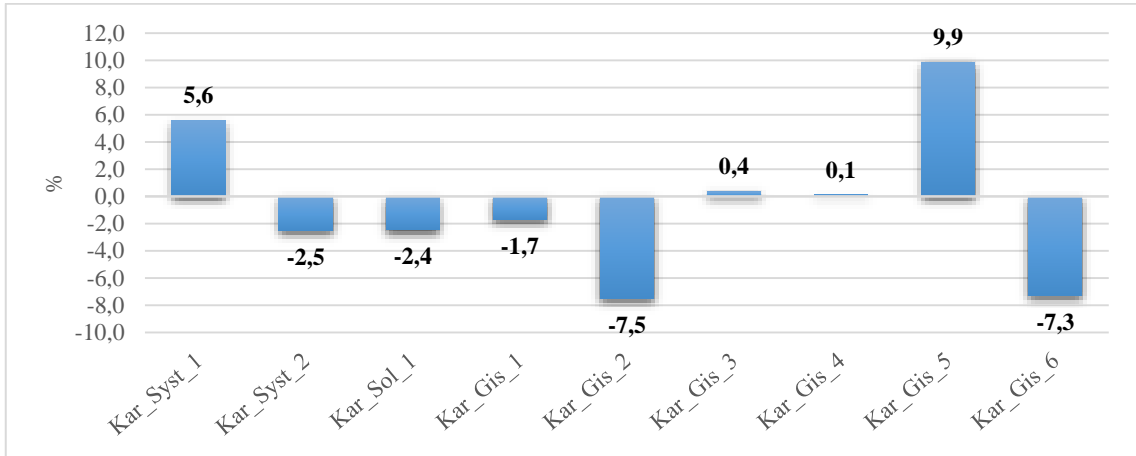
Şekil 5.5’de tesisin final verimle referans verimi oranı olan **performans oranının** (%) simülasyonlarda bulunan **performans oranları** ile farkı görülmektedir. Performans oranı tahminlerinde en iyi sonucu %0,1 hata payı ile PVGIS yazılımının beşinci versiyonunda SARAH veri tabanıyla yapılan simülasyon vermiştir. PVGIS yazılımının beşinci versiyonu ile yapılan ve CMSAF veri tabanı kullanılan simülasyonda performans oranı %0,4 hata payı ile tahmin edilerek ikinci en az hata payı tahmini yapan simülasyon olmuştur. PVSyst yazılımının Meteonorm veri tabanı kullanıldığı simülasyon ise diğer parametre tahminlerinden daha başarılı performans oranı tahminiyle üçüncü en az hata payıyla performans oranı bulmuştur.



Şekil 5.5. Karaman Belediyesi GES Tesisi için Performans Oranı Farkları

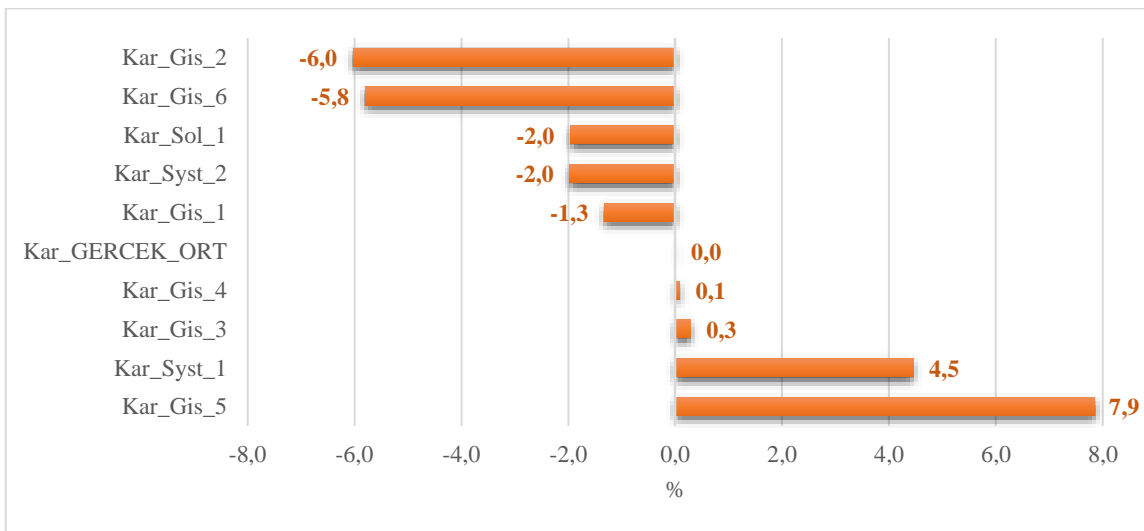
Şekil 5.6’da tesisin yıllık ürettiği enerjinin teorik olarak üretebileceği maksimum enerji miktarına oranı olan **kapasite faktörünün** (%) simülasyonlarda bulunan **kapasite faktörleri** ile farkı görülmektedir. Kapasite faktörü tahminlerinde en iyi sonucu %0,1 hata payı ile PVGIS yazılımının beşinci versiyonunda SARAH veri tabanıyla yapılan simülasyon vermiştir. PVGIS yazılımının beşinci versiyonu ile yapılan ve CMSAF veri

tabanı kullanılan simülasyonda kapasite faktörü %0,4 hata payı ile tahmin edilerek ikinci en az hata payı tahmini yapan simülasyon olmuştur.



Şekil 5.6. Karaman Belediyesi GES Tesisi için Kapasite Faktörü Farkları

Şekil 5.7’de performans analizi için kullanılan tüm parametreler ile üretilen yıllık enerji değerleri için simülasyon tahminlerinin gerçek değerlere olan hata payları ortalaması görülmektedir. Buna göre yıllık üretilen enerji dahil performans parametrelerinde en yakın tahmini %0,1 ile PVGIS yazılımının beşinci versiyonu ve PVGIS-SARAH veri tabanı vermiştir. En hatalı sonucu ise yine aynı yazılımın aynı versiyonunun PVGIS-ERA5 veri tabanı vermiştir. PVSyst ve PVSOL yazılımları tüm parametrelerde %3’ün altında hata payı vererek başarılı bir tahmin sonucu ortaya koymuştur.



Şekil 5.7. Karaman Belediyesi GES Tesisi için Tüm Parametrelerdeki Hata Payları

5.2. Konya OSB 500 kW Güneş Enerjisi Santrali

Çizelge 5.5’de simülasyonlarda kullanılan programların adları, versiyonları, programlarda kullanılan meteorolojik veri tabanları ve simülasyonlarda elde edilen karşılaştırma değerleri özet olarak verilmiştir.

Çizelge 5.5. Konya OSB GES Tesisi için Yapılan Simülasyonlarda Karşılaştırılan Değerler

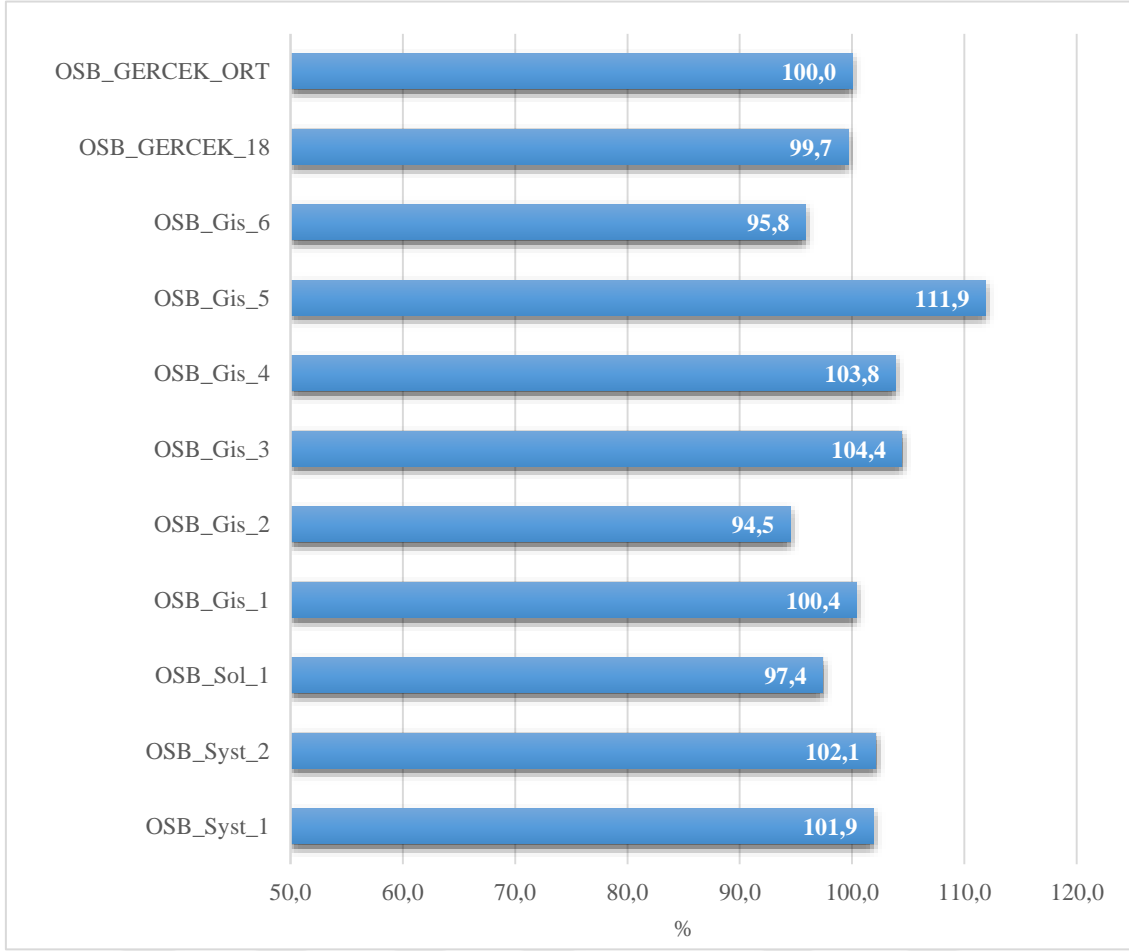
Simülasyon Numarası	Yazılım Versiyonu	Veritabanı	Karşılaştırılan Değerler				
OSB_Syst_1	PVSyst 6,4,3	Meteonorm 7.1	$E_{T,AY}$	$E_{T,YIL}$	Y_f	CF	R_p
OSB_Syst_2	PVSyst 6,4,3	PVGIS-CMSAF	$E_{T,AY}$	$E_{T,YIL}$	Y_f	CF	R_p
OSB_Sol_1	PVSOL 7.5	Meteonorm 7.1	$E_{T,AY}$	$E_{T,YIL}$	Y_f	CF	R_p
OSB_Gis_1	PVGIS 4	PVGIS-CMSAF	$E_{T,AY}$	$E_{T,YIL}$	Y_f	CF	R_p
OSB_Gis_2	PVGIS 4	PVGIS-Classic	$E_{T,AY}$	$E_{T,YIL}$	Y_f	CF	R_p
OSB_Gis_3	PVGIS 5	PVGIS-CMSAF	$E_{T,AY}$	$E_{T,YIL}$	Y_f	CF	R_p
OSB_Gis_4	PVGIS 5	PVGIS-SARAH	$E_{T,AY}$	$E_{T,YIL}$	Y_f	CF	R_p
OSB_Gis_5	PVGIS 5	PVGIS-ERA5	$E_{T,AY}$	$E_{T,YIL}$	Y_f	CF	R_p
OSB_Gis_6	PVGIS 5	PVGIS-COSMO	$E_{T,AY}$	$E_{T,YIL}$	Y_f	CF	R_p
OSB_GERCEK_18	2017 YILI SAYAÇ VERİLERİ		$E_{T,AY}$	$E_{T,YIL}$	Y_f	CF	R_p
OSB_GERCEK_ORT	2017-2018-2019 YILLARI SAYAÇ VERİLERİ ORTALAMASI		$E_{T,AY}$	$E_{T,YIL}$	Y_f	CF	R_p

$E_{T,AY}$: Sistem Tarafından Şebekeye Verilen Aylık Net Enerji
 $E_{T,YIL}$: Sistem Tarafından Şebekeye Verilen Yıllık Net Enerji
 Y_f : Final Verim, CF : Kapasite Faktörü, R_p : Performans Oranı

Konya Organize Sanayi Müdürlüğüne ait GES tesisine ait yapılan dokuz simülasyon sonucunda elde edilen aylık enerji üretim değerleri ve yıllık enerji değerleri, tesisin 2018 yılında ürettiği aylık ve yıllık enerji üretim değerleri ve tesisin 2017-2018-2019 yıllarında ürettiği aylık ortalama enerji değerleri Çizelge 5.6’da gösterilmiştir. Tesiste bazı aylara ait iki yıllık enerji üretim değeri olduğu için karşılaştırma bu iki değerin ortalamasına göre yapılmıştır.

