NEU PRESS

ASREL Aerospace Research Letters

Cilt: 5 Sayı: 1 Yıl: 2026 | Research Article | e-ISSN: 2980-0064

Performance Analysis of a Grid-Connected Photovoltaic Power Plant: Comparative Evaluation of PVsyst, PVGIS and Actual Field Data

Fatma YİĞİT KAYNAK[1*] Ali Osman ÖZKAN[2]

[1] Baskent University, Kahramankazan Meslek Yüksekokulu, Electronic Technology, Ankara, Turkey

[2] Necmettin Erbakan University, Faculty of Engineering, Electrical-Electronics Engineering, Konya, Turkey

Article Info

Received: 25.12.2025
Accepted: 08.01.2026
Published: 30.06.2026

Keywords:
Photovoltaic Systems,
Performance Analysis,
PVsyst,
PVGIS,
Solar Energy.

ABSTRACT

This study compares the prediction accuracy of PVsyst and PVGIS simulation software against the actual generation data of a 992.25 kWp grid-connected solar power plant located in Şereflikoçhisar, Ankara. Based on the analyses conducted using the plant's technical parameters, PVsyst showed a deviation of 4.6% and PVGIS showed a deviation of 0.94% compared to the actual annual generation of 1,528,217 kWh. The findings reveal that while PVGIS yields results closer to field data for total generation estimation, PVsyst provides comprehensive data for detailed system design and loss analysis.

Şebekeye Bağlı Bir Fotovoltaik Santralin Performans Analizi: PVsyst, PVGIS ve Gerçek Saha Verilerinin Karşılaştırmalı Değerlendirmesi

Makale Bilgisi

Geliş Tarihi: 25.12.2025
Kabul Tarihi: 08.01.2026
Yayın Tarihi: 30.06.2026

Keywords:
Fotovoltaik Sistemler,
Performans Analizi,
PVsyst,
PVGIS,
Güneş Enerjisi.

ÖZET

Bu çalışmada, Ankara Şereflikoçhisar'da kurulu 992,25 kWp gücündeki şebekeye bağlı bir güneş enerji santralinin gerçek üretim verileri ile PVsyst ve PVGIS simülasyon programlarının tahmin doğrulukları karşılaştırılmıştır. Santralin teknik parametreleri ile yapılan analizlerde, 1.528.217 kWh olan yıllık gerçek üretime kıyasla PVsyst %4,6, PVGIS ise %0,94 oranında sapma göstermiştir. Elde edilen bulgular, PVGIS yazılımının toplam üretim tahmininde saha verilerine daha yakın sonuçlar ürettiğini, PVsyst programının ise detaylı sistem tasarımı ve kayıp analizlerinde kapsamlı veriler sunduğunu ortaya koymaktadır.

To cite this article:

Yiğit Kaynak, F., & Özkan, A. O. (2026). Şebekeye bağlı bir fotovoltaik santralin performans analizi: PVsyst, PVGIS ve gerçek saha verilerinin karşılaştırmalı değerlendirmesi. *Aerospace Research Letters (ASREL), 5*(1), 38-52.

***Corresponding Author:** Fatma YİĞİT KAYNAK, *fatmayigitkaynak@gmail.com*

This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

INTRODUCTION

Dünya genelinde artan enerji talebi ve fosil yakıtların neden olduğu karbon emisyonu sorunları, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelimi zorunlu kılmıştır. Bu kaynaklar arasında güneş enerjisi, potansiyeli ve erişilebilirliği açısından en öne çıkan seçeneklerden biridir. Türkiye, coğrafi konumu sayesinde Avrupa ülkelerinin birçoğundan daha yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Özellikle İç Anadolu Bölgesi, yüksek ışınım değerleri ile Güneş Enerjisi Santrali (GES) yatırımları için stratejik bir öneme sahiptir. Ancak bu potansiyelin verimli bir yatırıma dönüşmesi, kurulum öncesinde yapılan fizibilite çalışmalarının doğruluğuna bağlıdır. İnce (2021), Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinin Avrupa ülkelerine kıyasla yüksek olmasına rağmen, bu potansiyelden faydalanma oranının henüz istenen seviyede olmadığını belirtmektedir. Ayrıca Kandilci (2017), bölgesel güneşlenme sürelerinin ve radyasyon verilerinin doğru analiz edilmesinin, yatırım verimliliğini doğrudan etkilediğini vurgulamaktadır. Yatırımcılar ve mühendisler için en kritik nokta, santralin öngörülen üretim değerleri ile gerçek saha üretimi arasındaki sapmanın minimize edilmesidir.

Fotovoltaik sistemlerin tasarımı ve performans analizi sürecinde, PVsyst, PVGIS, PVSOL ve Helioscope gibi çeşitli simülasyon yazılımları kullanılmaktadır. Bu yazılımlar, meteorolojik verileri ve sistem bileşenlerini modelleyerek yıllık enerji üretimini tahmin etmeyi amaçlar. Literatürde bu yazılımların doğruluğunu inceleyen çeşitli çalışmalar mevcuttur. Örneğin, Mathew ve Hossain (2017) Hindistan'da şebekeye bağlı 5 MW'lık bir santrali incelemiş ve simülasyon sonuçlarına dayanarak CIGS modüllerinin yüksek verim sağladığını raporlamıştır. Benzer bir çalışmada Haydaroğlu ve Gümüş (2016), Dicle Üniversitesi'ndeki GES verilerini PVsyst ile analiz etmiş, simülasyon verilerinin gerçek üretimden kış aylarında saptığını, ancak yıllık bazda kabul edilebilir sınırlar içinde kaldığını belirtmiştir. Benzer şekilde Özcan (2020), Bursa ilinde yaptığı çalışmada şebekeye bağlı bir sistemin performans analizini gerçekleştirmiş ve gölgelenme analizlerinin üretim üzerindeki kritik etkisini ortaya koymuştur.

Sari ve Özyiğit (2020) ise Sivas ilinde yaptıkları çalışmada PVsyst kullanarak farklı panel teknolojilerinin santral verimi üzerindeki etkisini incelemiştir.

Simülasyon programlarının doğruluğu, sadece ışınım verisine değil, aynı zamanda sistem kayıplarının (gölgeleme, sıcaklık, tozlanma vb.) doğru modellenmesine de bağlıdır. Gökce (2020), fotovoltaik panellerdeki sıcaklık artışı ve kirlenmenin verim üzerindeki negatif etkisine dikkat çekmiş; Demiryürek (2018) ise Siirt ilinde yaptığı çalışmada PVsyst programının, sistem kayıplarını detaylı analiz etme yeteneği sayesinde gerçek verilerle %0,56 gibi çok düşük bir farkla örtüştüğünü ortaya koymuştur. Ancak literatürdeki çalışmaların çoğu genellikle tek bir yazılıma odaklanmakta veya sadece simülasyon verileri üzerinden teorik analizler yapmaktadır. Gerçek saha verileri ile birden fazla simülasyon aracının aynı anda karşılaştırıldığı çalışmaların sayısı nispeten sınırlıdır.

