

Şebeke Bağlantılı Güneş Enerji Santrali'nin Modellenmesi ve Simülasyon Analizi: Ağrı/Çukurçayır Köyü 999 kW Güneş Enerjisi Santrali Örneği

Barış ÖZTÜRK¹, Ömür AKYAZI^{2*}, Mertkan ŞAHİN³, Güler YILMAZ⁴

Öz

Enerji sektöründeki teknolojik gelişmelere paralel olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretimindeki yeri gün geçtikçe artmaktadır. Bu artış son yıllarda dünyada ve ülkemizdeki güneş enerji santrallerine dikkatleri yöneltmiştir. Bu çalışma kapsamında Ağrı ilinde bulunan Palma güneş enerji santralinin (Palma GES) PVsyst ve PVGIS yazılımları üzerinde benzetim çalışması yapılmıştır. GES'in enerji üretiminin hangi parametrelere bağlı olduğu incelenmiştir. PVsyst simülasyonunda SARA-1 meteorolojik veri tabanı, PVGIS'de ise SARA-2 meteorolojik veri tabanı kullanılmıştır. Bu veri tabanlarının GEPA değerlerine olan yakınlığı analiz edilmiştir. Yapılan benzetim çalışmaları sonucunda elde edilen elektrik üretim değerleriyle santralin gerçek üretim değerleri karşılaştırılmıştır. Simülasyon programlarında kullanılan meteorolojik veri tabanlarının farklı olması ve yazılımlarının kapsamı nedeniyle elektrik üretim değerlerinde farkların olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte simülasyon programları karşılaştırıldığında PVsyst yazılımı daha detaylı ve analitik sonuç raporu çıkarmıştır. Çalışma sonucunda PVsyst değerlerinin gerçek santral üretim değerlerinden %4,3 daha fazla, PVGIS üretim sonucunun ise %2,3 daha az olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: PVsyst, PVGIS, SARA-1, SARA-2, Güneş Enerjisi

Modeling and Simulation Analysis of Grid-Connected Solar Power Plant: Case of Ağrı/Çukurçayır Village 999 kW Solar Power Plant

Abstract

The parallel advancements in technology in the energy sector, the role of renewable energy sources in energy production is increasing day by day. This growth has particularly drawn attention to solar energy power plants in both the world and our country in recent years. Within the scope of this study, a simulation study was conducted on the Palma solar energy power plant (Palma GES) located in Ağrı province using the PVsyst and PVGIS software. A simulation study was performed to investigate the parameters affecting the power plant's energy generation. The SARA-1 meteorological database was utilized in the PVsyst simulation, while the SARA-2 meteorological database was employed in PVGIS. The proximity of these databases to the GEPA values was analyzed. The obtained electricity generation values from the simulation studies were compared with the actual generation values of the power plant. Due to the variations in meteorological databases used in the simulation programs and the extent of their software, differences in electricity generation values were observed. Additionally, when comparing the simulation programs, the PVsyst software produced more detailed and analytical result reports. As a result of the study, it was observed that the PVsyst values were 4.3% higher than the actual power plant generation values, while the PVGIS generation result was 2.3% lower.

Keywords: PVsyst, PVGIS, SARA-1, SARA-2, Solar Energy

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye, 397184@ogr.ktu.edu.tr oakyazi@ktu.edu.tr 385894@ogr.ktu.edu.tr 385893@ogr.ktu.edu.tr

¹<https://orcid.org/0009-0008-1069-4428> ²<https://orcid.org/0000-0001-6266-2323> ³<https://orcid.org/0009-0006-6235-7541>