Çizelge 5.6. Konya OSB GES Tesisi için Aylık Enerji Üretim Değerleri ve Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

	<i>PVSyst Meteonorm</i>	<i>PVSyst PVGIS CMSAF</i>	<i>PVSOL Meteonorm</i>	<i>PVGIS4 CMSAF</i>	<i>PVGIS4 Classic</i>	<i>PVGIS5 CMSAF</i>	<i>PVGIS5 SARAH</i>	<i>PVGIS5 ERA5</i>	<i>PVGIS5 COSMO</i>	<i>GERÇEK VERİLER 2018</i>	<i>GERÇEK VERİLER ORTALAMA</i>	
	Konya OSB PVSyst_1	Konya OSB PVSyst_2	Konya OSB PVSOL_1	Konya OSB PVGIS_1	Konya OSB PVGIS_2	Konya OSB PVGIS_3	Konya OSB PVGIS_4	Konya OSB PVGIS_5	Konya OSB PVGIS_6	Konya OSB Gerçek_18	Konya OSB Gerçek_Ort	
Aylık Üretilen Enerji E _{T,AY} MWh	Ocak	46,7	40,7	43,6	40,2	45,2	43,5	39	56,6	44,3	37,3	38,4
	Şubat	56,4	51,9	52,0	48,8	48,4	52,7	45,8	65,4	53,8	55,0	53,9
	Mart	73,3	78,3	69,6	74,1	72,7	74,9	74,1	83,9	73,4	60,7	64,7
	Nisan	75,0	76,0	71,1	73,9	71,6	81,1	82	87,1	77,2	83,1	83,1
	Mayıs	85,4	84,0	83,7	83,1	80,9	86,3	88,4	91,1	82,5	83,5	83,5
	Haziran	88,5	90,2	85,5	89,9	82,7	90,9	93,6	90,4	82,6	89,7	89,7
	Temmuz	93,1	97,0	91,5	98	84,2	101	102	99,2	90,1	93,4	93,4
	Ağustos	92,9	96,2	89,8	96,7	81,1	100	100	96,5	87,6	101,9	96,2
	Eylül	83,4	85,7	80,9	84,5	78,3	86,9	87,5	86,9	73,6	83,4	82,6
	Ekim	68,9	72,6	64,5	70,4	67	71,5	70,9	74,5	60,8	74,6	71,6
	Kasım	56,4	54,4	51,9	53,6	48,3	56,5	56,2	62,7	47,8	48,2	51,9
	Aralık	44,3	39,0	41,9	38,2	40,9	40,5	41,3	54,4	39,2	34,5	39,2
Yıllık Üretilen Enerji E _{T,YIL} MWh	Toplam	864,3	866,1	826,0	851,4	801,3	885,8	880,8	948,7	812,9	845,2	848,2



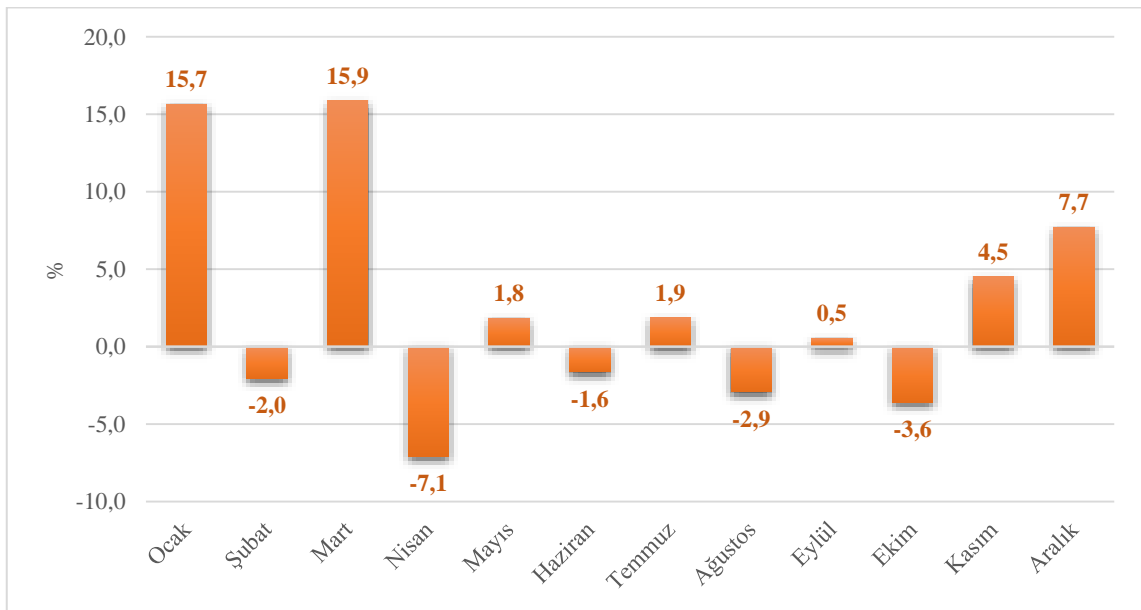
Şekil 5.8. Konya OSB GES Tesisi için Yıllık Enerji Üretimi Endeks Değerleri

Konya OSB'ye ait GES tesisinin yıllık enerji üretim değerleri ve simülasyon sonuçlarının değerlendirilebilmesi için 2017, 2018 ve 2019 yıllarında üretilen enerjinin ortalaması referans alınmıştır. Şekil 5.8'de görüldüğü üzere gerçekleşen yıllık enerji üretim değerlerinin ortalaması referans alınarak diğer sonuçlar buna göre endekslenmiştir. Tesise ait simülasyon sonuçları değerlendirildiğinde aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmaktadır:

- Yapılan simülasyonların gerçek verilere çok yakın tahminler yaptığı görülmektedir. Yapılan simülasyonların %45'inde hata payı %3'ün altında, %78'inde ise hata payı %5'in altındadır. En büyük hata payının değeri ise %11,9'dur.
- Bu tesis için en başarılı tahmin değeri, PVGIS yazılımının dördüncü versiyonu tarafından ve CMSAF meteorolojik veri tabanları kullanıldığında oluşmuştur. PVGIS4-CMSAF simülasyonun hata sapması sadece %0,4 olurken PVSyst

yazılımının Meteororm veri tabanı kullandığı simülasyonun hata sapması ise %1,9 olmuştur.

- c. PVSyst yazılımının Meteororm meteorolojik veri tabanıyla yaptığı simülasyon tahminin PVGIS-CMSAF veri tabanıyla yaptığı simülasyon tahmininden daha başarılı olduğu görülmektedir. PVSyst yazılımında Meteororm veri tabanı ile yapılan tahminde %1,9 hata payı oluşurken PVGIS-CMSAF ile yapılan tahminde %2,1 hata payı oluşmuştur.
- d. PVSOL yazılımının Meteororm veri tabanıyla yaptığı simülasyonda hata payı %2,6 olmuştur. PVSyst yazılımı, PVSOL yazılımına göre aynı veri tabanı ile daha doğru bir tahmin sonucu ortaya çıkarmıştır.
- e. PVGIS yazılımının PVGIS-CMSAF veri tabanını kullanan dördüncü ve beşinci versiyonundaki tahmin değerleri birbirinden farklı çıkmıştır. Yazılımın dördüncü versiyonunda kullanılan algoritma ile kullandığı CMSAF meteorolojik veri tabanı simülasyonlarda çok başarılı olmuştur. Karaman Belediyesi GES tesisinde çok başarılı tahmin yapan beşinci versiyon algoritmalarının Konya OSB GES tesisinde aynı başarılı tahmini yapamadığı görülmüştür.
- f. Bu tesis için PVSyst ve PVSOL yazılımları daha başarılı tahminler üretmiştir.



Şekil 5.9. Konya OSB GES Tesisi için Aylık Enerji Üretim Farkları

Tesisin aylık ürettiği enerji değerleri (Şekil 5.9) incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmaktadır:

- a. Aylık enerji üretimleri simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırıldığında hata payı ortalamasının %2,6 olduğu tespit edilmektedir. Bu sonuç, simülasyonlar ile hem yıllık hem de aylık enerji üretimlerinin gerçeğe çok yakın bir biçimde tahmin edebildiği anlamına gelmektedir.
- b. Yapılan dokuz simülasyonun aylık enerji üretim değerleri ortalamasına göre, Şubat, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim ve Kasım aylarında %5'in altında doğru bir tahmin elde edildiği görülmektedir.
- c. Simülasyon tahminleri Şubat, Nisan, Haziran, Ağustos ve Ekim aylarında daha az enerji üretileceğini tahmin etmiştir. Bu aylarda gerçekte daha fazla enerji üretilmiştir. Simülasyonlar tahminleri ile gerçek üretimdeki en fazla fark Nisan ayında gerçekleşmiştir.
- d. Simülasyonların Kasım, Aralık, Ocak ve Mart aylarında gerçek üretimden daha fazla enerji üretilebileceği tahmininde bulunduğu gözlemlenmektedir. Bu aylarda tahminler ile gerçek değerler arasındaki fark olağan farkın çok üzerinde kalmıştır. Bu farkın tesiste kar kayıplarından kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

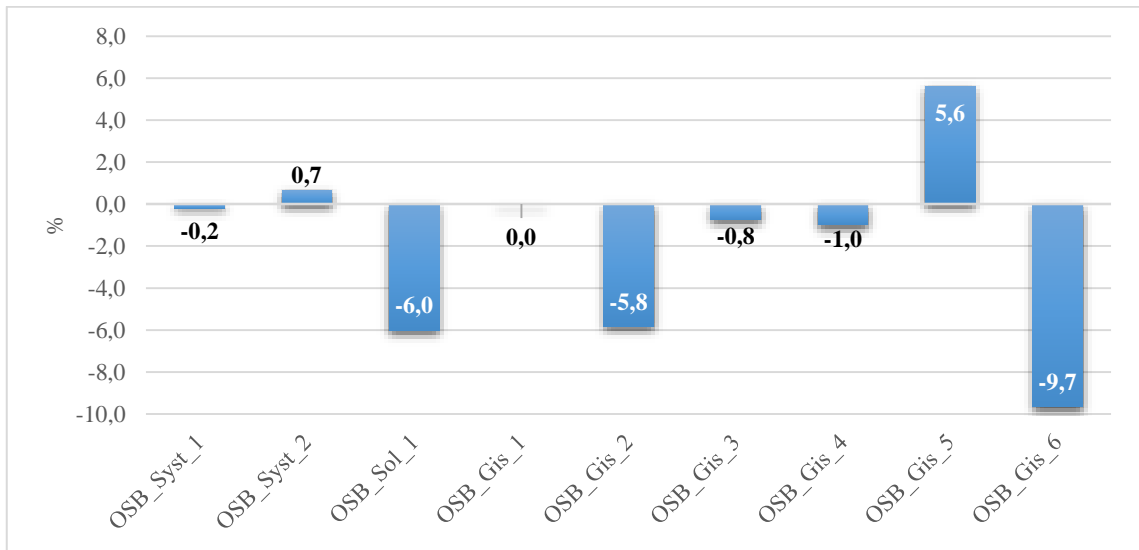
Tesisin performans analizi yapılabilmesi için öncelikle referans veriminin bilinmesi gerekir. Performans parametrelerinden ilki olan referans verim (Y_R) belli bir düzleme gelen toplam güneş ışınımının (H_t) referans ışınımına G (1 kW/m^2) oranıdır. Tesisin gerçek referans verimi pıranometre ile ölçülebilir. Simülasyon yapılan tesislerde modül üzerine düşen ışınımı ölçen pıranometrenin olmaması nedeniyle yıllık enerji üretiminde en yakın tahmini veren PVGIS4-CMSAF veri tabanı ile gerçekleştirilen OSB_Gis_1 simülasyonunda hesaplanan modül üzerine düşen ışınım değeri referans alınacaktır. Bu simülasyonda hesaplanan modül üzerine düşen ışınım değeri 2.000 kWh/m^2 'dir. Karşılaştırmalarda bu değer gerçek değer olarak varsayılacaktır.

Çizelge 5.7. Konya OSB GES Tesisi Performans Parametreleri Karşılaştırması

	Referans Verim (kWh/m ²)	Final Verim (kWh/kWp/Yıl)	Performans Oranı (%)	Kapasite Faktörü (%)
OSB_Syst_1	1996	1511	75,7%	17,2%
OSB_Syst_2	2013	1514	75,2%	17,3%
OSB_Sol_1	1880	1444	76,8%	16,5%
OSB_Gis_1	2000	1488	74,4%	17,0%
OSB_Gis_2	1883	1401	74,4%	16,0%
OSB_Gis_3	1985	1549	78,0%	17,7%
OSB_Gis_4	1980	1540	77,8%	17,6%
OSB_Gis_5	2112	1659	78,5%	18,9%
OSB_Gis_6	1807	1421	78,6%	16,2%
OSB_GERCEK_ORT	2000	1483	74,1%	16,9%

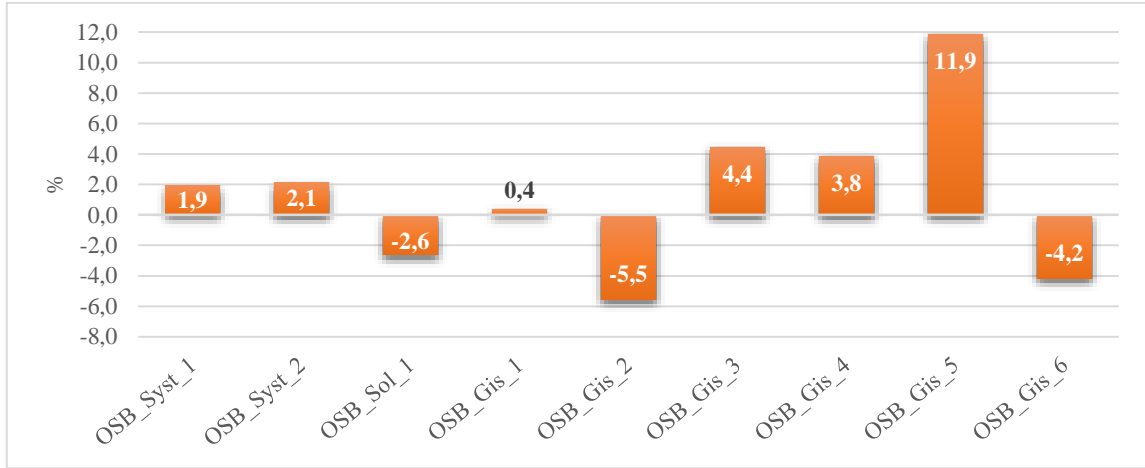
Tesisin gerçek performans analizi parametreleri ile simülasyonlarda bulunan performans parametreleri Çizelge 5.7’de görülmektedir. Simülasyonlarda bulunan değerlerin hata payları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

Şekil 5.10’da PVGIS4-CMSAF veri tabanı ile gerçekleştirilen OSB_Gis_1 simülasyonunda hesaplanan modül üzerine düşen ışınım değeri referans alınarak bulunan **referans veriminin** (kWh/m²) simülasyonlarda bulunan referans verimlerine farkı görülmektedir. Buna göre en fazla farkın %9,7 ile PVGIS yazılımının beşinci versiyon PVGIS-COSMO veri tabanı simülasyonu olduğu görülmektedir. Bu farkı, %6,0 ile PVSOL yazılımının Meteororm veri tabanı simülasyonu izlemektedir. Referans verimin bulunmasında simülasyonların mutlak değer hata farkı ortalaması %2,9 olmuştur.