Bu çalışmada, Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli en yüksek bölgelerinden biri olan Ankara ili Şereflikoçhisar ilçesinde faaliyette olan 992,25 kWp gücündeki, şebekeye bağlı bir güneş enerjisi santrali incelenmiştir. Çalışmanın temel amacı, santralin bir yıllık gerçek üretim verilerini referans alarak, endüstriyel tasarımda standart kabul edilen PVsyst yazılımı ve açık kaynaklı erişim sağlayan PVGIS platformunun tahmin performanslarını karşılaştırmaktır. Çalışma kapsamında santralin sahadaki yerleşimi, panel eğim ve yönelim açıları, inverter özellikleri ve kablo kayıpları simülasyon ortamlarına birebir aktarılmıştır. Bu sayede, İç Anadolu iklim koşullarında kurulu bir santral için hangi yazılımın toplam üretim tahmininde daha başarılı olduğu ve simülasyon ile gerçek üretim arasındaki farkların temel nedenleri teknik verilerle analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular hem mevcut santrallerin performans değerlendirmesi hem de yeni kurulacak santrallerin planlama süreçleri için literatüre katkı sağlamayı hedeflemektedir.

METHOD

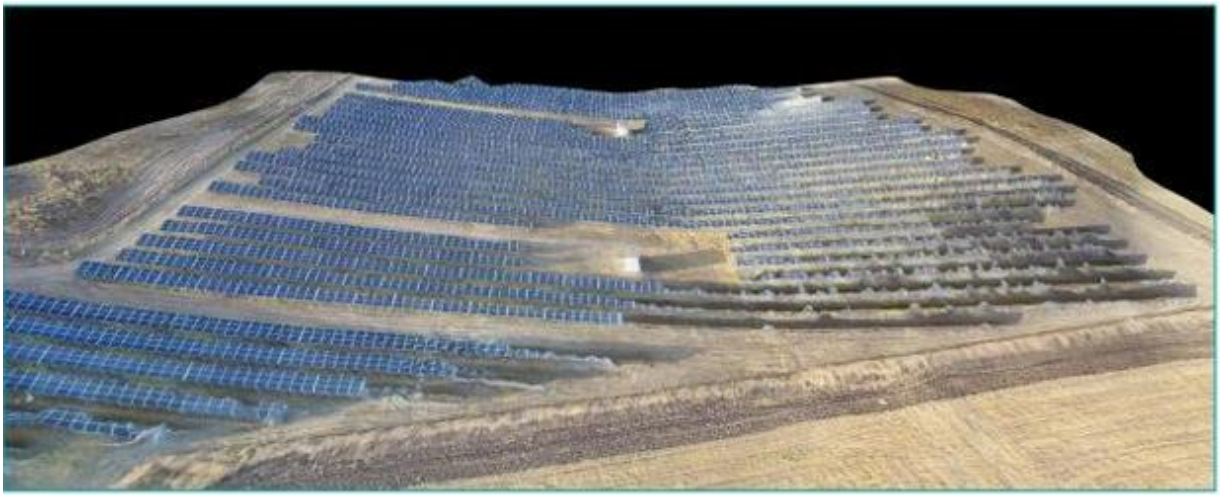
Bu çalışmada, Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli bakımından en verimli bölgelerinden biri olan İç Anadolu Bölgesi'nde, Ankara ili Şereflikoçhisar ilçesi sınırları içerisinde işletmede olan şebekeye bağlı (On-Grid) bir fotovoltaik santral incelenmiştir. Çalışmada izlenen yöntem; santralin fiziksel özelliklerinin, kullanılan donanımların ve saha koşullarının simülasyon ortamına (PVsyst ve PVGIS) hassas bir şekilde aktarılması ve elde edilen teorik üretim verilerinin, santralin sisteminden alınan gerçek verilerle doğrulanması esasına dayanmaktadır.

Santral Yeri ve Çevresel Özellikler

İncelenen santral, Şereflikoçhisar ilçesi Kadıncık köyü mevkiinde, 39,01° kuzey enlemi ve 33,59° doğu boylamı koordinatlarında yer almaktadır. Bu bölgenin seçilmesinde, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2017) verilerine göre yüksek radyasyon seviyesine sahip olması etkili olmuştur. Santral sahası 1.084 metre rakımda bulunmakta olup, çevresinde panel dizileri üzerinde gölgeleme oluşturabilecek ağaç, bina veya yüksek gerilim hattı gibi yapısal engeller bulunmamaktadır. Zemin yapısı düzleştirilmiş toprak olup, paneller arası mesafe gölgeleme kayıplarını minimize edecek şekilde düzenlenmiştir. Santralin genel görünümü Şekil 1'de sunulmuştur. Santralin kurulum öncesi yapılan zemin etütleri, detaylı fizibilite raporları ve proje aşamalarına dair kapsamlı teknik veriler Yiğit (2023), çalışmasında sunulmuştur.

Şekil 1

İncelenen Güneş Enerjisi Santralinin Havadan Görünümü



Fotovoltaik Sistem Bileşenleri

Sistemin toplam kurulu gücü 992,25 kWp (DC) olup, şebekeye aktarılan güç 945 kWe (AC) olarak sınırlandırılmıştır. Sistemde her biri 250 Wp gücünde olan Hyundai HIS-M250MG model monokristal silikon paneller kullanılmıştır. Toplam panel sayısı 3.969 adettir. Monokristal panellerin tercih edilmesinde, polikristal yapılara göre daha yüksek verimlilik ve sıcaklık değişimlerine karşı daha iyi tolerans göstermeleri etkili olmuştur Bagher, Vahid ve Mohsen (2015).

DC gücün AC güce dönüştürülmesinde 63 adet Voltwerk VS 15 (15 kW) dizi tipi inverter kullanılmıştır. İnverter seçiminde, modül seviyesinde izleme kolaylığı sağlaması ve MPPT verimliliğinin yüksek olması gibi kriterler dikkate alınmıştır Rashid (2019). Paneller, güney yönüne bakacak şekilde ve Yılmaz (2018) tarafından belirtilen optimum açıya uygun olarak 25° sabit eğimle monte edilmiştir. İnverter verimi ve doğru kapasite seçimi, sistemin toplam verimliliğini doğrudan

etkileyen unsurların başında gelmektedir Teodorescu ve ark. (2011); Belmahdi ve Bouardi (2020). Kullanılan temel bileşenlerin teknik özellikleri Tablo 1 ve Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo 1
Santralde Kullanılan PV Modül Teknik Özellikleri

Marka/Model	Hyundai HIS-M250MG
Maksimum Modül Gücü	250Wp
Boyutları	983 mm (W) × 1,645 mm (L) × 35 mm (H)
Toplam Modül Sayısı	3969
Verim	%15.46

Tablo 2
Santralde Kullanılan İnverter Teknik Özellikleri

Marka/Model	Voltwerk VS 15
İnverter Tipi	Dizi (String)
Toplam İnverter Sayısı	63
Maks. Verim	%98

Simülasyon Tasarımı ve Parametreler

Santralin performans analizi için PVsyst V7.3 ve Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi (Joint Research Centre, JRC) tarafından geliştirilen PVGIS yazılımları kullanılmıştır.