⁴<https://orcid.org/0009-0002-7077-0521>

1. Giriş

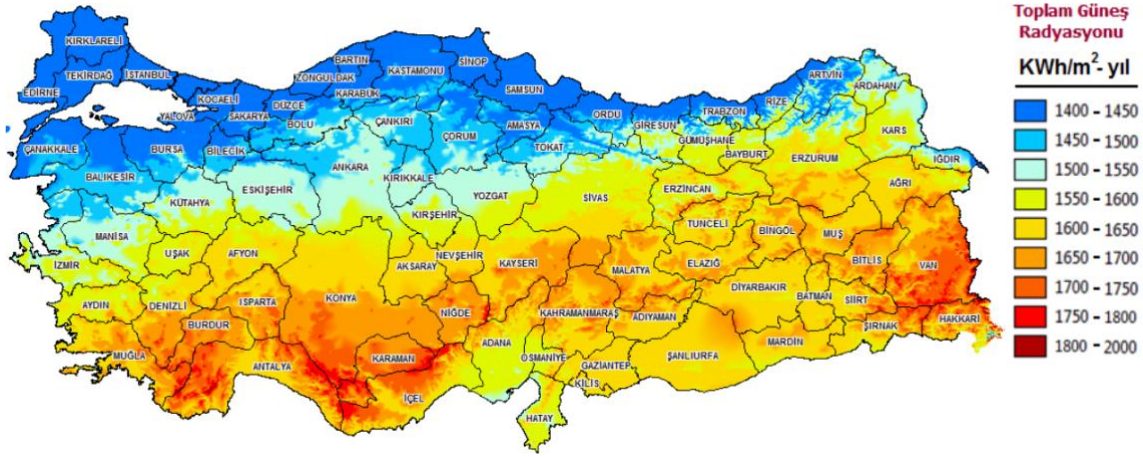
Enerji ihtiyacı, toplumların gelişebilmesi için en temel etkenlerden biridir. Sanayi, ulaşım, evsel kullanım ve ticari faaliyetler gibi çeşitli sektörler büyük ölçüde enerji tüketimine sahiptir (Aydın, 2015). 2022 yılında küresel elektrik tüketimi bir önceki yıla göre %2,61 artarak toplam 28.510 TWh'e ulaşmıştır (Global Electricity Review, 2022). 2022 yılındaki elektrik üretiminin %36'sı kömür, %22'si doğal gaz, %3'ü farklı fosil kaynaklardan, %15'i hidro enerjisi, %9'u nükleer enerji, %7.6'sı rüzgardan, %4.5'i güneşten, %2.4'ü biyoenerjiden ve %0.5'i diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşmaktadır (Global Electricity Review, 2022).

Enerji talebi küresel olarak sürekli artmaktadır, aynı zamanda bu durum, sürdürülebilirlik, enerji güvenliği ve çevresel etkiler gibi önemli sorunları beraberinde getirmektedir. 2022 yılında sera gazı emisyonlarının %72'si enerji sektöründen kaynaklanmaktadır (Bamisile ve ark, 2022). Bu iklim değişikliği tehdidi ile mücadele etmek için birçok ülke karbon emisyonlarını azaltacak politikalar geliştirmektedir (Öktem, 2008). Bu politikalara verilebilecek en büyük örnek ise Paris'te 2015 yılında gerçekleştirilen Taraflar Konferansı'nda (COP 21) imzalanan Paris İklim Antlaşmasıdır. Anlaşma gereği 2030'a kadar %50 sera gazı salınımının engellenmesi, 2050 yılına gelindiğinde ise net sıfır emisyon hedefine ulaşılması hedeflenmektedir (IPCC, 2014).