Şekil 5.10. Konya OSB GES Tesisi için Referans Verim Farkları

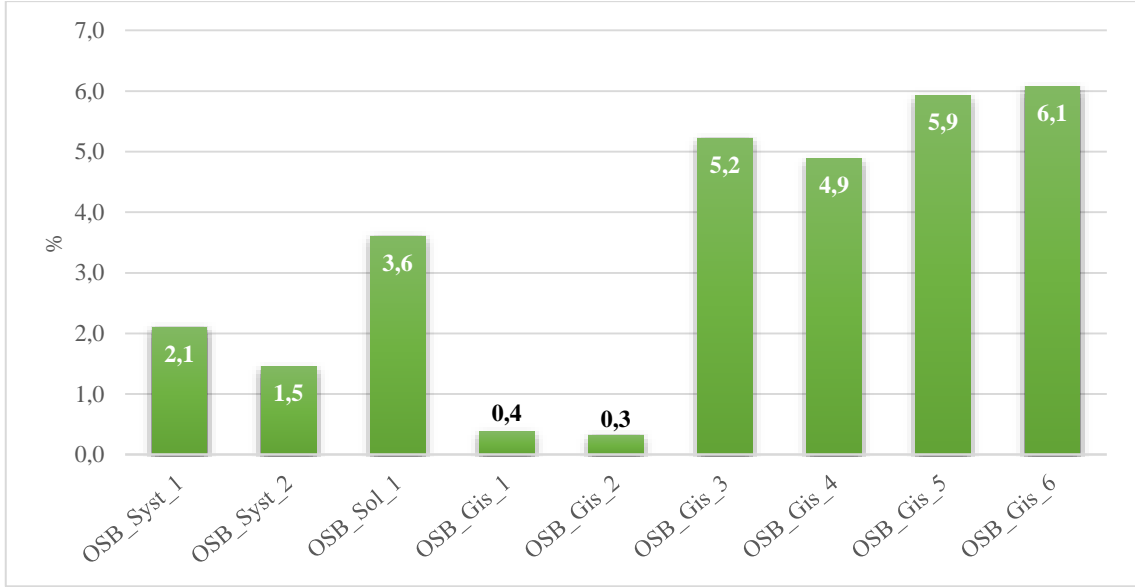
Şekil 5.11’de tesiste üretilen enerjinin kurulu güce oranı olarak ifade edilen **final veriminin** (kWh/kWp/Yıl) simülasyonlarda bulunan final verimlerine farkı görülmektedir.



Şekil 5.11. Konya OSB GES Tesisi için Final Verim Farkları

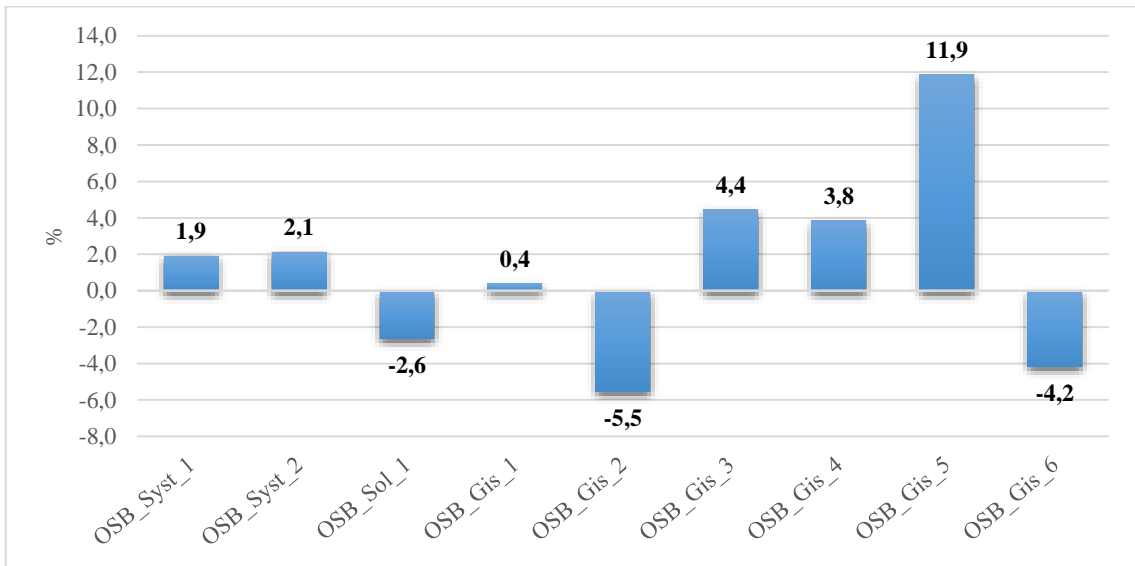
Buna göre en fazla farkın %11,9 ile PVGIS yazılımının beşinci versiyon PVGIS-ERA5 veri tabanı simülasyonu olduğu görülmektedir. Bu farkı, %-5,5 ile aynı yazılımın dördüncü versiyonunun PVGIS-Classic veri tabanı simülasyonu izlemektedir. Final verimin bulunmasında simülasyonların hata farkı ortalaması %1,4 olmuştur. Gerçek final verim ile simülasyonlarda tahmin edilen final verimler arasındaki fark yüzdeleri ile gerçek ortalama yıllık üretilen enerji miktarı ile simülasyonlarda tahmin edilen yıllık üretilen enerji arasındaki fark yüzdeleri birbiriyle aynıdır.

Şekil 5.12’de tesisin final verimle referans verimi oranı olan **performans oranının** (%) simülasyonlarda bulunan **performans oranları** ile farkı görülmektedir. Performans oranı tahminlerinde en iyi sonucu %0,3 hata payı ile PVGIS yazılımının dördüncü versiyonunda Classic veri tabanı ile yapılan simülasyon vermiştir. PVGIS yazılımının dördüncü versiyonu ile yapılan ve CMSAF veri tabanı kullanılan simülasyonda performans oranı %0,4 hata payı ile tahmin edilerek ikinci en az hata payı tahmini yapan simülasyon olmuştur. Bu tesis için yapılan performans oranı tahminlerinde simülasyonlar hep daha fazla tahminlerde bulunmuştur. Saha ile ilgili yapılan tüm tahmin parametreleri içinde en fazla hata payının performans oranında çıkmıştır. Performans oranı tahminlerinde mutlak değer hata payı ortalaması %3,3 olmuştur.



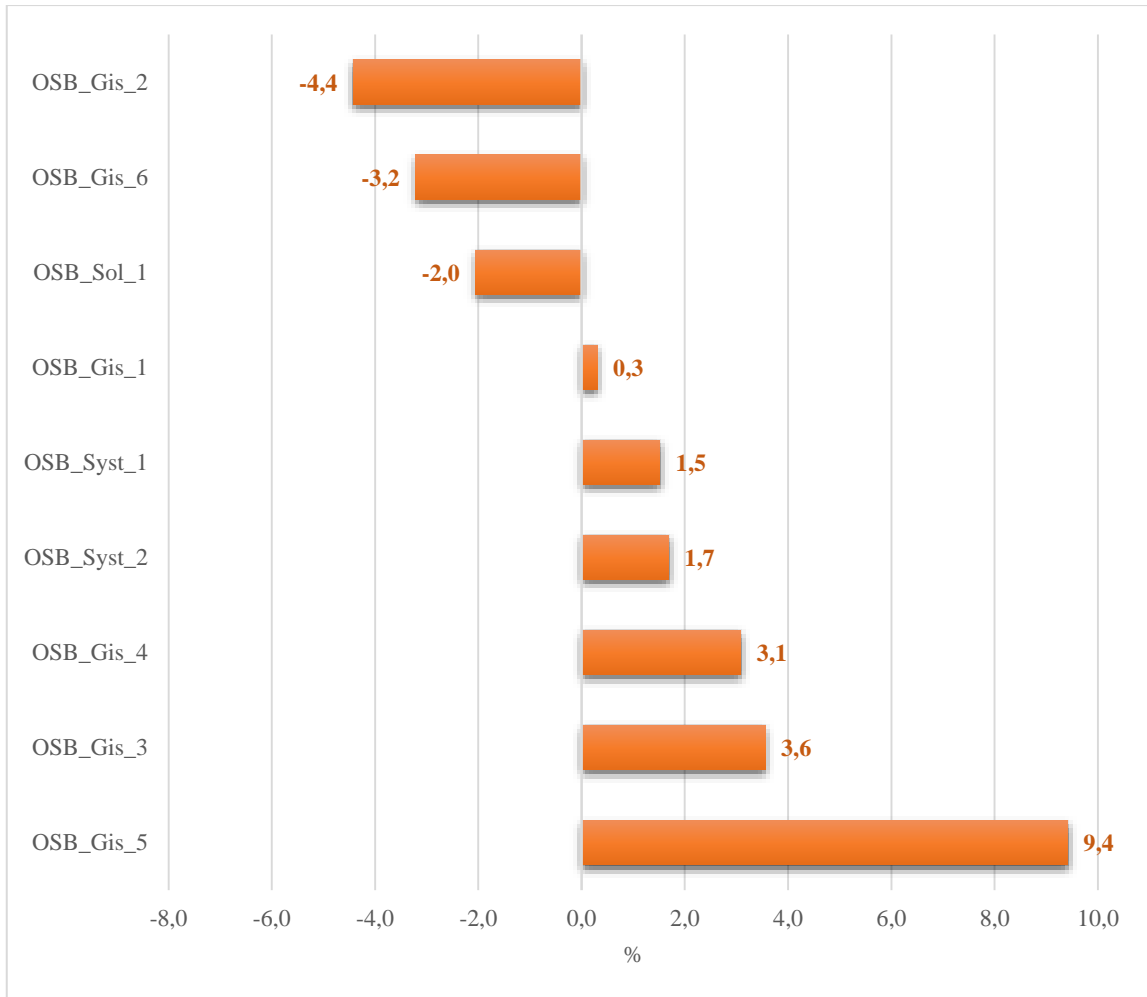
Şekil 5.12. Konya OSB GES Tesisi için Performans Oranı Farkları

Şekil 5.13’de tesisin yıllık ürettiği enerjinin teorik olarak üretebileceği maksimum enerji miktarına oranı olan **kapasite faktörünün** (%) simülasyonlarda bulunan **kapasite faktörleri** ile farkı görülmektedir. Kapasite faktörü tahminlerinde en iyi sonucu %0,4 hata payı ile PVGIS yazılımının dördüncü versiyonunda CMSAF veri tabanı ile yapılan simülasyon vermiştir. PVSyst yazılımının Meteonorm veri tabanı kullanılan simülasyonda kapasite faktörü %1,9 hata payı ile tahmin edilerek ikinci en az hata payı tahmini yapan simülasyon olmuştur.



Şekil 5.13. Konya OSB GES Tesisi için Kapasite Faktörü Farkları

Şekil 5.14’de performans analizi için kullanılan tüm parametreler ile üretilen yıllık enerji değerleri için simülasyon tahminlerinin gerçek değerlere olan hata payları ortalaması görülmektedir. Buna göre yıllık üretilen enerji dahil performans parametrelerinde en yakın tahmini %0,3 ile PVGIS yazılımının dördüncü versiyonu ve PVGIS-CMSAF veri tabanı vermiştir. En hatalı sonucu ise yine aynı yazılımın aynı beşinci versiyonunun PVGIS-ERA5 veri tabanı vermiştir. PVSyst ve PVSOL yazılımları tüm parametrelerde %2’nin altında hata payı vererek başarılı bir tahmin sonucu ortaya koymuştur.



Şekil 5.14. Konya OSB GES Tesisi için Tüm Parametrelerdeki Hata Payları

5.3. KOSKİ 250 kW Güneş Enerjisi Santrali

Çizelge 5.8’de simülasyonlarda kullanılan programların adları, versiyonları, programlarda kullanılan meteorolojik veri tabanları ve simülasyonlarda elde edilen karşılaştırma değerleri özet olarak verilmiştir.