PVsyst Modellemesi

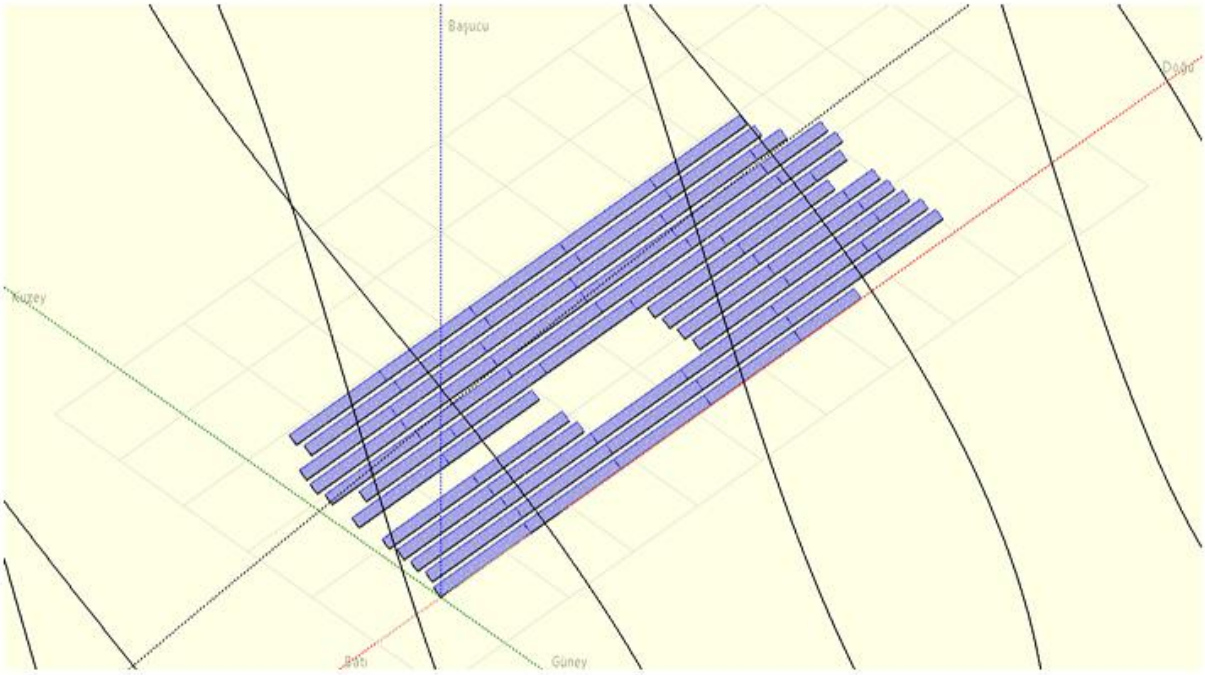
PVsyst, fotovoltaik sistemlerin boyutlandırılması, gölgeleme analizi ve detaylı kayıp hesaplamaları için kullanılan gelişmiş bir yazılımdır Karki (2012). Ayrıca Mermoud ve Wittmer (2014) tarafından hazırlanan kullanım kılavuzunda belirtilen standart parametreler ve kayıp tanımları, simülasyon altyapısında baz alınmıştır.

Bu çalışmada, Vidur ve Jagwani (2022) tarafından önerilen tasarım akış şeması izlenmiştir. Santral konumuna ait uzun dönemli ışınım ve sıcaklık verileri Meteonorm 8.1 veri tabanından sağlanmıştır Akcan ve ark. (2020).

Santralin "Near Shading" (Yakın Gölgeleme) analizi için 3 boyutlu modelleme yapılmış ve panellerin birbirine düşürebileceği gölgeler hesaplanmıştır. Gökçe (2020), gölgelemenin sadece üretim kaybına değil, aynı zamanda panel ömrünü kısaltan sıcaklık artışlarına neden olduğunu belirtmektedir. Bu nedenle modellemede dizi aralıkları hassas bir şekilde tanımlanmıştır. Oluşturulan gölgeleme modeli Şekil 2'de gösterilmiştir. Oluşturulan bu 3 boyutlu model üzerinden yapılan analizler, panel dizileri arasında bırakılan mesafenin, özellikle güneşin yükselim açısının düşük olduğu kış aylarında "karşılıklı gölgelenme" riskini minimize edecek şekilde tasarlandığını doğrulamaktadır. Modelde görülen yerleşim planı, sabah ve akşam saatlerinde oluşabilecek kısmi gölgelenmelerin, tüm diziyi devre dışı bırakmasını engelleyecek bir elektriksel konfigürasyona sahip olduğunu görsel olarak desteklemektedir.

Şekil 2

PVsyst Programında Oluşturulan Santralin 3D Gölgeleme Modeli



Sistemin gerçekçi bir şekilde simüle edilebilmesi için termal kayıplar, Karafil, Kesler ve Özbay (2016) tarafından belirtilen sıcaklık katsayılarına uygun olarak girilmiştir. Ayrıca, bölgenin kurak yapısı ve tozlanma riski göz önüne alınarak kirlenme kayıpları ve kablo (omik) kayıpları Amin (2022) ve Gürbüz (2018) çalışmalarındaki veriler referans alınarak modele eklenmiştir.

PVGIS Analizi

Karşılaştırma aracı olarak kullanılan PVGIS simülasyonunda, "Grid-Connected" modülü seçilmiş ve veri tabanı olarak "SARAH2" kullanılmıştır. Sistem kayıpları literatürdeki standart kabul edilen %14 değeri üzerinden hesaplanmıştır. PVGIS, kullanıcı dostu arayüzü ve hızlı sonuç vermesiyle bilinse de PVsyst kadar detaylı kayıp analizi imkanı sunmamaktadır Donuk (2014). Her iki yazılımdan elde edilen aylık ve yıllık enerji üretim tahminleri, santralin üretim verileriyle karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

FINDINGS

Bu bölümde, Ankara ili Şereflikoçhisar ilçesinde kurulu 992,25 kWp gücündeki fotovoltaik santralin simülasyon sonuçları ve gerçek saha üretim verileri detaylı olarak sunulmuştur. Analizler; sistemin genel tasarım parametreleri, oluşan kayıplar ve enerji üretim değerleri olmak üzere üç ana başlık altında incelenmiştir.