Fosil kaynaklarının azalması, çevre kirliliği ve küresel ısınma gibi nedenlerden dolayı enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim son yıllarda büyük bir önem kazanmıştır (Shazad, 2015). Günümüzde hidroelektrik, rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisi santralleri gibi birçok yenilenebilir enerji santrallerine küresel çapta yatırımlar yapılmaktadır (IRENA, 2023). Sadece 2022 yılında dünyada elektrik üretiminin yaklaşık %12'si rüzgâr ve güneş enerji santrallerinden karşılanmıştır (IEA, 2022). Dünyaya ulaşan güneş ışınlarının sahip olduğu enerji miktarı 4×10^{16} EJ ve bu enerjinin yaklaşık 5×10^4 EJ'den yararlanılabilir (Kabir, 2018). Dünyamızın sahip olduğu güneş potansiyeline ve son yıllardaki yenilenebilir enerji teknolojilerindeki gelişmelere bakıldığında güneş enerjisi sektörünün enerji üretimindeki yeri oldukça önemlidir. 2022 verileri incelendiğinde, güneş enerjisi santrallerin 1,284 TWh'lik elektrik üretimi gerçekleştirmiştir. Dünya'da güneş enerji santralleri incelendiğinde 306 bin 973 MW kurulu güç ile ilk sırada Çin yer almaktadır. İkinci sırada 95 bin 209 MW ile ABD, üçüncü sırada ise 74 bin 191 MW ile Japonya yer almaktadır (URL-1). Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeline bakıldığında; yıllık olarak ortalama güneşlenme süresi 2.741 saat ve ortalama toplam ışınım değeri $1.527,46 \text{ kWh/m}^2$ 'dir (Bilhan ve Emikönel, 2021). Türkiye'nin ortalama global güneş radyasyon dağılımı Şekil 1'de verilmektedir. Bu verilere bakıldığında Türkiye, coğrafi konumu sebebiyle güneş enerjisi potansiyeli bakımından birçok Avrupa ülkesinden daha iyi bir konumdadır (Gyam, 2022). Türkiye'deki güneş enerji santralleri 2022 Mayıs ayında, toplam elektrik üretiminin %9,3'ünü karşılamıştır (Hakyemez, 2022). TEİAŞ tarafından 2022 Aralık ayında

yayınlanan kurulu güç raporuna göre Türkiye’de 9.353 adet güneş enerji santrali bulunmasıyla birlikte toplam kurulu güç 9.425,4 MW olduğu belirtilmektedir (TEİAŞ, 2022).

Bu çalışmada Ağrı ilinde bulunan güneş enerji santralinin simülasyonu farklı yazılım programları kullanılarak tasarlanmış ve analizi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sistem simülasyonu için kullanılan programların karşılaştırılması yapılmıştır. Simülasyon değerlerinin hangi parametrelere bağlı olduğu incelenmiş ve elde edilen değerler gerçek santral değerleriyle karşılaştırılmıştır.



Şekil 1. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA)

2.Literatür Araştırması

Kınalı, Karaman ilinde 1000 kW, Konya 500 kW ve 250 kW kurulu güçlere sahip GES’lerin PVGIS, PVSOL, PVSyst yazılımlarındaki santralin tasarımını yaparak gerçek enerji üretim değerleriyle karşılaştırmasını yapmıştır (Kınalı, 2019). Atılım ve arkadaşları, Aydın ilinde bulunan 40 kW kurulu güce sahip Albatur Enerji GES ve 40 kW kurulu güce sahip Dülger GES verimlerini, gerçek üretim değerlerini ve PVSyst yazılım sonuçlarını karşılaştırmıştır (Atılım ve ark., 2019). Özden ve arkadaşları, Ankara’da kurmuş oldukları fotovoltaiik sistemlerin, performanslarını üç farklı yazılım (PVSol, PVSyst, HelioScope) kullanarak farklı modül tipleri üzerinde çalışmalarda bulunmuşlardır (Özden ve ark., 2020). Alkan, İstanbul’da 169 kWp’lık doğu-batı yönelimli çatı tipi güneş enerjisi santralini PVSOL ve PvGIS yazılımlarında simüle ederek gerçek zamanlı yıllık üretim verileriyle karşılaştırmıştır (Alkan, 2019). Haydaroğlu ve arkadaşı, Dicle Üniversitesi bünyesinde 250 kWp DC kurulu güce sahip olan güneş enerji santralini PVSyst simülasyon programı ile çalışmalarda bulunarak santralin analizini yapmışlardır (Haydaroğlu ve Gümüş, 2016). Ceylan ve arkadaşı, Isparta ili içerisinde 1MW kurulu güce sahip güneş enerji santralini PVSOL, Helioscope, Polysun ve PVGIS yazılımlarında simüle ederek santralin analizini yapmışlardır (Ceylan ve Taşdelen, 2018). Literatürde yapılan benzer çalışmalar Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Literatür Araştırması