Çizelge 5.8. KOSKİ GES Tesisi için Yapılan Simülasyonlarda Karşılaştırılan Değerler

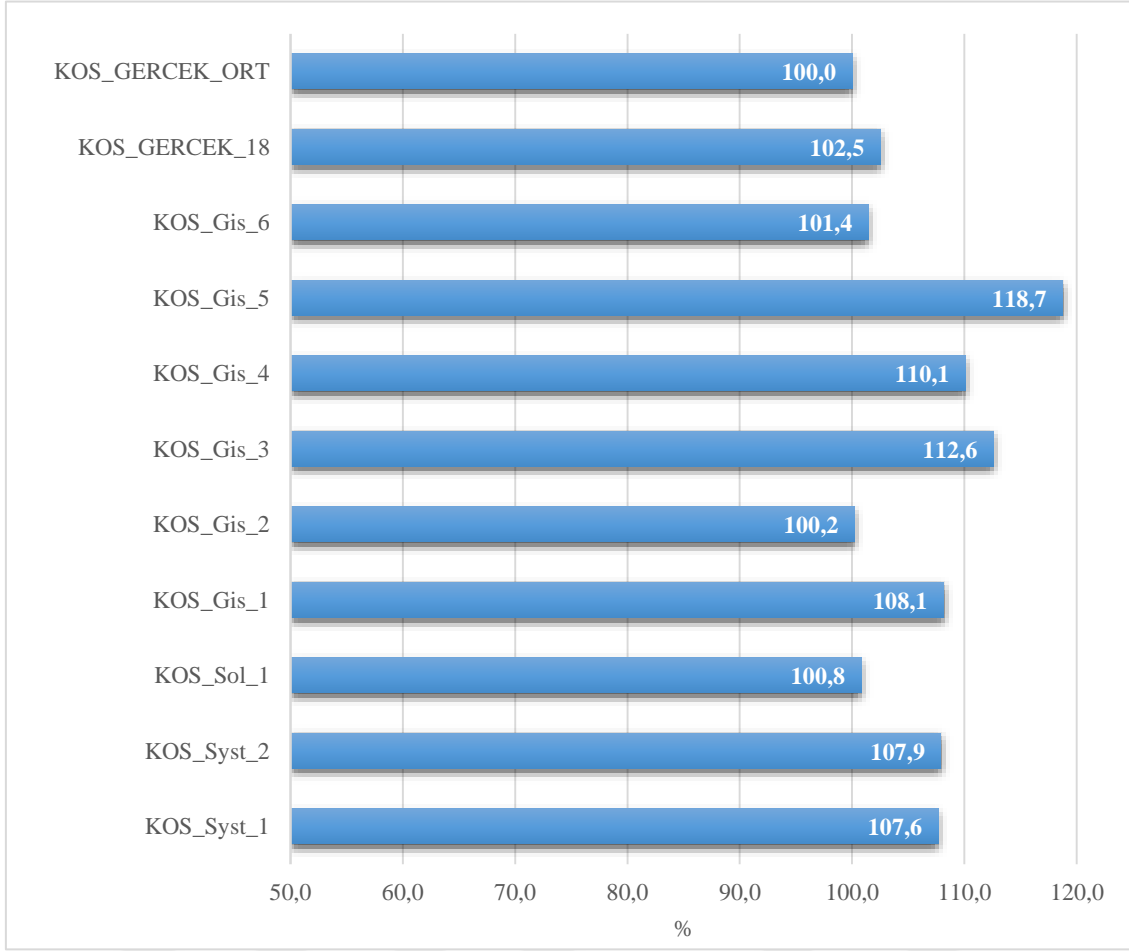
Simülasyon Numarası	Yazılım Versiyonu	Veritabanı	Karşılaştırılan Değerler				
KOS_Syst_1	PVSyst 6,4,3	Meteonorm 7.1	$E_{T,AY}$	$E_{T,YIL}$	Y_f	CF	R_p
KOS_Syst_2	PVSyst 6,4,3	PVGIS-CMSAF	$E_{T,AY}$	$E_{T,YIL}$	Y_f	CF	R_p
KOS_Sol_1	PVSOL 7.5	Meteonorm 7.1	$E_{T,AY}$	$E_{T,YIL}$	Y_f	CF	R_p
KOS_Gis_1	PVGIS 4	PVGIS-CMSAF	$E_{T,AY}$	$E_{T,YIL}$	Y_f	CF	R_p
KOS_Gis_2	PVGIS 4	PVGIS-Classic	$E_{T,AY}$	$E_{T,YIL}$	Y_f	CF	R_p
KOS_Gis_3	PVGIS 5	PVGIS-CMSAF	$E_{T,AY}$	$E_{T,YIL}$	Y_f	CF	R_p
KOS_Gis_4	PVGIS 5	PVGIS-SARAH	$E_{T,AY}$	$E_{T,YIL}$	Y_f	CF	R_p
KOS_Gis_5	PVGIS 5	PVGIS-ERA5	$E_{T,AY}$	$E_{T,YIL}$	Y_f	CF	R_p
KOS_Gis_6	PVGIS 5	PVGIS-COSMO	$E_{T,AY}$	$E_{T,YIL}$	Y_f	CF	R_p
KOS_GERCEK_18	2018 YILI SAYAÇ VERİLERİ		$E_{T,AY}$	$E_{T,YIL}$	Y_f	CF	R_p
KOS_GERCEK_ORT	2017-2018-2019 YILLARI SAYAÇ VERİLERİ ORTALAMASI		$E_{T,AY}$	$E_{T,YIL}$	Y_f	CF	R_p

$E_{T,AY}$: Sistem Tarafından Şebekeye Verilen Aylık Net Enerji
 $E_{T,YIL}$: Sistem Tarafından Şebekeye Verilen Yıllık Net Enerji
 Y_f : Final Verim, CF : Kapasite Faktörü, R_p : Performans Oranı

KOSKİ GES tesisine ait yapılan dokuz simülasyon sonucunda elde edilen aylık enerji üretim değerleri ve yıllık enerji değerleri, tesisin 2018 yılında ürettiği aylık ve yıllık enerji üretim değerleri ve tesisin 2017-2018-2019 yıllarında ürettiği aylık ortalama enerji değerleri Çizelge 5.9’de gösterilmiştir. Tesiste bazı aylara ait iki yıllık enerji üretim değeri olduğu için karşılaştırma bu iki değerlerin ortalamasına göre yapılmıştır.

Çizelge 5.9. KOSKİ GES Tesisi için Aylık Enerji Üretim Değerleri ve Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

		<i>PVSyst Meteonorm</i>	<i>PVSyst PVGIS CMSAF</i>	<i>PVSOL Meteonorm</i>	<i>PVGIS4 CMSAF</i>	<i>PVGIS4 Classic</i>	<i>PVGIS5 CMSAF</i>	<i>PVGIS5 SARAH</i>	<i>PVGIS5 ERA5</i>	<i>PVGIS5 COSMO</i>	<i>GERÇEK VERİLER 2018</i>	<i>GERÇEK VERİLER ORTALAMA</i>
		KOSKİ PVSyst_1	KOSKİ PVSyst_2	KOSKİ PVSOL_1	KOSKİ PVGIS_1	KOSKİ PVGIS_2	KOSKİ PVGIS_3	KOSKİ PVGIS_4	KOSKİ PVGIS_5	KOSKİ PVGIS_6	KOSKİ Gerçek_18	KOSKİ Gerçek_Ort
Aylık Üretilen Enerji $E_{T,AY}$ MWh	Ocak	24,2	21,4	22,6	21,6	23,8	23,8	20,9	29,7	23,3	17,2	18,8
	Şubat	28,8	26,6	26,5	25,7	25,1	27,8	24,3	34	27,9	26,6	25,4
	Mart	37,1	38,9	34,7	38,6	36,9	38,8	37,7	42,7	37,4	32,9	36,2
	Nisan	37,2	38,3	34,7	38,3	35,8	41,3	40,7	43,5	38,7	47,2	41,8
	Mayıs	42,3	42,1	40,0	41,9	39,9	43,5	43,4	44,8	40,3	35,3	38,8
	Haziran	42,8	44,3	40,5	44,7	40,5	45,2	45,4	44,1	40,1	40,5	40,5
	Temmuz	45,4	47,0	43,3	48,2	41,3	49,8	50	48,4	43,9	46,0	46,0
	Ağustos	45,5	48,1	43,3	48,5	40,3	50	49,8	47,8	43,3	48,7	48,7
	Eylül	42,3	42,8	39,9	43,1	39,5	44,4	44	43,9	37,2	42,4	30,9
	Ekim	35,5	36,9	32,6	36,7	34,6	37,6	36,7	38,5	31,4	35,3	30,3
	Kasım	30,3	28,3	26,8	28,4	25,2	30	29,4	32,9	25,1	25,3	26,6
	Aralık	23,1	20,7	21,9	20,7	21,5	22,1	22	28,9	20,8	16,3	19,8
Yıllık Üretilen Enerji $E_{T,YIL}$ MWh	Toplam	434,5	435,5	406,9	436,4	404,4	454,3	444,3	479,2	409,4	413,7	403,6



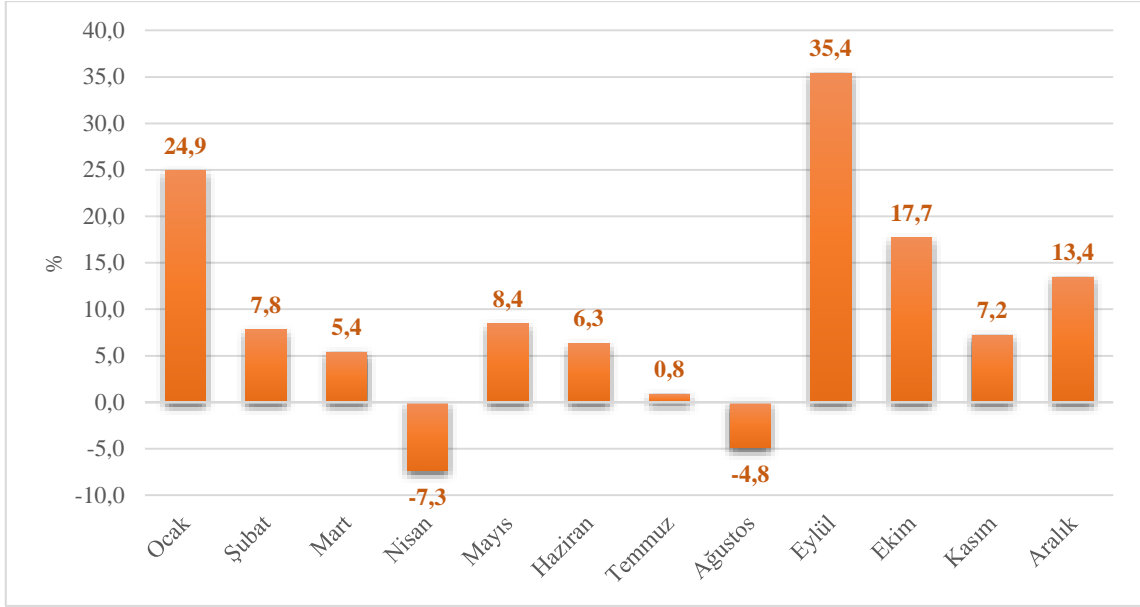
Şekil 5.15. KOSKİ GES Tesisi için Yıllık Enerji Üretimi Endeks Değerleri

KOSKİ'ye ait GES tesisinin yıllık enerji üretim değerleri ve simülasyon sonuçlarının değerlendirilebilmesi için 2017, 2018 ve 2019 yıllarında üretilen enerjinin ortalaması referans alınmıştır. Şekil 5.15'de görüldüğü üzere gerçekleşen yıllık enerji üretim değerlerinin ortalaması referans alınarak diğer sonuçlar buna göre endekslenmiştir. Tesise ait simülasyon sonuçları değerlendirildiğinde aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmaktadır:

- Yapılan simülasyonlarda diğer simülasyonlardan daha farklı sonuçlar ortaya çıkmıştır. Yapılan simülasyonların %33'ünde hata payı %3'ün altında, %33'ünde hata payı %10'un altında, %33'ünde ise hata payı %10 ile %20 arasındadır. En büyük hata payının değeri ise %18,7'dir.
- Bu tesise ait simülasyonlarda sapma oranı diğer simülasyonlardan daha fazla olmuştur. Ayrıca diğer simülasyonlardan farklı olarak bu tesise ait hiçbir simülasyonda gerçek değerinin altında tahmin ortaya çıkmamıştır. Sonuçlar,

Bölüm 4.1.3’de belirtildiği üzere tesisin bazı günlerde devre dışı olmasını ispatlar şekilde oluşmuştur.