Simülasyon Verileri ve Kayıp Analizi

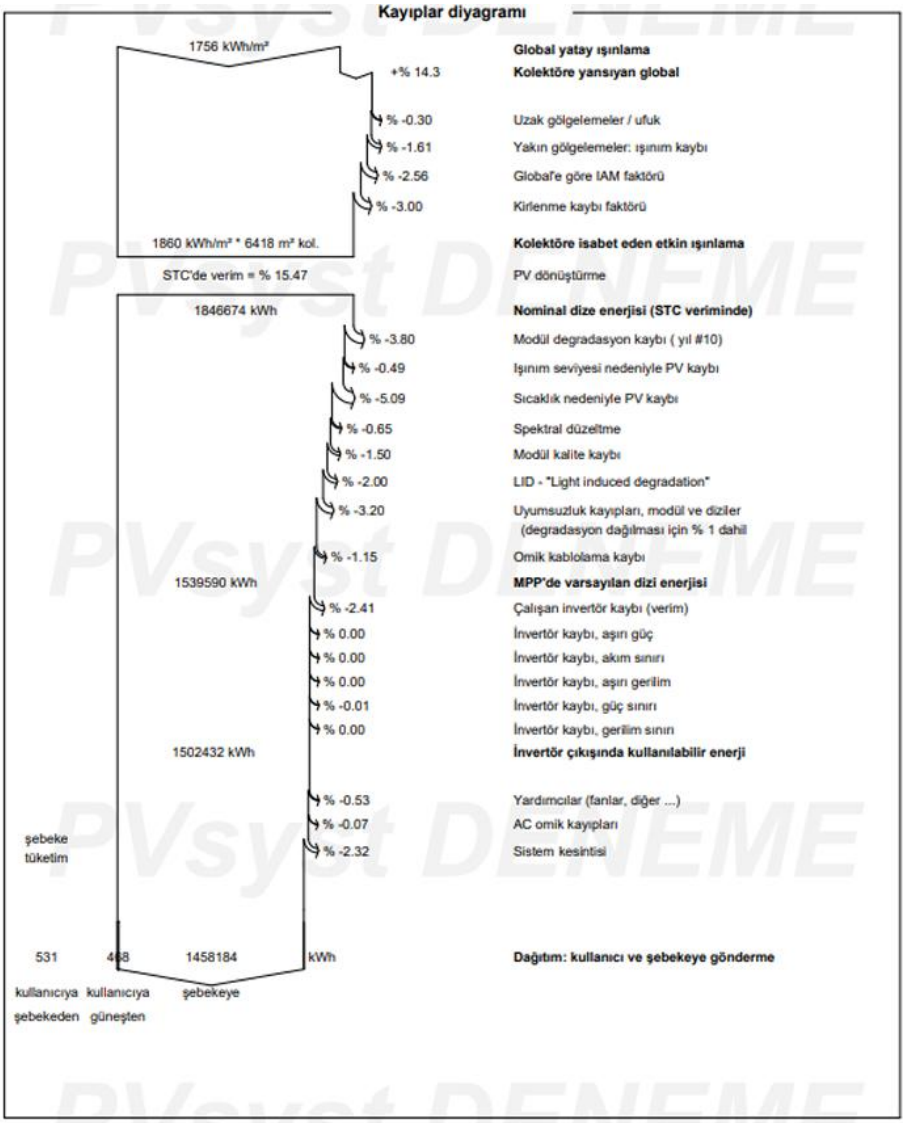
PVsyst V7.3 yazılımı ile gerçekleştirilen analizlerde, santralin coğrafi konumu ve teknik bileşenleri (panel, inverter, kablolama) baz alınarak detaylı bir modelleme yapılmıştır. Simülasyon sonucunda sistemin yıllık enerji üretim potansiyelini kısıtlayan faktörler nicel olarak belirlenmiştir. Santralde meydana gelen kayıpların dağılımı incelendiğinde, en büyük kaybın sıcaklık etkisinden kaynaklandığı görülmüştür.

PV modüllerin standart test koşullarındaki (STC) 25°C hücre sıcaklığının üzerine çıkması

nedeniyle oluşan "Sıcaklık Kaybı" yıllık bazda %5,09 olarak hesaplanmıştır. Bölgenin kurak iklim yapısı ve tarımsal faaliyetlere yakınlığı sebebiyle modellemeye dahil edilen "Kirlenme (Soiling) Kaybı" ise %3,0 seviyesindedir. Ayrıca, panellerin yaşlanmasına bağlı LID (Light Induced Degradation) kaybı %2,0, modül kalite kaybı %1,5 ve omik kablo kayıpları (AC ve DC toplamı) yaklaşık %1,5 seviyesinde gerçekleşmiştir.

Sistemin simüle edilen kayıp akış diyagramı ve detaylı oranlar Şekil 3'te gösterilmiştir. Diyagram detaylı incelendiğinde, sisteme giren global yatay ışınımın (Global Horizontal Irradiance) efektif enerjiye dönüşüm sürecinde en ciddi kırılmanın, modül sıcaklığının artmasıyla gerçekleştiği görülmektedir. PVsyst simülasyonu, standart test koşullarına (STC) göre tanımlanan nominal enerji miktarından, sadece sıcaklık etkisiyle %5,09'luk bir kayıp öngörmüştür. Ayrıca diyagramın alt kısımlarında görülen inverter kaybı (%1,5 civarı), seçilen inverterin verimlilik eğrisinin (efficiency curve) sistem yüküne uygun davrandığını, ancak yine de dönüşüm sırasında kaçınılmaz bir enerji kaybı oluştuğunu somutlaştırmaktadır.