Referans	Yıl	Tasarım Bölgesi	Yazılım	Şebeke Bağlantısı	Kapasite (kW)	Tasarım Kriteri
(Shiva Kumar ve Sudhakar)	2015	Bhopal, Hindistan	PVsyst, PVGIS	On grid	10.000	Teknik
(Akcan ve ark.)	2020	Batman, Türkiye	PVsyst	On grid	30	Performans Oranı ve Sistem Kaybı
(Sarı ve ark.)	2020	Sivas	PVsyst	On grid	10.000	Ekonomik
(Mehadi)	2021	Dhaka, Bangladesh	PVSOL, PVsyst, SAM	On grid	59,1	Teknik ve Ekonomik
(Kumar ve ark.)	2021	Bikaner, Hindistan	PVsyst	On grid	0,7	Teknik
(Yalılı)	2021	Van	PVGIS	On grid	1.000	Ekonomik
(Atik ve Sekin)	2022	Balıkesir, Türkiye	PVSOL, HOMER	On grid-Of grid	7-50	Potansiyel Ekonomik ve
(Bakır ve Yıllancı)	2022	Ağrı, Antalya, Balıkesir, İstanbul, İzmir, Konya ve Samsun	PVsyst	On grid	1.215	Tekno- ekonomik Analiz
(Varlı ve ark.)	2022	Ankara, Türkiye	PVGIS	On grid	50.000	Potansiyel ve Yatırım
(Salmi ve ark.)	2022	Cezayir	PVsyst	On grid	12,6	Teknik ve Ekonomik
(Biberici)	2023	Konya, Türkiye	PVSOL	On grid	12	Teknik, Ekonomik ve Çevresel

3. Materyal ve Metot

3.1. Benzetim Yazılımları

3.1.1. PVsyst Yazılımı

PVsyst yazılımı, İsviçre Cenevre Üniversitesi tarafından geliştirilen fotovoltaik sistemler için kullanılan bir benzetim programıdır (Akcan ve ark., 2020). PVsyst yazılımında, fotovoltaik sistemlerin benzetim çalışması ile enerji üretimi, ekonomik analiz ve sistem kayıpları gibi parametreler elde edilmektedir. Bu program Metenorm, NASA ve PVGIS gibi meteorolojik veri tabanları sunmaktadır (URL-2). Tablo 2’de bu veri tabanlarının özellikleri gösterilmektedir. PVsyst genellikle mimarlar, mühendisler ve araştırmacılara yönelik olarak hazırlanmış bir simülasyon programıdır (Etcı ve Bilhan, 2021).

3.1.2.PVGIS Yazılımı

PVGIS, geniş veri tabanı bulunan meteorolojik verileri kullanarak fotovoltaik sistemlerde elde edilen enerji üretiminin analizini yapan tarayıcı tabanlı bir yazılımdır. (URL-3). PVGIS Avrupa Komisyonu bünyesindeki bilim hizmetleri merkezi olan JRC (ortak araştırma merkezi) tarafından yürütülen bir projedir. Bu proje kapsamında ücretsiz olarak web tabanlı bir simülasyon programı hazırlanmıştır. Simülasyon programında koordinat veya yer seçimi yapılarak ortalama günlük ve aylık elektrik enerjisi üretimi, metrekare başına ortalama aylık ve yıllık küresel ışınım miktarı grafik ve tablo olarak çıktılar verilebilmektedir (Haydaroğlu, 2017). Çalışma kapsamında kullanılan simülasyon programlarının karşılaştırmalar Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 2. Meteorolojik Veri Kaynaklar