- c. Bu tesis için en başarılı tahmin değeri, PVGIS yazılımının dördüncü versiyonu tarafından ve Classic meteorolojik veri tabanları kullanıldığında oluşmuştur. PVGIS4-Classic simülasyonun hata sapması sadece %0,2 olurken PVSOL yazılımının Meteonorm veri tabanı kullandığı simülasyonun hata sapması ise %0,8 olmuştur.
- d. PVSyst yazılımında kullanılan Meteonorm ve PVGIS-CMSAF meteorolojik veri tabanlarıyla yapılan iki simülasyonda da birbirine yakın ama gerçek değere uzak tahmin sonuçları ortaya çıkmıştır. Yazılımın en fazla hata payıyla yaptığı tahmin sonuçları bu tesiste oluşmuştur.
- e. PVSOL yazılımının en az hata payıyla tahmin yaptığı simülasyon bu tesiste gerçekleşmiştir. Yazılımın Meteonorm veri tabanı ile yaptığı simülasyonda hata payı %0,8 olmuştur. PVSOL, PVSyst yazılımına göre aynı veri tabanı ile daha doğru bir tahmin sonucu ortaya çıkarmıştır.
- f. PVGIS yazılımının PVGIS-CMSAF veri tabanını kullanan dördüncü ve beşinci versiyonundaki tahmin değerleri birbirinden farklı çıkmıştır. Karaman Belediyesi GES tesisinde çok başarılı tahmin yapan beşinci versiyon algoritmalarının KOSKİ GES tesisinde aynı başarılı tahmini yapamadığı görülmüştür.
- g. Bu tesis için yapılan simülasyon sonuçları diğer tesisler ile birlikte değerlendirildiğinde tesisin daha fazla enerji üretmesi gerektiği sonucunu ortaya çıkarmaktadır.



Şekil 5.16. KOSKİ GES Tesisi için Aylık Enerji Üretim Farkları

Tesinin aylık ürettiği enerji değerleri (Şekil 5.16) incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmaktadır:

- Aylık enerji üretimleri simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırıldığında hata payı ortalamasının %7,5 olduğu tespit edilmektedir. KOSKİ GES tesisi için yapılan simülasyonlarda hem yıllık hem de aylık enerji üretimlerinin birbirine yakın değerlerde ve diğer tesislerden daha fazla hata payı içererek tahmin sonuçları elde edilmiştir.
- Yapılan dokuz simülasyonda aylık enerji üretim değerleri ortalamasına göre, Nisan ve Ağustos ayları hariç diğer tüm aylarda daha fazla enerji üretilebileceği sonucu ortaya çıkmıştır.
- Simülasyonda Eylül ayında oluşan hata payı tesisin bu ay içinde çok fazla devre dışı kaldığı anlamını ortaya çıkarmıştır. Ayrıca diğer tesislerde olduğu gibi simülasyonların Kasım, Aralık ve Ocak aylarında gerçek üretimden daha fazla enerji üretilebileceği tahmininde bulunduğu gözlemlenmektedir. Bu farkın tesiste kar kayıplarından kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

Tesinin performans analizi yapılabilmesi için öncelikle referans veriminin bilinmesi gerekir. Performans parametrelerinden ilki olan referans verim (Y_R) belli bir düzleme gelen toplam güneş ışınımının (H_t) referans ışınımına G (1 kW/m^2) oranıdır. Tesinin gerçek referans verimi piranometre ile ölçülebilir. Simülasyon yapılan tesislerde

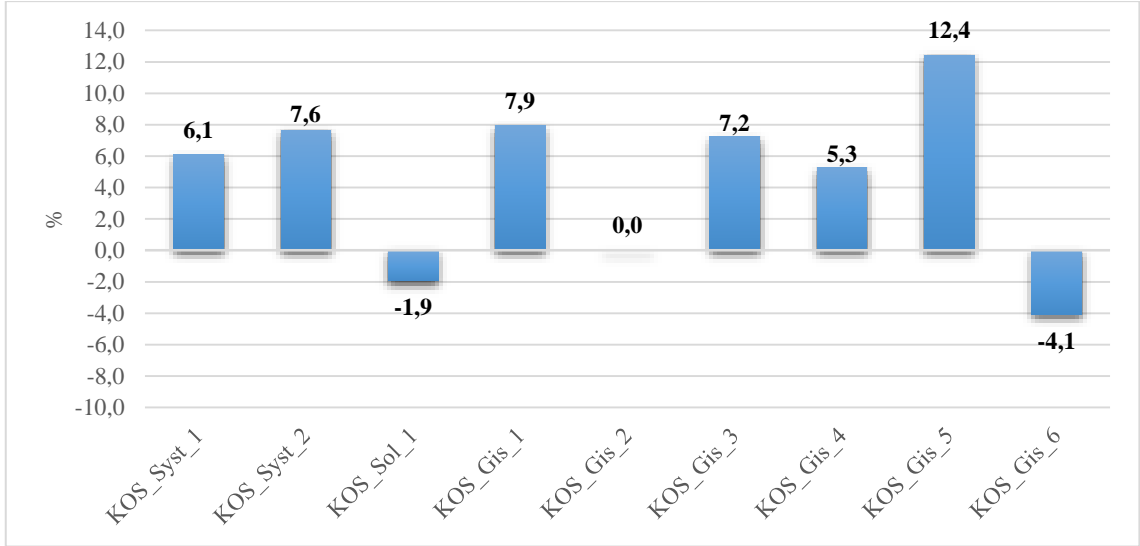
modül üzerine düşen ışınımı ölçen piranometrenin olmaması nedeniyle yıllık enerji üretiminde en yakın tahmini veren PVGIS4-Classic veri tabanı ile gerçekleştirilen OSB_Gis_2 simülasyonunda hesaplanan modül üzerine düşen ışınım değeri referans alınacaktır. Bu simülasyonda hesaplanan modül üzerine düşen ışınım değeri 1.894 kWh/m²'dir. Karşılaştırmalarda bu değer gerçek değer olarak varsayılacaktır.

Çizelge 5.10. KOSKİ GES Tesisi Performans Parametreleri Karşılaştırması

	<i>Referans Verim (kWh/m²)</i>	<i>Final Verim (kWh/kWp/Yıl)</i>	<i>Performans Oranı (%)</i>	<i>Kapasite Faktörü (%)</i>
KOS_Syst_1	2009	1519	75,6%	17,3%
KOS_Syst_2	2039	1523	74,7%	17,4%
KOS_Sol_1	1857	1423	76,6%	16,2%
KOS_Gis_1	2044	1526	74,7%	17,4%
KOS_Gis_2	1894	1414	74,7%	16,1%
KOS_Gis_3	2031	1588	78,2%	18,1%
KOS_Gis_4	1994	1553	77,9%	17,7%
KOS_Gis_5	2129	1676	78,7%	19,1%
KOS_Gis_6	1817	1431	78,8%	16,3%
KOS_GERCEK_ORT	1894	1411	74,5%	16,1%

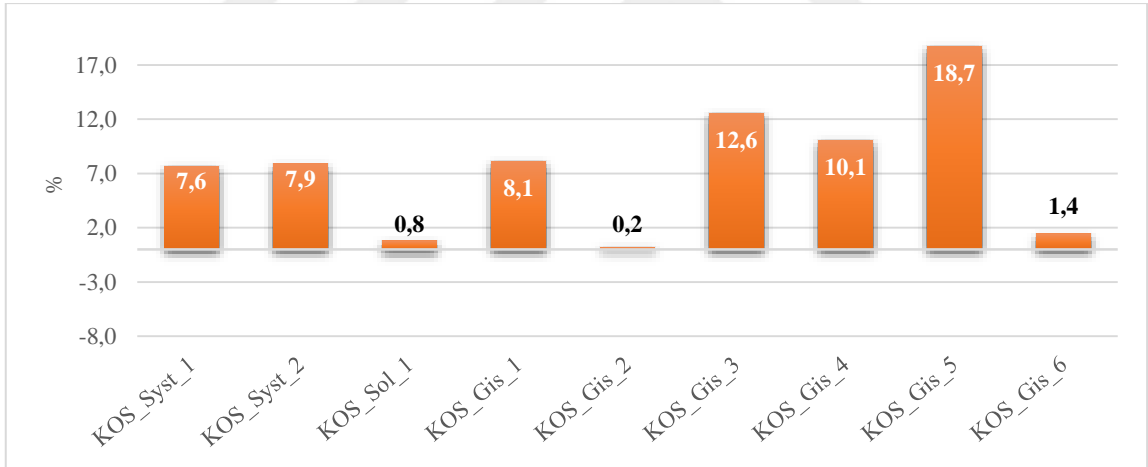
Tesisin gerçek performans analizi parametreleri ile simülasyonlarda bulunan performans parametreleri Çizelge 5.10'da görülmektedir. Simülasyonlarda bulunan değerlerin hata payları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

Şekil 5.17'de PVGIS4-CMSAF veri tabanı ile gerçekleştirilen OSB_Gis_1 simülasyonunda hesaplanan modül üzerine düşen ışınım değeri referans alınarak bulunan **referans veriminin** (kWh/m²) simülasyonlarda bulunan referans verimlerine farkı görülmektedir. Buna göre en fazla farkın %12,4 ile PVGIS yazılımının beşinci versiyon PVGIS-ERA5 veri tabanı simülasyonu olduğu görülmektedir. Bu farkı, %7,9 ile yine aynı yazılımın dördüncü versiyonunun CMSAF veri tabanı simülasyonu izlemektedir. Referans verimin bulunmasında simülasyonların hata farkı ortalaması %4,5 olmuştur.



Şekil 5.17. KOSKİ GES Tesisi için Referans Verim Farkları

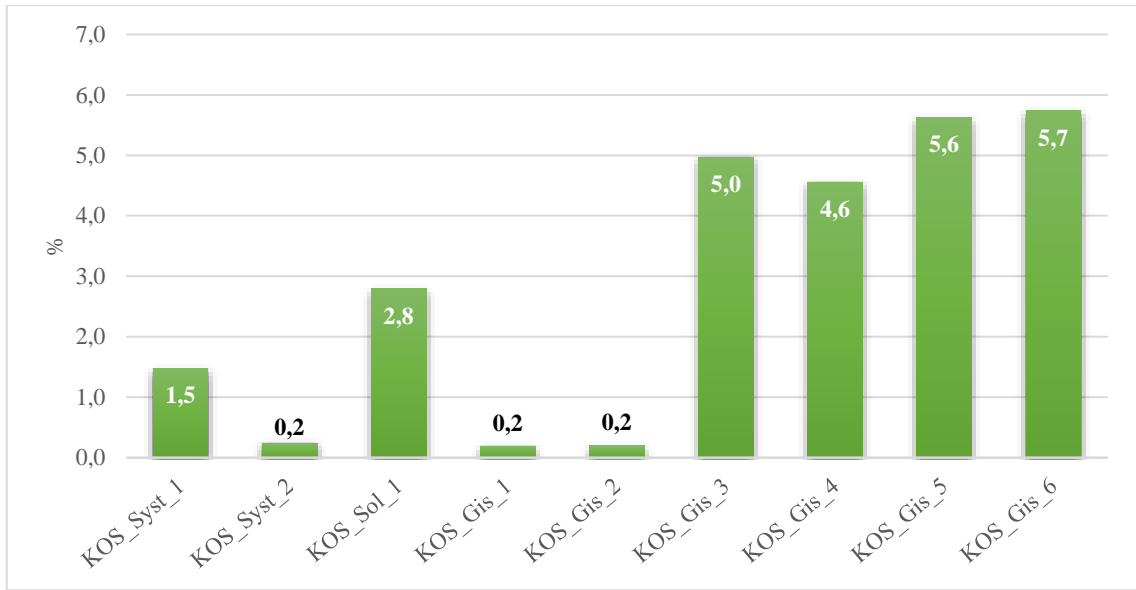
Şekil 5.18’de tesiste üretilen enerjinin kurulu güce oranı olarak ifade edilen **final veriminin** (kWh/kWp/Yıl) simülasyonlarda bulunan final verimlerine göre farkı görülmektedir.



Şekil 5.18. KOSKİ GES Tesisi için Final Verim Farkları

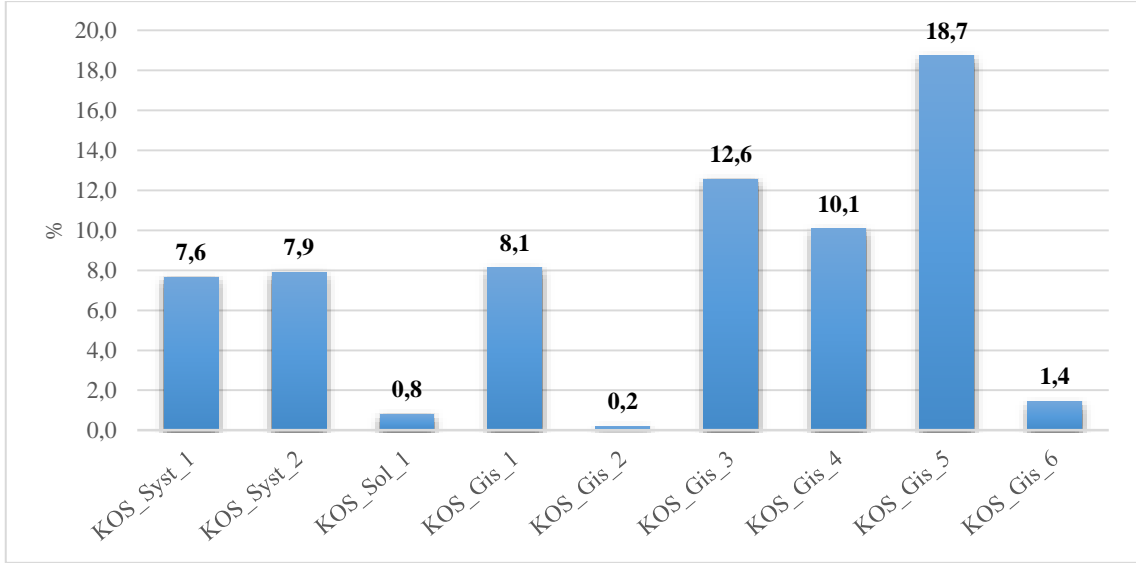
Buna göre en fazla farkın %18,7 ile PVGIS yazılımının beşinci versiyon PVGIS-ERA5 veri tabanı simülasyonu olduğu görülmektedir. Bu farkı, %12,6 ile aynı yazılımın aynı versiyonunun PVGIS-CMSAF veri tabanı simülasyonu izlemektedir. Final verimin bulunmasında simülasyonların mutlak değer hata farkı ortalaması %7,5 olmuştur. Gerçek final verim ile simülasyonlarda tahmin edilen final verimler arasındaki fark yüzdeleri ile gerçek ortalama yıllık üretilen enerji miktarı ile simülasyonlarda tahmin edilen yıllık üretilen enerji arasındaki fark yüzdeleri birbiriyle aynıdır.