Şekil 3
PVsyst Simülasyonu Kayıp Akış Diyagramı

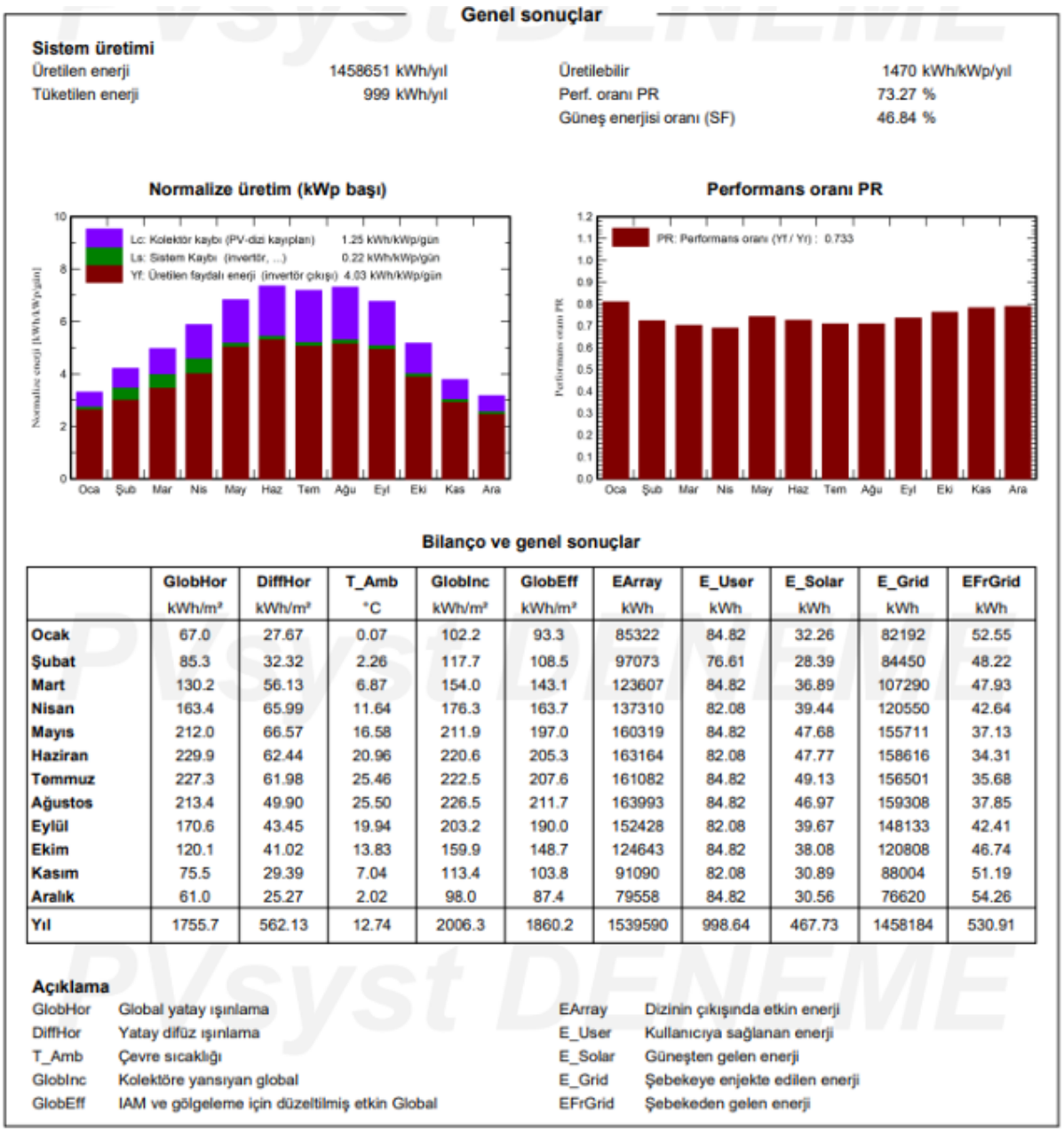


Sistemin sadece kayıplarını değil, genel performans karakteristiğini gösteren "Performans Oranı

(PR)" verileri de analiz edilmiştir. PVsyst simülasyonuna göre santralin yıllık ortalama Performans Oranı (PR) %73,27 olarak öngörülmüştür. Yaz aylarında ortam sıcaklığının artmasıyla birlikte PR değerinde düşüşler gözlemlenirken, kış aylarında bu oran görece daha yüksek olmaktadır. Simülasyon sonucunda elde edilen normalize edilmiş üretim değerleri ve performans grafiği Şekil 4'te sunulmuştur.

Şekil 4

Genel Sonuçlar ve Performans Analizi Grafiği



	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_User kWh	E_Solar kWh	E_Grid kWh	EFrGrid kWh
Ocak	67.0	27.67	0.07	102.2	93.3	85322	84.82	32.26	82192	52.55
Şubat	85.3	32.32	2.26	117.7	108.5	97073	76.61	28.39	84450	48.22
Mart	130.2	56.13	6.87	154.0	143.1	123607	84.82	36.89	107290	47.93
Nisan	163.4	65.99	11.64	176.3	163.7	137310	82.08	39.44	120550	42.64
Mayıs	212.0	66.57	16.58	211.9	197.0	160319	84.82	47.68	155711	37.13
Haziran	229.9	62.44	20.96	220.6	205.3	163164	82.08	47.77	158616	34.31
Temmuz	227.3	61.98	25.46	222.5	207.6	161082	84.82	49.13	156501	35.68
Ağustos	213.4	49.90	25.50	226.5	211.7	163993	84.82	46.97	159308	37.85
Eylül	170.6	43.45	19.94	203.2	190.0	152428	82.08	39.67	148133	42.41
Ekim	120.1	41.02	13.83	159.9	148.7	124643	84.82	38.08	120808	46.74
Kasım	75.5	29.39	7.04	113.4	103.8	91090	82.08	30.89	88004	51.19
Aralık	61.0	25.27	2.02	98.0	87.4	79558	84.82	30.56	76620	54.26
Yıl	1755.7	562.13	12.74	2006.3	1860.2	1539590	998.64	467.73	1458184	530.91

Ayrıca, sistemde oluşan "Dizi (Array) Kayıpları" ve "Sistem Kayıpları" ayrı ayrı irdelenmiştir. Dizi uyumsuzlukları ve gölgeleme faktörlerinin toplam üretim üzerindeki etkisi Şekil 5'te verilen diyagramda detaylandırılmıştır.

Şekil 5
Simülasyonda Elde Edilen Dizi ve Sistem Kayıp Parametreleri

Dizi kayıpları

Modül uyumsuzluk kaybı
Kayıp oranı 2.0 MPP'de%

Dizi uyumsuzluk kaybı
Kayıp oranı 0.2 %

Modül ortalama degradasyon
Yıl no 10
Kayıp faktörü 0.4 %/yıl

Degradasyon nedeniyle uyumsuzluk
Imp RMS dağılımı 0.4 %/yıl
Vmp RMS dağılımı 0.4 %/yıl

IAM kayıp faktörü
ASHRAE Parametre: IAM = 1 - bo (1/cosi -1)
bo param. 0.05

Spektral düzeltme
FirstSolar modeli
Bağıl nemden hesaplanan yoğuşabilir su

Katsayısı seti	C0	C1	C2	C3	C4	C5
Monocrystalline Si	0,85914	-0,02088	-0,0058853	0,12029	0,026814	-0,001781

Sistem kayıpları

Sistemin kullanılamazlığı
Zaman oranı 2.0 %
7.3 gün,
3 dönemler

Yardımcı kayıpları
Gece ardımcı tüketimi 2.00 kW

AC kablolama kaybı

İnv. çıkışından enjeksiyon noktasına
İnvertör gerilimi 400 Vac tri
Kayıp oranı 0.14 STC'de%
İnvertör: VS15
Kablo kesiti (63 İnv.) Alü 63 x 3 x 95 mm²
Ortalama kablo uzunluğu 44 m

PVGIS Analiz Sonuçları

Karşılaştırma amacıyla kullanılan PVGIS yazılımında, SARAH2 veri tabanı kullanılarak yapılan analizde, santralin bulunduğu konum için aylık bazda güneş radyasyon değerleri ve buna bağlı elektrik üretimi hesaplanmıştır. PVGIS analizinde sistem kayıpları sabit %14 olarak kabul edilmiş ve yıllık üretim dağılımı çıkarılmıştır. PVGIS arayüzünden elde edilen aylık üretim tahminleri ve sistem performans özeti Şekil 6'da verilmiştir. Grafikteki mevsimsel eğri incelendiğinde, santralin enerji üretim profilinin bölgenin güneşlenme süreleriyle tam bir uyum içinde olduğu görülmektedir. Mayıs-Ağustos bandında üretimin zirve noktasına ulaşması, İç Anadolu Bölgesi'nin açık gökyüzü indeksinin bu aylarda yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Grafiğin kış aylarındaki (Kasım-Ocak) belirgin düşüşü ise, simülasyonun sadece güneş açısını değil, aynı zamanda bölgedeki potansiyel bulutluluk faktörünü de hesaba katarak gerçekçi bir üretim projeksiyonu çizdiğini göstermektedir.

Şekil 6
PVGIS Programı Aylık Enerji Üretim Tahmin Grafiği

Gerçek Üretim ve Karşılaştırma Verileri

Santralin işletmeye alındığı tarihten itibaren sistem üzerinden kaydedilen bir yıllık toplam aktif enerji üretimi 1.528.217 kWh olarak ölçülmüştür.