	GEPA	Metonorm 8.0	PVGIS	NASA
Veri Alınan Bölge	Dünya Çapında	Dünya Çapında	Dünya Çapında	Dünya Çapında
Veri Değerleri	Saatlik	Aylık	Saatlik	Aylık
Veri Kaynağı	Meteoroloji istasyonları, radarlar, uydular, meteoroloji balonları	Meteoroloji istasyonları, radarlar	SARAH, NSRDB, COSMO CM-SAF, ERA-5	Satellites
Veri Alınan Yıl Aralığı	1971- 2023	1961-2015	2005-2016	1983-2005
Alınan Değişken Veriler	Sıcaklık, nem, rüzgâr yönü ve hızı	GHI, DHI, rüzgâr yönü ve hızı	GHI, DHI, Sıcaklık rüzgâr yönü ve hızı	GHI, Sıcaklık

DHI: Yaygın Yatay Işınım
GHI: Global Yatay Işınım

Tablo 3. Yazılım Özellikleri

	PVSyst	PVGIS
On/Off Grid Şebeke Tasarımı	√	×
Meteorolojik Veri Tabanı	√	√
Işınım Değeri Çıktıları	√	√
PV Sistem Bileşen Seçimi	√	×
Kayıp Analizi	√	√
PV Sistem Bileşen Ekleme	√	√
Fizibilite Analizi	√	×
Gölgelendirme ve 3D Tasarım Analizi	√	×
Karbon Emisyonu Analizi	√	×

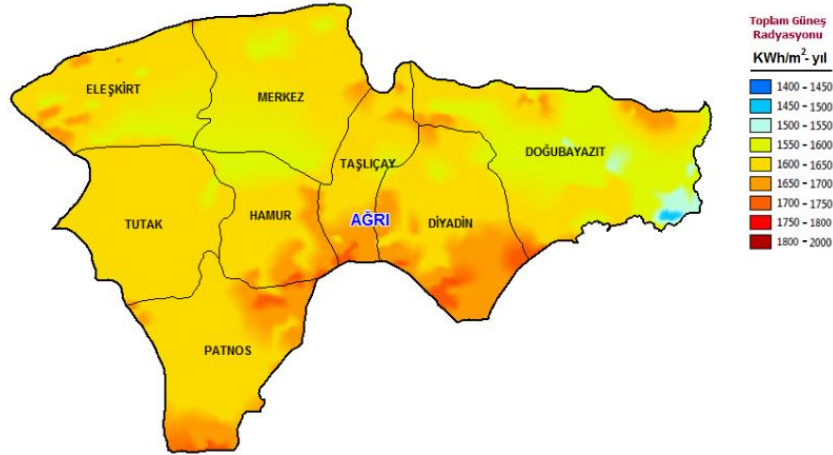
3.2.Bölgenin Konumu ve Meteorolojik Veriler

Palma güneş enerji santrali Türkiye'nin Ağrı ilinin Çukurçayır köyü mevkesine kurulmuştur. Çukurçayır köyü, Ağrı il merkezine 3,41 km uzaklıkta olup, 39.7072552 enleminde ve 42.9870141 boylamındadır. Şekil 2'de Palma GES'in uydu görüntüsü verilmiştir (URL-4).