Şekil 5.19’da tesisin final verimle referans verimi oranı olan **performans oranının** (%) simülasyonlarda bulunan **performans oranları** ile farkı görülmektedir. Performans oranı tahminlerinde en iyi sonuçları %0,2 hata payı ile üç farklı simülasyon vermiştir. Bu hata paylarını PVGIS yazılımının dördüncü versiyonunda kullanılan CMSAF ve Classic veri tabanı ile yapılan simülasyon ile PVSyst yazılımının CMSAF veri tabanı ile yapılan simülasyon vermiştir. Bu tesis için yapılan performans oranı tahminlerinde simülasyonlar hep daha fazla tahminlerde bulunmuştur. Performans oranı tahminlerinde mutlak değer hata payı ortalaması %2,9 olmuştur.



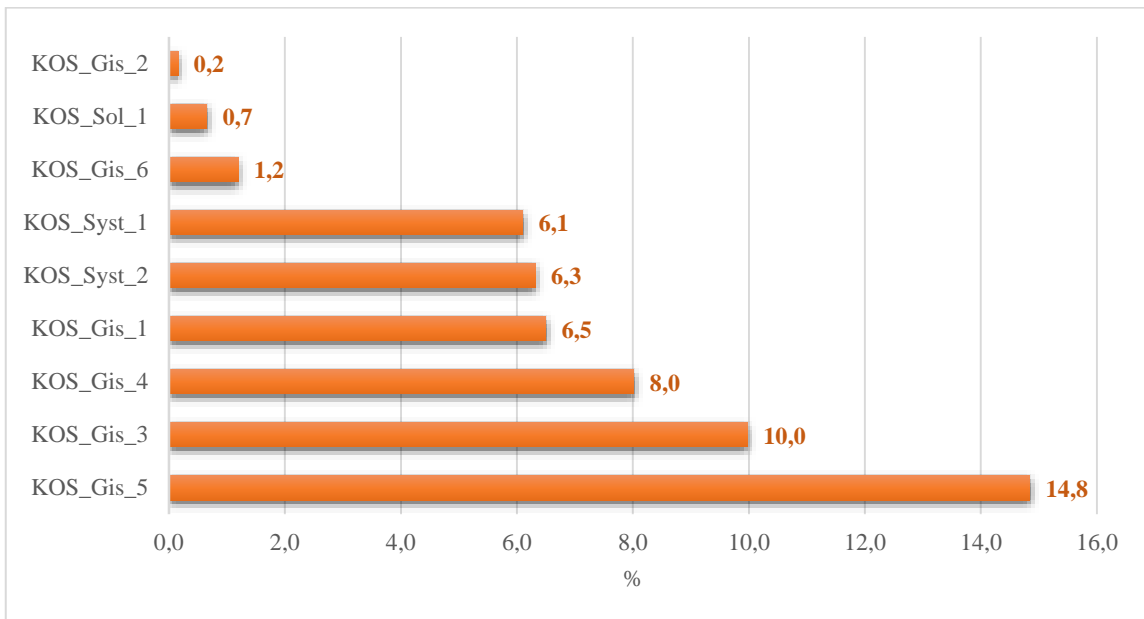
Şekil 5.19. KOSKİ GES Tesisi için Performans Oranı Farkları

Şekil 5.20’de tesisin yıllık ürettiği enerjinin teorik olarak üretebileceği maksimum enerji miktarına oranı olan **kapasite faktörünün** (%) simülasyonlarda bulunan **kapasite faktörleri** ile farkı görülmektedir. Kapasite faktörü tahminlerinde en iyi sonucu %0,2 hata payı ile PVGIS yazılımının dördüncü versiyonunda Classic veri tabanı ile yapılan simülasyon vermiştir. PVSOL yazılımının Meteonorm veri tabanı kullanılan simülasyonda kapasite faktörü %0,8 hata payı ile tahmin edilerek ikinci en az hata payı tahmini yapan simülasyon olmuştur.



Şekil 5.20. KOSKİ GES Tesisi için Kapasite Faktörü Farkları

Şekil 5.21’de performans analizi için kullanılan tüm parametreler ile üretilen yıllık enerji değerleri için simülasyon tahminlerinin gerçek değerlere olan hata payları ortalaması görülmektedir. Buna göre yıllık üretilen enerji dahil performans parametrelerinde en yakın tahmini %0,2 ile PVGIS yazılımının dördüncü versiyonu ve PVGIS-Classic veri tabanı vermiştir. En hatalı sonucu ise yine aynı yazılımın aynı beşinci versiyonunun PVGIS-ERA5 veri tabanı vermiştir. PVSyst ve PVSOL yazılımları tüm parametrelerde %7’nin altında hata payı vererek diğer tesislerden daha farklı tahmin sonuçları ortaya koymuştur.

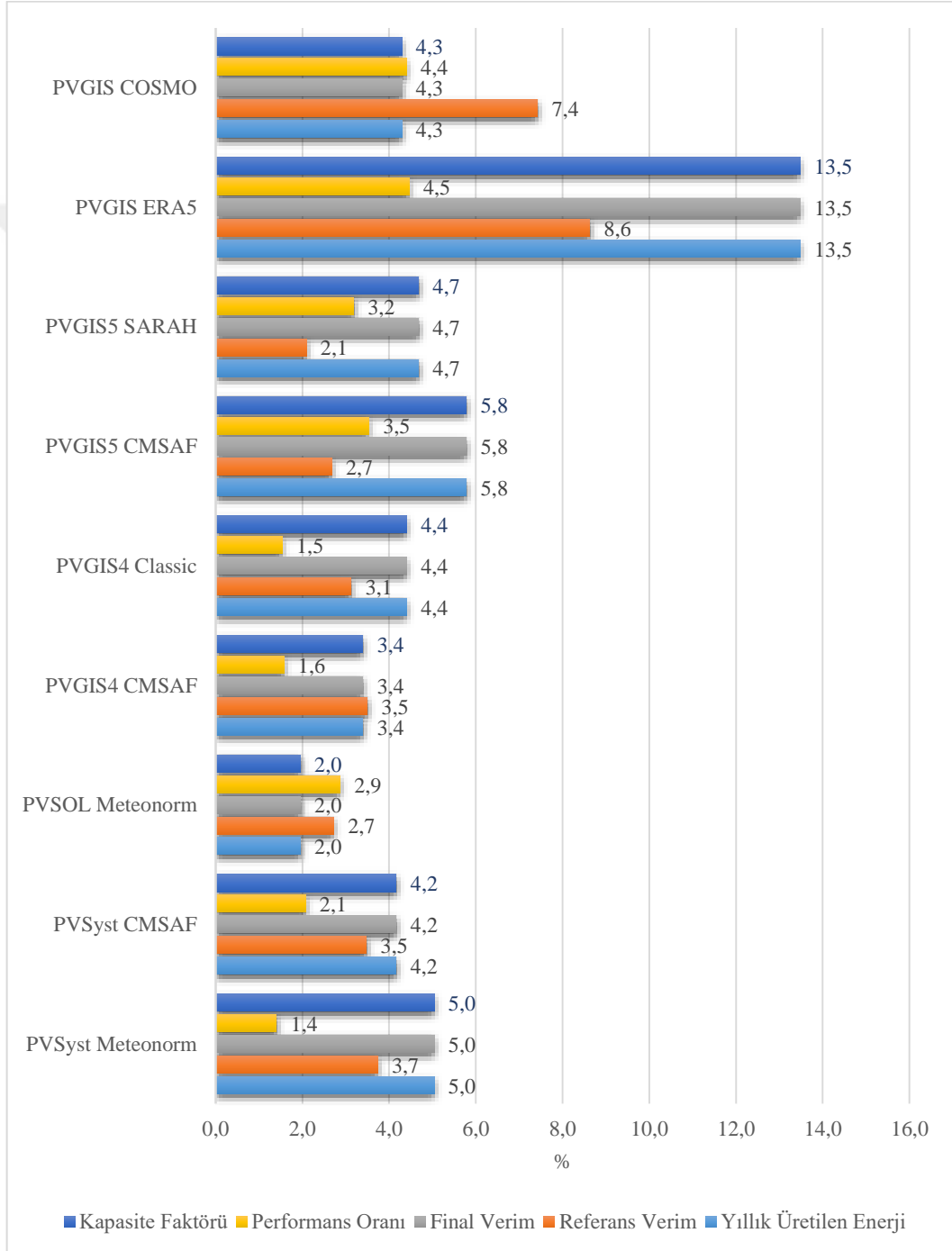


Şekil 5.21. KOSKİ GES Tesisi için Tüm Parametrelerdeki Hata Payları

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

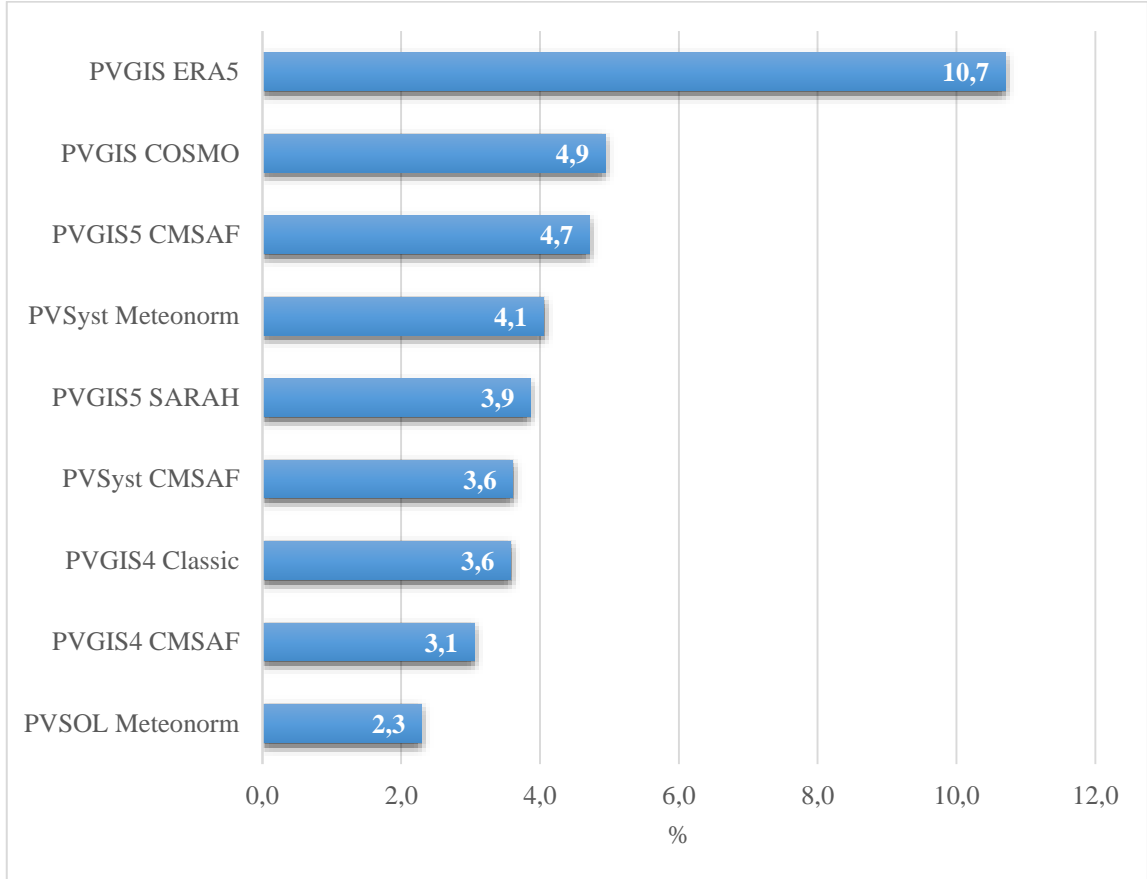
6.1 Sonuçlar

Şekil 6.1’de tüm tesisler için yapılan simülasyonlarda performans parametreleri tahminlerinde yaptıkları hata paylarının ortalaması görülmektedir.