Aynı periyot için PVsyst yazılımı toplam 1.458.184 kWh üretim tahmini yaparken, PVGIS yazılımı 1.542.669 kWh üretim tahmini gerçekleştirmiştir. Üç farklı veri kaynağının (Gerçek, PVsyst, PVGIS) karşılaştırmalı sonuçları Tablo 3'de özetlenmiştir.

Tablo 3
Simülasyon Sonuçları ile Gerçek Saha Verilerinin Karşılaştırmalı Analizi

Veri Kaynağı	Yıllık Toplam Üretim (kWh)	Sapma Oranı (%)
Gerçek Saha Verisi	1.528.217	-
PVsyst Tahmini	1.458.184	-4,6
PVGIS Tahmini	1.542.669	+0,94

Tablo incelendiğinde, PVsyst programının gerçek verilere göre daha düşük, PVGIS programının ise daha yakın ve hafif yüksek bir tahmin yürüttüğü görülmektedir.

DISCUSSION

Bu çalışmada elde edilen bulgular, güneş enerjisi santrallerinin tasarımında kullanılan simülasyon araçlarının doğruluğunun; kullanılan meteorolojik veri tabanlarına, bölgesel iklim koşullarına ve simülasyon parametrelerinin hassasiyetine bağlı olarak değiştiğini göstermektedir.

Sapma Oranlarının Değerlendirilmesi

Analiz sonuçlarına göre, PVGIS yazılımının %0,94'lük sapma oranıyla gerçek üretim değerlerine, PVsyst yazılımına (%4,6) kıyasla daha fazla yaklaştığı tespit edilmiştir. Bu durum, literatürdeki çalışmalarla karşılaştırıldığında farklılıklar göstermektedir. Örneğin, Demiryürek (2018), Siirt ilinde yaptığı çalışmada PVsyst verileri ile gerçek veriler arasında %0,56 gibi oldukça düşük bir fark raporlamıştır. Bu çalışmada PVsyst sapma oranının %4,6 seviyesinde çıkmasının temel nedeni, simülasyonda kullanılan Meteonorm veri tabanının, Ankara Şereflikoçhisar bölgesindeki kış aylarında görülen difüz radyasyonu ve bulutluluk oranlarını olduğundan daha yoğun varsaymasıdır. Benzer bir şekilde Altınkök (2021), Giresun'da yaptığı çalışmada simülasyon programlarının yerel meteorolojik verileri işlemesinde farklılıklar olduğunu ve bunun %5 civarında sapmalara yol açabildiğini belirtmiştir.

PVGIS'in kullandığı uydu tabanlı SARAH2 veri tabanının ise bölgenin anlık ışınım değişimlerini daha güncel verilerle modellediği değerlendirilmektedir. Üründü ve Endiz (2025), Konya'daki 1 MW'lık bir santralin performansını incelemiş; PVsyst simülasyonunun gerçek verilere göre %5,43 oranında sapma gösterdiğini, PVSOL yazılımının ise daha düşük bir hata payına sahip olduğunu tespit etmiştir. Bu durum, simülasyon programlarının bölgeye ve kullanılan algoritmaya göre farklı hassasiyetler gösterebileceği bulgumuzu desteklemektedir.

Mevsimsel Etkiler ve Kayıp Faktörleri

Haydaroğlu ve Gümüş (2016), Dicle Üniversitesi'ndeki çalışmalarında simülasyon verilerinin kış aylarında gerçek verilerden saptığını raporlamıştır. Bu çalışmada da benzer şekilde, özellikle Aralık ve Ocak aylarında PVsyst tahminlerinin gerçek üretimin altında kaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, Donuk (2014) tarafından da belirtildiği üzere, simülasyon yazılımlarının kar yağışı sonrası panel yüzeyindeki yansıma (albedo) etkisini ve karın erimesiyle oluşan ani üretim artışlarını tam olarak modelleyememesinden kaynaklanmaktadır.

Sıcaklık kayıpları açısından incelendiğinde, PVsyst tarafından hesaplanan %5,09'luk kayıp oranı, sahadaki gerçek koşullarla örtüşmektedir. Gökce (2020), çalışmasında yüksek sıcaklıkların panel verimini düşürdüğünü belirtmiştir. Ancak çalışmada kullanılan Hyundai monokristal panellerin sıcaklık katsayısının düşük olması, yaz aylarındaki üretim kaybını sınırlandırmış ve santralin yaz performansının simülasyon değerlerinin üzerine çıkmasını sağlamıştır. Bu durum, Bagher, Vahid ve Mohsen, (2015)'in çalışmasında monokristal panellerin sıcak iklimlerdeki avantajına dair bulgularını desteklemektedir. Ayrıca Öztürk (2008), çalışmasında panel üzerine düşen ışık yoğunluğunun yanı sıra spektral dağılımın da verimi etkilediğini, Doğanay (2021) ise panel veriminin yıllar içerisindeki yıpranma sebebiyle düştüğünü ifade etmiştir. Bu çalışmada simülasyona dahil edilen %3,8'lik yaşlanma kaybı bu durumu teyit etmektedir.

Yazılım Seçimi ve Performans Değerlendirmesi

PVsyst yazılımı, toplam üretim tahmininde %4,6'lık bir sapma gösterse de, sunduğu detaylı kayıp diyagramları (gölgeleme, kablo, uyumsuzluk vb.) sayesinde santralin mühendislik analizinde kritik bir role sahiptir. Amin (2022), çalışmasında PVsyst'in kayıp analizindeki başarısına dikkat çekmektedir. Buna karşın PVGIS, Mathew ve Hossain (2017)'in de işaret ettiği gibi, hızlı ve yaklaşık bir fizibilite için daha pratik sonuçlar sunabilmektedir.

Performans oranı (PR) açısından bakıldığında, Yadav ve ark. (2015) tarafından yapılan analizlerde %70-75 bandında çıkan değerler, bu çalışmada elde edilen %73,27'lik PR değeri ile uyumludur. Yatırımcı perspektifinden bakıldığında; PVsyst'in daha yakın sonuçlar vermesi, finansal planlamada risk almamak adına güvenli bir yaklaşım oluştururken; PVGIS verileri santralin gerçek potansiyelini görme noktasında daha gerçekçi bir tablo çizmektedir. Özgür (2020), çalışmasında yüksek güneşlenme potansiyeline sahip bölgelerde yapılan yatırımların geri dönüş sürelerinin analizi için bu verilerin doğruluğunun önemini vurgulamıştır. Sonuç olarak, Yolcan ve Köse (2020) tarafından önerildiği gibi, büyük ölçekli projelerde tek bir yazılıma bağlı kalmak yerine, bu iki yazılımın karşılaştırılarak kullanılması en sağlıklı yaklaşım olacaktır.