Şekil 2. Palma GES Uydu Görüntü

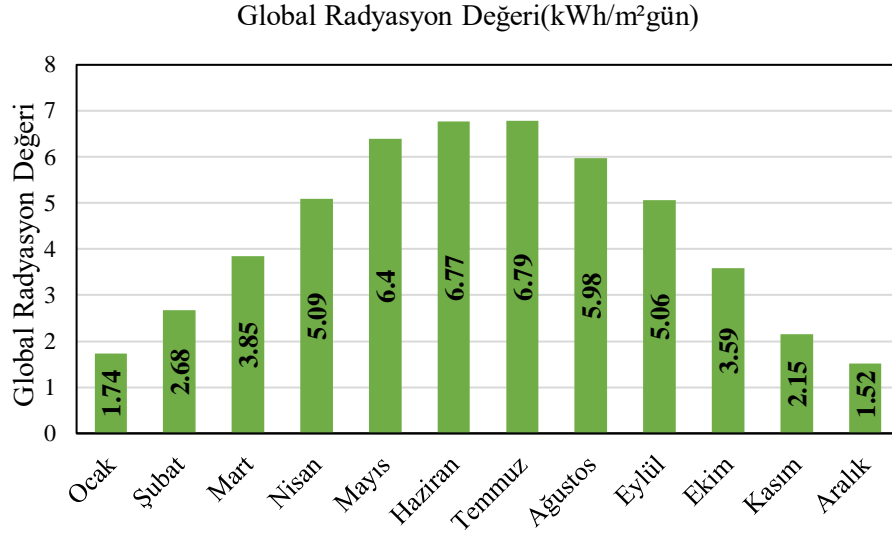
Şekilde görüldüğü gibi santral, Şeryan Çayı'nın yakın mevkesine konumlandırılmıştır. Genel olarak bakıldığında arazi tipi tarım arazisi olma özelliğindedir. Güneş Enerji Potansiyeli Atlası (GEPA) Ağrı ilinin yıllık toplam güneş radyasyon değerleri Şekil 3'te verilmiştir.



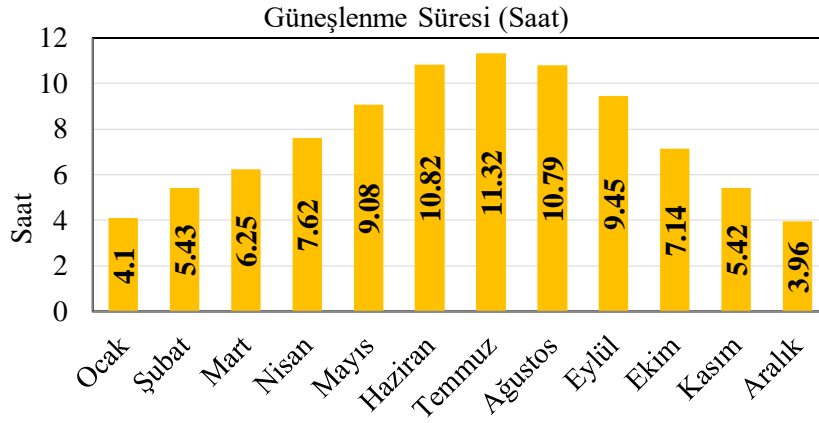
Şekil 3.Ağrı İli Toplam Güneş Radyasyon haritası

GEPA alınan bilgilere göre bölgenin global radyasyon değerleri Şekil 4'te verilmiştir. Değerlere bakıldığında yıllık ortalama global radyasyon değeri $1569 \text{ kWh/m}^2/\text{yıl}$ olarak hesaplanmıştır. Bu veriler sonucunda Ağrı ilinin Türkiye ortalamasından daha fazla ısınım değerine sahip olduğu görülmektedir. GEPA 'dan alınan bilgiler ışığında Ağrı ili aylık güneşlenme süreleri

Şekil 5’te verilmiştir. Aylık değerler incelendiğinde Ağrı ilinin yıllık güneşlenme süreleri ortalaması 2.779 saat olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4. Aylık Global Radyasyon Değerleri