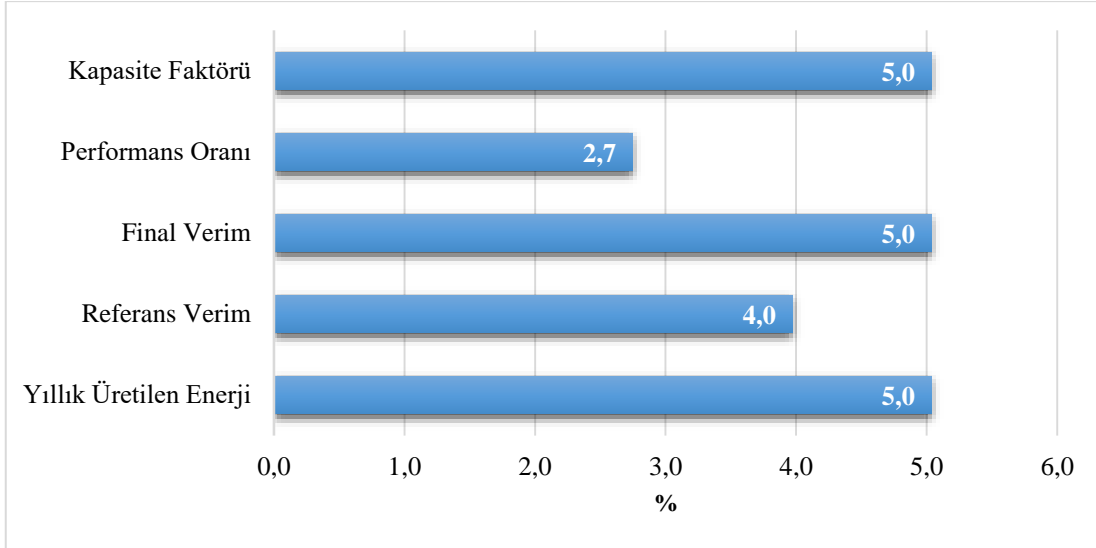
Şekil 6.1. Simülasyonlardaki Performans Parametreleri Tahminlerindeki Hatalar

Buna göre tüm parametreler için en başarılı tahmin yapan simülasyon sıralaması Şekil 6.2’de verilmiştir. Tüm sahalar için yıllık enerji üretim değeri, referans verimi, final verimi, kapasite faktörü ve performans oranı tahminlerinde en başarılı sonucu sırasıyla PVSOL yazılımı, PVGIS yazılımı dördüncü versiyonu sonrasında da PVSyst yazılımı vermiştir. PVGIS yazılımının ERA5 veri tabanı ile yapılan simülasyon hariç tüm simülasyonlar %5 hata payının altında bir hata ile tahmin gerçekleştirmiştir.



Şekil 6.2. Simülasyonların Tüm Parametrelerdeki Hata Payı Oranları

Simülasyonlarda en doğru tahminler performans oranı tahminleri olmuştur. Yapılan simülasyonlarda performans oranı tahminlerinin hata payı ortalaması %2,7 olmuştur. Referans verim tahminlerinde gerçekleşen hata payı ortalaması ise %4’dür. Final verim, Yıllık üretilen enerji miktarı ve kapasite faktörü birbiriyle ilişkili olduğundan üçünde oluşan hata payı ortalaması eşit ve %5’dir (Şekil 6.3).



Şekil 6.3. Parametrelerde Hata Payı Ortalamaları

6.2. Öneriler

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

- Simülasyon programları başarılı tahminler yapabilmektedir.
- Simülasyon programlarında tahmin başarısını en fazla, kullanılan meteorolojik veri tabanları etkilemektedir.
- Meteorolojik veri tabanları aslında modül üzerine düşen ışınlam hesaplamalarında farklı algoritmalar ve radyasyon modelleri kullanılmaktadır. Yapılan tahminlerin daha hassas olması için simülasyon yapılacak bölgeye göre model ve veri tabanı seçilmelidir.
- Çalışmada seçilen yazılımlar ve veri tabanları Konya ve Karaman illerinde yapılacak GES tesisi yatırımları için kullanılabilir. Bu yazılımlarda yapılan tahminler %5 hata payı ile sonuçlar üretebilir.
- Simülasyonlar sahada meydana gelen arızaların tespiti veya mühendislik hatalarının tespiti amacıyla kullanılabilir.
- Simülasyonlar sahada kullanılacak panel tipinin seçiminde, seçilen panel çeşidine göre optimum evirici tasarımında, panellerin optimum eğim açısının belirlenmesinde ve panel yerleşimindeki gölge etkilerinin minimuma indirgenmesinde kullanılarak tesisin maksimum enerji üretiminin sağlanması açısından öneriler verebilir.

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.
- Aldudak, M. (2018). *Economic Analysis And Efficiency Evaluation Of Pv Systems In Different Cities Of Turkey*. (Master Yüksek Lisans Tezi), Bahçeşehir University Graduate School Of Natural And Applied Science Energy Systems Operation And Technologies,
- Aste, N., Del Pero, C., & Leonforte, F. (2013). *The first installation under the Italian PV Rooftop Programme: A performance analysis referred to 11 years of operation*. Paper presented at the 2013 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP).
- Axaopoulos, P. J., Fylladitakis, E. D., Gkarakis, K. J. I. J. o. E., & Engineering, E. (2014). Accuracy analysis of software for the estimation and planning of photovoltaic installations. 5(1), 1.
- B.Y.H., L., & R.C., J. (1962). Daily Insolation On Surfaces Tilted Towards The Equator. *ASHRAE Transactions*(67), 526-541.
- Becker, G., Schiebelsberger, B., Weber, W., Schumacher, J., Zehner, M., Wortuba, G., & Vodermayr, C. J. V., Spain. (2008). Energy yields of PV systems-comparison of simulation and reality.
- Blair, N., Mehos, M., Christensen, C., & Cameron, C. (2008). *Modeling photovoltaic and concentrating solar power trough performance, cost, and financing with the solar advisor model*. Retrieved from
- Boughamrane, L., Boulaid, M., Tihane, A., Sdaq, A., Bouabid, K., & Ihlal, A. J. J. M. E. S. (2016). Comparative Analysis of Measured and Simulated Performance of the Moroccan First MV Grid Connected Photovoltaic Power Plant of Assa, Southern Morocco. 7(12), 4682-4691.
- Cameron, C. P., Boyson, W. E., & Riley, D. M. (2008). *Comparison of PV system performance-model predictions with measured PV system performance*. Paper presented at the 2008 33rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference.
- Cebeci, S. (2017). *Türkiye’de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim Potansiyelinin Değerlendirilmesi*. T.C. Kalkınma Bakanlığı
- Ceylan, O. (2017). *Fotovoltaik Programlarının Simülasyon Sonuçlarının Doğruluğunun İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Master), Süleyman Demirel Üniversitesi

- Chow, T. T., He, W., 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. *Applied Thermal Engineering*, 28(11-12), 1356-1364. doi:10.1016/j.applthermaleng.2007.10.007
- Clavadetscher, L., & Nordmann, T. J. S. e. (1993). Prediction and effective yield of a 100 kW grid-connected PV-installation. *51(2)*, 101-107.
- Cubukcu, M., & Colak, M. (2013). Simulation and Comparative Practical Performance Analysis Of A Stand-Alone PV Power System in Gökçeada. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 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 Master), Marmara University Institute For Graduate Studies In Pure And Applied Sciences,
- Çubukçu, M. J. E. Ü. G. E. E., Doktora Tezi, İzmir. (2011). Türkiye'nin Farklı Konumlarında Farklı Topolojilerde Fotovoltaik-Rüzgâr-Yakıt Pili Hibrid Güç Sistemlerinin Modellenmesi, Karşılaştırmalı Simülasyonu ve Uygulamalı Performans Analizi.
- Davis, M. W., Fanney, A. H., & Dougherty, B. P. J. T.-A. S. O. M. E. J. O. S. E. E. (2003). Measured versus predicted performance of building integrated photovoltaics. *125(1)*, 21-27.
- Detrick, A., Kimber, A., & Mitchell, L. (2005). *Performance evaluation standards for photovoltaic modules and systems*. Paper presented at the Conference Record of the Thirty-first IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2005.
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar engineering of thermal processes*: John Wiley & Sons.
- Eicker, U., Pietruschka, D., Schumacher, J., Fernandes, J., Feldmann, T., & Bollin, E. (2005). *Improving the energy yield of PV power plants through internet based simulation, monitoring and visualisation*. 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, Muğla. 142s,
- Energiewende, A., Mayer, J. N., Philipps, S., Saad, N., Hussein, D., Schlegl, T., & Senkpiel, C. J. L.-t. S. f. (2015). Current and future cost of photovoltaics.
- EPDK. (2019a). Elektrik Piyasası Lisans Listesi Veri tabanı. [Ziyaret Tarihi] 08.04.2019, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-86-3/elektriklisans-islemleri>
- EPDK. (2019b). Elektrik Piyasası Aylık Sektör Raporu Listesi Veri tabanı. [Ziyaret Tarihi] 08.04.2019, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-23-3/elektrikaylik-sektor-raporlar>

- ETKB. (2009). *Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesi*. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
- ETKB. (2014). *Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı*. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
- Europe, S. P. J. S. P. E. B., Belgium. (2016). Global market outlook for solar power 2016-2020. 32.
- Europe, S. P. J. S. P. E. B., Belgium. (2018). Global market outlook for solar power 2018-2020. 32.
- Evseev, E. G., & Kudish, A. I. (2009). The assessment of different models to predict the global solar radiation on a surface tilted to the south. *Solar Energy*, 83(3), 377-388. doi:10.1016/j.solener.2008.08.010
- Freeman, J., Whitmore, J., Kaffine, L., Blair, N., & Dobos, A. P. (2013). *System advisor model: Flat plate photovoltaic performance modeling validation report*. Retrieved from
- GEPA. (2019). Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası. [Ziyaret Tarihi] 01.04.2019, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/>
- Gharakhani Siraki, A., & Pillay, P. (2010). *Comparison of PV system design software packages for urban applications*. Paper presented at the World Energy Congress Montreal.
- Girgin, M. H. (2011). *Bir fotovoltaik güneş enerjisi santralının fizibilitesi, karaman bölgesinde 5 mw'lık güneş enerjisi santrali için enerji üretim değerlendirilmesi ve ekonomik analizi*. Enerji Enstitüsü,
- González-Peña, D., Díez-Mediavilla, M., de 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 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Frankfurt, Germany.
- Gunnarsson Knutsson, L. (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. In.
- Gültuna, K. M. (2015). *Gürsu-Bursa fotovoltaik güç santralının simülasyonu; teknoekonomik ve çevresel optimizasyon*. Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Haselhuhn, R., & Hemmerle, C. (2012). *Fotovoltaik Sistemler* (M. Çataklı Ed. Çataklı Enerji Eğitim Yayıncılık Danışmanlık Tic. Lti. Şti. ed.): The German Energy Society (Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie).
- Hasimah, A., Khalid, M., & Mohammad, Y. H. (2009). *Assessment of PV cell performance under actual Malaysia operating condition*. Paper presented at the 2009 Australasian Universities Power Engineering Conference.

- Hay, J. E. (1978). *Calculation of the Solar Radiation Incident on Inclined Surfaces*. Paper presented at the Proceedings first Canadian Solar Radiation Data Workshop, Toronto. Ontario, Canada 1978.
- Haydaroglu, C. (2017). *Dicle Üniversitesi Güneş Enerjisi Santralinin Performans Analizi*. (Yüksek Lisans Tezi Master), Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Haydaroglu, C., & Gümüş, B. 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. *Solar Energy*, 86(6), 1803-1815. doi:10.1016/j.solener.2012.03.006
- Hurayb, K. (2014). Power Optimization, Diagnostic Monitoring, and Modeling of Photovoltaic System.
- Hussein, H. M. S., Ahmad, G. E., & El-Ghetany, H. H. (2004). Performance evaluation of photovoltaic modules at different tilt angles and orientations. *Energy Conversion and Management*, 45(15-16), 2441-2452. doi:10.1016/j.enconman.2003.11.013
- IEC61724. (1998). Photovoltaic system performance monitoring — Guidelines for measurement, data exchange and analysis. In (Vol. 61724). IEC: IEC.
- About The IEC. (2019). About The IEC. <https://www.iec.ch/about/> [Ziyaret Tarihi] 08.04.2019
- Ineichen, P. (2011). Global irradiance on tilted and oriented planes: model validations.
- Iqbal, M. J. S. e. (1980). Prediction of hourly diffuse solar radiation from measured hourly global radiation on a horizontal surface. *24(5)*, 491-503.
- IRENA. (2019). Data and Statistics. [Ziyaret Tarihi] 01.04.2019, IRENA <https://www.irena.org/Statistics>
- The Sun As A Source Of Energy. (2019). The Sun As A Source Of Energy. <https://www.itacanet.org/the-sun-as-a-source-of-energy/part-1-solar-astronomy/> [Ziyaret Tarihi] 01.05.2019
- Jacques, S., Bissey, S., Ren, Z., Caldeira, A. J. J. o. E., & Engineering, P. (2014). PVLab, a Powerful, Innovative Software Package for the Simulation of Photovoltaic Systems. *8(10)*.
- Jahn, U., & Nasse, W. (2004). Operational performance of grid-connected PV systems on buildings in Germany. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 12(6), 441-448. doi:10.1002/pip.550