CONCLUSION

Bu çalışmada, Ankara ili Şereflikoçhisar ilçesinde kurulu 992,25 kWp gücündeki şebekeye bağlı bir güneş enerjisi santralinin performans analizi gerçekleştirilmiş ve sahadan alınan gerçek veriler, PVsyst ve PVGIS simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen temel

sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Santralin bir yıllık gerçek elektrik üretimi 1.528.217 kWh olarak gerçekleşmiştir.
- Aynı koşullar altında PVsyst yazılımı 1.458.184 kWh (-%4,6 sapma), PVGIS yazılımı ise 1.542.669 kWh (+%0,94 sapma) üretim tahmininde bulunmuştur.
- PVGIS yazılımının, toplam yıllık üretim miktarını tahmin etmede saha verilerine çok daha yakın sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Buna karşın PVsyst, özellikle gölgeleme, sıcaklık ve kirlenme gibi kayıp parametrelerinin detaylı analizinde daha kapsamlı veriler sunmaktadır.
- Bölgenin iklim koşulları ve panel teknolojisi dikkate alındığında, sıcaklık kaynaklı kayıpların (%5,09) sistem verimliliğini etkileyen en önemli faktör olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar ışığında; GES projelerinin ön fizibilite ve yer seçimi aşamasında PVGIS yazılımının hızlı ve yüksek doğruluklu bir tahmin aracı olarak kullanılabileceği, ancak kesin tasarım, banka başvuruları ve detaylı teknik kayıp analizi aşamalarında PVsyst yazılımının tercih edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Gelecek çalışmalarda, farklı iklim bölgelerindeki santrallerin verileriyle bu simülasyon araçlarının karşılaştırılması, literatüre ek katkı sağlayacaktır.

SUGGESTIONS

Güneş enerjisi santrallerinin verimliliğinin artırılması ve proje ömürleri boyunca maksimum performansla çalışmaları adına, bu çalışmadan elde edilen bulgulara ve saha deneyimlerine dayanılarak aşağıdaki öneriler sunulmuştur.

Santral tasarım ve fizibilite aşamalarında, üretim tahminlerinin doğruluğunu artırmak için tek bir simülasyon yazılımına bağlı kalınmamalıdır. Bu çalışmada görüldüğü üzere, PVsyst gibi detaylı mühendislik araçları ile PVGIS gibi güncel uydu verisi tabanlı araçların sonuçları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmelidir. Özellikle kış aylarındaki sapmaların minimize edilmesi için bölgeye özgü meteorolojik verilerin (yerel ölçüm istasyonları) simülasyon parametrelerine dahil edilmesi, yatırım risklerini azaltacaktır.

Saha işletme sürecinde, simülasyon verileri ile gerçekleşen üretim arasındaki farkların takibi için etkin bir izleme sistemi kullanılmalıdır. Santralin performans oranı (PR) sürekli analiz edilmeli, teorik değerlerden sapma görüldüğünde; inverter arızaları, kablo izolasyon sorunları veya panel yapısı bozulması gibi teknik problemler araştırılmalıdır.

İç Anadolu Bölgesi gibi kurak ve tozuma riskinin yüksek olduğu sahalarda, kirlenme kaynaklı kayıpların önüne geçilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada simülasyona yansıyan kirlilik kayıplarını minimize etmek için, yağış rejiminin düşük olduğu yaz aylarında periyodik panel temizliği yapılmalı ve temizlik takvimi, enerji üretiminin en yoğun olduğu saatlere göre optimize edilmelidir. Ayrıca panel yerleşimlerinde, gölgeleme etkisini ve sıcaklık artışını önlemek adına diziler arası mesafelerin hava akışına izin verecek şekilde korunması tavsiye edilmektedir.

Ethical Statement

Bu çalışma Dr. Öğr. Üyesi Ali Osman ÖZKAN danışmanlığında 22 Haziran 2023 tarihinde sunulan "Şebekeye Bağlı 1 MW Güneş Enerji Santralinin PVsyst ile Simülasyonu ve Performans Parametrelerinin Değerlendirilmesi" başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Author Contributions

Araştırma Tasarımı (CRediT 1) Yazar 1 (%50) – Yazar 2 (%50)

Veri Toplama (CRediT 2) Yazar 1 (%60) – Yazar 2 (%40)

Araştırma - Veri Analizi - Doğrulama (CRediT 3-4-6-11) Yazar 1 (%50) – Yazar 2 (%50)

Makalenin Yazımı (CRediT 12-13) Yazar 1 (%70) – Yazar 2 (%30)

Metnin Tashihi ve Geliştirilmesi (CRediT 14) Yazar 1 (%50) – Yazar 2 (%50)

Finance

Finansal destek yoktur.

Conflict of Interest

Çıkar çatışması yoktur.

REFERENCES

Akcan, E., Kuncan, M., & Minaz, M. R. (2020). PVsyst yazılımı ile 30 kW şebekeye bağlı fotovoltaik sistemin modellenmesi ve simülasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 350-355.

Altınkök, S. (2021). *Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ihtiyaçlarına uygun fotovoltaik sistem tasarımı ve analizi* [Yüksek Lisans Tezi, Giresun Üniversitesi].

Amin, S. A. (2022). PVsyst modeling systems losses in PVsyst. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, *13*(2), 522-527.

Bagher, A. M., Vahid, M. M., & Mohsen, M. (2015). Types of solar cells and application. *American Journal of Optics and Photonics*, *3*(5), 94-113.

Belmahdi, B., & Bouardi, A. E. (2020). Solar potential assessment using PVsyst software in the northern zone of Morocco. *Procedia Manufacturing*, *46*, 738-745.

Demiryürek, H. K. (2018). *200kWp kurulu güçteki Lebit Enerji güneş santralinin PVsyst ile tasarımı ve üretim değerleri ile simulasyon değerlerinin karşılaştırılması* [Yüksek Lisans Tezi, Siirt Üniversitesi].

Doğanay, M. M. (2021). *Mardin bölgesi güneş (fotovoltaik) enerjisi potansiyel analizi* [Yüksek Lisans Tezi, Mardin Artuklu Üniversitesi].

Donuk, K. (2014). *Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerde üretilen enerjinin yapay sinir ağları kullanılarak tahmini* [Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi].

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2017). *Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA)*. Ankara.

Gökce, İ. (2020). *Fotovoltaik (PV) hücreler yardımıyla güneş enerjisinden elektrik üretimi ve performansını etkileyen faktörlerin incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi].

Gürbüz, D. (2018). *Kir ve tozlanmanın fotovolatik sistem verimi üzerindeki etkisi* [Yüksek Lisans Tezi, KTO Karatay Üniversitesi].

Haydaroğlu, C., & Gümüş, B. (2016). Dicle Üniversitesi güneş enerjisi santralinin PVsyst ile simülasyonu ve performans parametrelerinin değerlendirilmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, *7*(1), 1-12.

İnce, İ. T. (2021). *Güneş enerjisi ile elektrik üretimine örnek uygulamalar* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi].

Kandilci, G. N. (2017). *Türkiye için global güneş radyasyonu persistans haritalarının*

oluşturulması [Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi].

Karafil, A., Kesler, M., & Özbay, H. (2016). Sıcaklık ve güneş ışınım değişimlerinin fotovoltaik panel gücü üzerindeki etkilerinin simülasyon analizi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, *3*(1), 19-28.