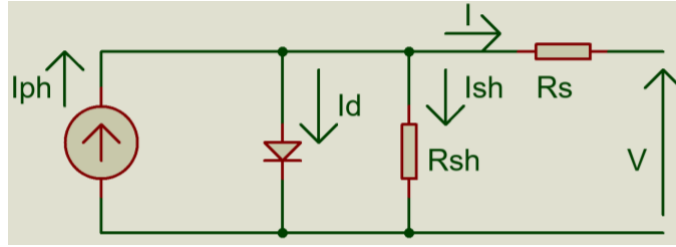
Şekil 5. Aylık Işınlanma Süreleri

3.3.Sistem Bileşenleri

3.3.1.Güneş Paneli

Çalışma kapsamında On-Grid güneş enerji santrali incelenmiştir. Yüzeyine gelen ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren sistemlere ‘fotovoltaik panel’ veya ‘güneş paneli’ denmektedir (Kılıç, 2015). Güneş panelleri, güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirmede kullanılan en temel ekipman olup, optik ve elektriksel yönleriyle güneş enerjisi-elektrik dönüşümünde doğru bir şekilde seçilen galyum arsenit, silisyum, kadmiyum tellür gibi yarı iletken malzemelerden meydana gelmiş

diyotlardır. Bu paneller birbirleri ile seri ve paralel bağlı güneş hücrelerinden meydana gelmektedir (Çolak, 2010). Bir PV panelin verimi içerisinde kullanılan hücre modeline göre değişmektedir. Güneş hücresinin tek diyotlu eşdeğer devresi Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6. Güneş Hücresinin Eşdeğer Devresi

I_{ph} güneş ışınlarının sayesinde üretilen akımı, R_s seri direnci çıkıştaki gerilim düşümünü, R_{sh} paralel direnci hücredeki sızıntı akımlarını, I hücrenin çıkış akımını ve V ise çıkış gerilimini ifade etmektedir. Güneş hücreleri üzerine ışık düştüğünde uç terminallerinde 0,5 V civarlarında gerilim indüklenmektedir. Güneş hücreleri seri ve paralel bağlanarak gerilim akım değeri değişmektedir (Adak ve ark., 2019). Hücreler seri bağlandığında çıkış gerilim değeri, paralel bağlandığında ise akım değeri artmaktadır. Seri bağlı R_s direncinin değeri R_{sh} direnci değerinden oldukça küçüktür. Bu yüzden R_{sh} direnci açık devre kabul edildiğinde çıkış akım formülü denklem (1)’de verilmiştir.

$$I = N_p I_{ph} - N_p I_0 \left[e^{-[q((V/N_s) + (I R_s / N_p))] / nkT_c} - 1 \right] \quad (1)$$

N_s : Güneş Panelinde Kullanılan Seri Hücre Sayısı

N_p : Güneş Panelinde Kullanılan Paralel Hücre Sayısı

n : İdeallik Faktörü

k : Boltzmann Sabiti ($1,380622 \times 10^{-23}$ J/K)

q : Elektron Yükü ($1,601917 \times 10^{-19}$ C)

I_0 : Diyotun Ters Doyma Akımı

T_c : Hücre Sıcaklığı

R_{sh} direnci açık devre kabul edildiğinde çıkış gerilim formülü denklem (2) de verilmiştir.

$$V = [(nkT_c) / q] \ln [(I_{ph} + I_0 - I + N_p) / I_0] - I R_s \quad (2)$$

Denklem (1) ve (2) kullanılarak elde edilen panel çıkış gücü denklem (3) te verilmiştir.