- 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 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
- Karaman. (2017). Karaman Belediyesi 1081,6 kWp GES Projesi. In.
- Keskinel, S. (2015). *Enerji Verimliliği Kapsamında Binalarda Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Uygulamalı Analizi*. (Yüksek Lisans Master), İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı,
- Kittisontirak, S., Bupi, A., Chinnavornrungeee, P., Sriprapha, K., Thajchayapong, P., & Titiroongruang, W. (2016). An Improved PV Output Forecasting Model by Using Weight Function: A Case Study in Cambodia. *International Journal of Photoenergy*, 2016, 1-10. doi:10.1155/2016/2616750
- KOSB. (2017). Konya Organize Sanayi Bölgesi Müdürlüğü 572 kWp GES Projesi. In.
- KOSKİ. (2017). Konya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü 286 kWp GES Projesi. In.
- Köprü, M. A. (2016). *Fotovoltaik Sistemlerde Kablo Kayıplarının İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Master), Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Labad, S., & Lorenzo, E. (2004). The impact of solar radiation variability and data discrepancies on the design of PV systems. *Renewable Energy*, 29(7), 1007-1022. doi:10.1016/j.renene.2003.12.009
- Leloux, J., Narvarte Fernández, L., & Trebosc, D. (2011). Performance analysis of 10,000 residential PV systems in France and Belgium.
- Loutzenhiser, P. G., Manz, H., Felsmann, C., Strachan, P. A., Frank, T., & Maxwell, G. M. (2007). Empirical validation of models to compute solar irradiance on inclined surfaces for building energy simulation. *Solar Energy*, 81(2), 254-267. doi:10.1016/j.solener.2006.03.009
- Mahachi, T. (2016). *Energy yield analysis and evaluation of solar irradiance models for a utility scale solar PV plant in South Africa*. Stellenbosch: Stellenbosch University,
- Marion, B., Adelstein, J., Boyle, K. e., 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, 2005.
- Mermoud, A., & Lejeune, T. (2010). Performance assessment of a simulation model for PV modules of any available technology.
- TÜRKİYE GLOBAL GÜNEŞ RADYASYONU UZUN YILLAR ORTALAMASI (2004-2018) HELIOSAT Model Ürünleri. (2019a). TÜRKİYE GLOBAL GÜNEŞ

- RADYASYONU UZUN YILLAR ORTALAMASI (2004-2018) HELIOSAT Model Ürünleri. https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx?il=karaman [[Ziyaret Tarihi] 15.05.2019
- Resmi İstatistikler, İllere Ait Mevsim Normalleri, (1981-2010). (2019b). Resmi İstatistikler, İllere Ait Mevsim Normalleri, (1981-2010). https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx?il=karaman [[Ziyaret Tarihi] 15.05.2019
- Milosavljević, D. D., Pavlović, T. M., & Piršl, D. S. (2015). Performance analysis of A grid-connected solar PV plant in Niš, republic of Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 423-435. doi:10.1016/j.rser.2014.12.031
- Mondol, J. D., Yohanis, Y. G., & Norton, B. (2007). Comparison of measured and predicted long term performance of grid a connected photovoltaic system. *Energy Conversion and Management*, 48(4), 1065-1080. doi:10.1016/j.enconman.2006.10.021
- Mondol, J. D., Yohanis, Y. G., & Norton, B. (2008). Solar radiation modelling for the simulation of photovoltaic systems. *Renewable Energy*, 33(5), 1109-1120. doi:10.1016/j.renene.2007.06.005
- Mondol, J. D., Yohanis, Y. G., & Norton, B. (2009). Optimising the economic viability of grid-connected photovoltaic systems. *Applied Energy*, 86(7-8), 985-999. doi:10.1016/j.apenergy.2008.10.001
- Mondol, J. D., Yohanis, Y. G., Smyth, M., & Norton, B. (2005). Long-term validated simulation of a building integrated photovoltaic system. *Solar Energy*, 78(2), 163-176. doi:10.1016/j.solener.2004.04.021
- Myers, D. R. (2016). *Solar radiation: practical modeling for renewable energy applications*: CRC press.
- Notton, G., Cristofari, C., & Poggi, P. (2006). Performance evaluation of various hourly slope irradiation models using Mediterranean experimental data of Ajaccio. *Energy Conversion and Management*, 47(2), 147-173. doi:10.1016/j.enconman.2005.03.022
- Okumuş, H. (2016). *Fotovoltaik Sistemlerin Elektrik Enerjisi Üretim Modeli, Yüksek Lisans Tezi*. (Yüksek Lisans Master), Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı,
- Olukan, T. A., & Emziane, M. (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., Reed, R., & Hoff, T. (2004). Validation of a simplified PV simulation engine. *Solar Energy*, 77(4), 357-362. doi:10.1016/j.solener.2004.03.011
- Perez, R., Stewart, R., Seals, R., & Guertin, T. (1988). *The development and verification of the Perez diffuse radiation model*. Retrieved from
- Petrović, I., Šimić, Z., & Vražić, M. J. J. o. P. E. (2013). Comparison of PV plant energy generation prediction tools with measured data. 89(06), 2013.
- Philibert, C. (2014). *Technology Roadmap Solar Photovoltaic Energy*. Retrieved from IEA:
- Pietruszko, S. M., & Gradzki, M. (2003). Performance of a grid connected small PV system in Poland. *Applied Energy*, 74(1-2), 177-184. doi:10.1016/s0306-2619(02)00144-7
- Protogeropoulos, C., Klonaris, I., Petrocheilos, C., Charitos, I., & Martinac, I. (2010). *Performance evaluation of different PV module technologies in a grid-connected pilot project in Greece*. Paper presented at the 25th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 6–10 September 2010, Valencia, Spain.
- 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. *Applied Energy*, 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 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 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 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 İle Karşılaştırılması*. Enerji Enstitüsü,
- Shahrestani, M., Yao, R., Essah, E., Shao, L., Oliveira, A. C., Hepbasli, A., . . . Lechón, J. L. (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. *Energy*, 55, 476-485. doi:10.1016/j.energy.2013.03.075

- Sharma, V., Kumar, A., Sastry, O. S., & Chandel, S. S. (2013). Performance assessment of different solar photovoltaic technologies under similar outdoor conditions. *Energy*, 58, 511-518. doi:10.1016/j.energy.2013.05.068
- Shiva Kumar, B., & Sudhakar, K. (2015). Performance evaluation of 10 MW grid connected solar photovoltaic power plant in India. *Energy Reports*, 1, 184-192. doi:10.1016/j.egy.2015.10.001
- Sidrach-de-Cardona, M., & Lopez, L. M. J. E. (1999). Performance analysis of a grid-connected photovoltaic system. 24(2), 93-102.
- Ges Yarışma Sonuçları. (2019). Ges Yarışma Sonuçları. <https://www.enerjiatlasi.com/ges-yarisma.html> [Ziyaret Tarihi] 08.04.2019
- Sözen, A., Arcaklioğlu, E., & Özalp, M. (2004). Estimation of solar potential in Turkey by artificial neural networks using meteorological and geographical data. *Energy Conversion and Management*, 45(18-19), 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 2010 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference.
- Sukamongkol, Y., Chungpaibulpatana, S., & Ongsakul, W. J. R. e. (2002). A simulation model for predicting the performance of a solar photovoltaic system with alternating current loads. 27(2), 237-258.
- Suresh, P., Thomas, J. J. A. R. i. E., & Engineering, E. (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., Albuisson, M., Lefèvre, M., & Wald, L. (2007). *Uncertainties in solar electricity yield prediction from fluctuation of solar radiation*.
- Şençiçek, H. (2017). *Yüzer Ve Arazi Kurulumu Fotovoltaik Sistemlerin Teknik Ve Ekonomik Açısından İncelenmesi*. Enerji Enstitüsü,
- Şimşek, S. (2018). *Fotovoltaik Sistemlerde Verimliliği Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi*. Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Tapia, M. (2014). *Evaluation of Performance Models against Actual Performance of Grid Connected PV Systems*. BIS der Universität Oldenburg,
- TEİAŞ. (2019). Aylık Kurulu Güç Raporları. [Ziyaret Tarihi] 01.04.2019, Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı http://www.teias.gov.tr/sites/default/files/2019-05/kurulu_guc_nisan_2019.pdf
- Tekkale, G. (2018). *Türkiye'nin Çeşitli İllerinde Yapılacak Arazi Tipi Lisanssız Güneş Enerjisi Santrali Yatırımlarının Teknik Ve Finansal Analizi*. Enerji Enstitüsü,

- TÜİK. (2019). Bölgesel Enerji İstatistikleri. [Ziyaret Tarihi] 01.04.2019, Türkiye İstatistik Kurumu
<https://biruni.tuik.gov.tr/bolgeselistatistik/degiskenlerUzerindenSorgula.do?durum=yillariGetir&secilenDegiskenListesi=221,2196,2195,2194,217,214,215,220,218,216,213,219>
- Vokas, G. A., Lagogiannis, K. V., Papageorgas, P., & Salame, T. (2017). *Photovoltaic energy production map of Greece based on simulated and measured data.*
- Dev Güneş Santrali İhalesini Kazanan Belli Oldu. (2017). Dev Güneş Santrali İhalesini Kazanan Belli Oldu. <https://www.ntv.com.tr/ekonomi/dev-gunes-santrali-ihalesini-kazanan-belli-oldu,nr0quwslBkeEOFGpBSdDSg> [Ziyaret Tarihi] 08.04.2019
- Yilmaz, S., Ozcalik, H. R., & Dincer, 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

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mücahit Yasir KINALI
Uyruğu : TC
Doğum Yeri ve Tarihi : KÜTAHYA, 24.07.1981
Telefon : 90 332 236 32 90
Faks : 90 332 236 46 91
e-mail : mucahit.kinali@mevka.org.tr

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Muradiye Fen Lisesi, Altındağ, Ankara	1998
Üniversite	: Dumlupınar Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Kütahya	2004
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Selçuk, Konya	2019
Doktora	: -	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2002	MAMAK BELEDİYESİ	Bilişim Koordinatörü
2006	BAŞKENT ELEKTRİK A.Ş.	İşletme Mühendisi
2007	TEİAŞ	Elektrik Mühendisi
2009	MEVLANA KALKINMA AJANSI	Birim Başkanı

UZMANLIK ALANI

Enerji, Yenilenebilir Enerji, Güneş Enerjisi, Bilişim, Sistem Güvenliği, Etki Analizi, PCM

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

- Raporlar
 - 2010 Yılı İktisadi Mali Destek Programı Etki Analizi
 - Dünyada ve Ülkemizde Güneş Enerjisi Güncel Durum Raporu, Aralık 2016
 - [Konya İli Güneş Enerjisi Çalışma Raporu, Kasım 2013](#)
 - Konya ve Karaman'a Enerji Yatırımı Yapmak için Beş Neden, Kasım 2012
 - Konya-Karaman Bölgesi Enerji Sektör Raporu, Aralık 2011

- Bildiriler ve Sunumlar
 - [Konya İli Enerji Yatırım Fırsatları, Yeşil Ekonomiler Konferansı, Aralık 2011, Konya](#)
 - Konya İli Yatırım Ortamı ve Enerji Potansiyeli, Konya Günleri Fuarı, 2012, Feshane
 - Energy Potential of TR52 Region, Barcelona Activa Technical Visit, 2012, Barcelona
 - Energy Potential of TR52 Region, Promo Madrid Technical Visit, 2012, Madrid
 - Energy Potential of TR52 Region, Abengoa Solar Energy Technical Visit, 2012, Sevilla
 - [Konya-Karapınar Güneş Enerjisi Potansiyeli](#), ICCI Enerji Konferansı, 2013, İstanbul
 - [Nükleer Santral İçin Konya'da Yerli Üretim Çalışmaları](#), ICCI Enerji Konferansı, 2013, İstanbul
 - Karapınar Enerji Bölgesi Sorunlar ve Çözüm Önerileri, Karapınar Enerji Çalıştayı, 2013, Karapınar
 - Energy Potential of TR52 Region, Stanford Research Institute International Technical Visit, 2013, California
 - Energy Potential of TR52 Region, Stanford Research Institute International Technical Visit, 2013, California
 - [Energy Potential of Konya-Karaman, ICCI Enerji Konferansı](#), 2014, İstanbul
 - Energy Potential of TR52 Region, Ulusal Enerji Ajansı, 2014, Paris
 - Energy Potential of TR52 Region, The French Renewable Energy Association (SER), 2014, Paris
 - [Konya Industry Structure and Studies in the field of Nuclear Energy](#), İstanbul Nuclear Power Plants Summit, 2014, İstanbul
 - [Energy Potential of Konya-Karaman](#), SolarTR Enerji Konferansı, 2014, İzmir
 - Konya'nın Enerji Potansiyeli, Türkiye Enerji Zirvesi, 2015, Konya
 - Energy Potential of Konya-Karaman, Körfez Ülkeleri İş Dünyası Toplantısı, 2015, Konya
 - Güneş Enerjisi Simülasyon Programlarının Gerçek Verilerle Doğruluk Analizi, III. International Scientific and Vocational Studies Congress-Engineering, 2019, Ürgüp, Nevşehir
- Makaleler
 - A New Solar Valley Has Been Rising, Foreign Direct Investment Magazine, December 2012-January 2013
 - Enerji Verimliliği ve Yatırım Fırsatları, Mevlana Kalkınma Ajansı 3K Dergisi, Sayı:2, Mayıs 2012, Konya
- Diğer Çalışmalar ve Öneriler
 - Konya ve Karaman Bölgesi Elektrifikasyon Haritası, 2013
 - [Yatırımcılar Enerji Haritası](#), 2014
 - [Kalkınma Ajansları Temiz Enerji Destekleri İnfografik Çalışması](#), 2015