Karki, P. (2012). *Comparative study of grid-tied photovoltaic (PV) system in Kathmandu and Berlin using PVsyst* [Yüksek Lisans Tezi, Tribhuvan University].

Mathew, M., & Hossain, J. (2017). Analysis of a grid connected solar photovoltaic system with different PV technologies. *International Journal of Renewable Energy Research*, *7*(1), 1-11.

Mermoud, A., & Wittmer, B. (2014). *PVsyst user's manual*. PVsyst SA.

Özcan, Ö. (2020). *Şebekeye bağlı fotovoltaik çatı sisteminin performans analizi* [Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi].

Özgür, E. (2020). *Türkiye'de güneş enerjisi*. (Erişim Tarihi: 17 Mart 2020).

Öztürk, H. H. (2008). *Güneş enerjisi ve uygulamaları*. Birsen Yayınevi.

Rashid, M. H. (2019). *Power electronics handbook: Devices, circuits, and applications*. Butterworth-Heinemann.

Sari, V., & Özyiğit, F. Y. (2020). Sivas ilinin farklı ilçelerinde şebeke bağlantılı güneş enerji santrallerinin tasarımı ve analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 498-508.

Teodorescu, R., Liserre, M., & Rodriguez, P. (2011). *Photovoltaic inverter structures*. Wiley-IEEE Press.

Üründü, M. E., & Endiz, M. S. (2025). Şebekeye bağlı 1 MW kurulu güçteki güneş enerji santralinin PVsyst ve PVSOL ile performans analizi. Aerospace Research Letters (ASREL), 4(2), 131-143.

Vidur, P. R., & Jagwani, D. (2022). Design and simulation of a rooftop solar PV system using PVsyst software. *International Journal of Engineering Research & Technology*, *11*(5), 321-325.

Yadav, P., Kumar, N., & Chandel, S. (2015). Simulation and performance analysis of a 1kWp photovoltaic system using PVsyst. *2015 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC)*, 358-363. IEEE.

Yiğit, F. (2023). Şebekeye bağlı 1 MW güneş enerji santralinin PVsyst ile simülasyonu ve performans parametrelerinin değerlendirilmesi [Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi].

Yılmaz, G. (2018). *Türkiye'deki güneş panellerinin optimum eğim açılarının analizi* [Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi].

Yolcan, O. O., & Köse, R. (2020). Türkiye'nin güneş enerjisi durumu ve güneş enerjisi santrali kurulumunda önemli parametreler. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, *8*, 268-281.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The rapid increase in global energy demand and the environmental impact of fossil fuels have accelerated the transition to renewable energy sources. Turkey, due to its geographical location, possesses significantly higher solar energy potential compared to many European countries. However, the efficient utilization of this potential depends heavily on the accuracy of the feasibility studies conducted prior to the installation of Solar Power Plants (SPP). Various simulation software packages are used to predict annual energy generation, but discrepancies often arise between theoretical predictions and actual field generation. This study focuses on a grid-connected photovoltaic (PV) power plant with an installed capacity of 992.25 kWp, located in Şereflikoçhisar, Ankara. The primary objective is to evaluate the performance of the plant by comparing its actual electricity generation data obtained from the SCADA system with the theoretical data derived from PVsyst and PVGIS simulation software. By analyzing the deviations and loss parameters, this research aims to determine the reliability of these simulation tools for the Central Anatolian climatic conditions.

Method

The research was conducted on an operational 1 MW (0.99 MWp DC) solar power plant located in Kadıncık village, Şereflikoçhisar (39.01° N, 33.59° E). The site is characterized by high solar radiation levels and a flat topography free from shading obstacles. The system consists of 3,969 Hyundai HIS-M250MG monocrystalline silicon PV modules (250 Wp each) and 63 Voltwerk VS 15 string inverters. The panels are mounted on a fixed steel structure with a 25° tilt angle facing south.

For the simulation methodology, the exact physical characteristics of the plant were modeled in two different software environments: PVsyst V7.3 and PVGIS. Meteorological data for PVsyst was sourced from the Meteonorm 8.1 database, while PVGIS utilized the SARAH2 satellite database. A detailed 3D shading scene was constructed in PVsyst to account for near-shading losses. Thermal losses, soiling losses (due to the arid nature of the region), and ohmic losses were defined based on literature standards and site-specific conditions. The study compared the monthly and annual energy generation estimates of both software tools against the actual net production data recorded by the plant's electricity meters over a one-year period.

Findings

According to the field data, the actual annual electricity generation of the power plant was recorded as 1,528,217 kWh. The simulation results conducted under identical parameters yielded different outcomes. The PVsyst software predicted an annual generation of 1,458,184 kWh, while the PVGIS software estimated it at 1,542,669 kWh.

When these figures are compared with the actual data, PVsyst showed a deviation of -4.6% (underestimation), whereas PVGIS showed a deviation of +0.94% (slight overestimation).

The detailed loss analysis performed in PVsyst revealed that the most significant factor affecting system performance was temperature-related losses, calculated at 5.09% annually. Other significant losses included soiling (3.0%), LID (Light Induced Degradation) aging (2.0%), and ohmic wiring losses (1.5%). The Performance Ratio (PR) of the system was simulated to be 73.27%, which aligns with standard expectations for this region.

Discussion

The analysis indicates that PVGIS provides a much closer estimation to the actual field production in terms of total annual energy. The 0.94% deviation suggests that the satellite-based radiation data used by PVGIS represents the local climatic conditions of Ankara/Şereflikoçhisar more accurately than the ground-station-interpolated data of Meteonorm used in PVsyst. The -4.6% conservative estimate by PVsyst is attributed to its underestimation of diffuse radiation, particularly during winter months.

However, while PVGIS is superior in total volume prediction, PVsyst proves to be indispensable for detailed engineering analysis. The ability to model specific string layouts, 3D shading effects, and detailed loss flow diagrams makes PVsyst a crucial tool for identifying system weaknesses. The study also confirms that monocrystalline panels perform efficiently in the region, as the temperature losses were kept within manageable

limits despite the hot summer climate. These findings are consistent with similar studies in the literature, which suggest that simulation accuracy varies significantly depending on the weather database selected.

Conclusion

This study concludes that for the Central Anatolia region, PVGIS is a highly reliable tool for preliminary feasibility studies and quick energy yield assessments, offering high accuracy with less than 1% deviation. On the other hand, PVsyst remains the preferred tool for detailed system design, bankability reports, and technical loss analysis due to its comprehensive parameterization capabilities. The study also highlights that temperature and soiling are the critical environmental factors affecting efficiency in this region. Therefore, accurate modeling of these specific losses is essential for minimizing the gap between theoretical and actual generation.

Recommendation

Based on the findings, it is recommended that investors and engineers use a cross-check methodology employing both PVsyst and PVGIS during the planning phase of solar power plants. Relying solely on one software may lead to either over-optimistic or overly conservative financial projections. Furthermore, given the 3% soiling loss identified, plant operators in the region should implement a strictly optimized cleaning schedule, focusing on the high-generation summer months. Continuous monitoring via SCADA systems is also advised to detect any performance ratio drops that might indicate issues beyond normal environmental losses, such as inverter failures or panel degradation.