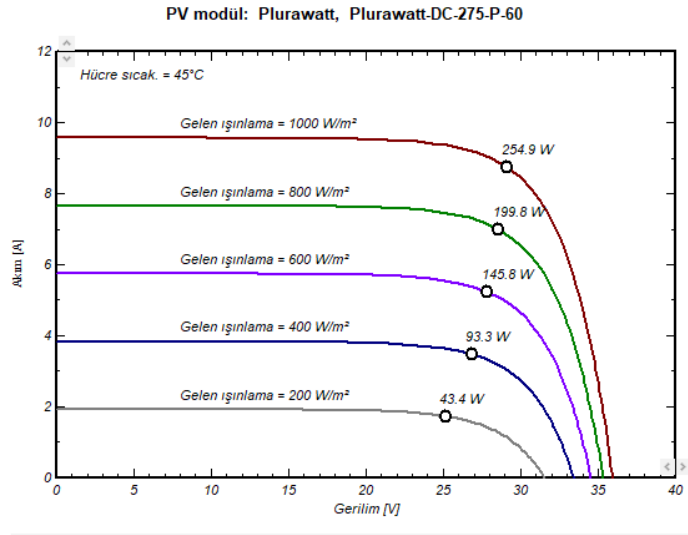
$$P = [(nkT_c) / q] \ln [(I_{ph} + I_0 - I + N_p) / I_0] - I R_s \cdot [N_p I_{ph} - N_p I_0] \cdot [e^{-[q((V/N_s) + (I R_s / N_p))] / nkT_c} - 1] \quad (3)$$

Güneş panellerinde üretilen güç değeri; üzerine gelen ışımının eğimine, yüzeyin temizlik oranına ve hava durumuna göre değişim göstermektedir. Bu çalışma kapsamında 2020 yılında Ağrı ilinde kurulumu tamamlanmış olan güneş enerji santrali incelenecektir. Aktif enerji üretimi yapan tesiste Plurawatt marka 275 W gücünde 4356 adet polikristal güneş paneli kullanılmıştır. Toplamda 60 adet hücre kullanılan panel 31,27 V maksimum gerilime ve 8,86 A maksimum çıkış akımına sahiptir. Etiket değerleri Tablo 4'te, verilmiştir. Tabloda verilen değerler 25 °C panel sıcaklığında ve 1000 W/m² ışınım altında ölçülmüştür.

Tablo 4. Etiket Değerleri

PLURAWATT DC 60-POLİKRİSTALİN PANEL ELEKTRİK DEĞERLERİ	
Panel Güç Sınıfı	275
Panel Hücre Tipi	Polikristalin Hücre
Panel Model Tipi	PW DC 275 P60
Nominal Güç Aralığı	0 ile +5 Wp
V _{mpp}	31,27
I _{mpp}	8,86
V _{oc}	38,37
I _{sc}	9,48
Maksimum güç Sıcaklık Katsayısı (T _{pmax})	-0,38%
Kısa Devre Akımı Sıcaklık Katsayısı (T _{isc})	0,05%
Açık Devre Gerilimi Sıcaklık Katsayısı (T _{voc})	-0,34%
Çalışma Gerilimi Sıcaklık Katsayısı (T _{v_{mpp}})	-0,34%
Panel Çalışma Sıcaklığı Aralığı	40°C – 85°C
Maksimum Sistem Gerilimi	UL: 600V / IEC: 1000V
Nominal Çalışan Hücre Sıcaklığı (NOCT)	45+-2 C

Güneş enerji panellerinde sıcaklık arttıkça verim düşmektedir (Kerem ve ark, 2020). Tablo 4'te görüldüğü üzere tesiste kullanılan panel 40 °C ile 85 °C derece çalışma aralığına sahiptir. 45 °C sıcaklık altında ölçülen akım-gerilim değerlerine göre oluşturulan grafik Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Akım-Gerilim Grafiği

3.3.2.İnverter

İnverter kullanım amacı gereği güneş enerji panelinin ürettiği DC voltajı AC voltaja çevirerek trafoya iletmektedir (URL-5). Bu enerji üretim santralinde Huawei marka SUN2000-60KTL-M0 modeli kullanılmıştır. Bu model dizi inverteri olup 60 kW çıkış gücüne sahiptir ve tesiste toplamda 17 adet kullanılmıştır. İnverterin elektriksel özellikleri Tablo 5'te verilmiştir.

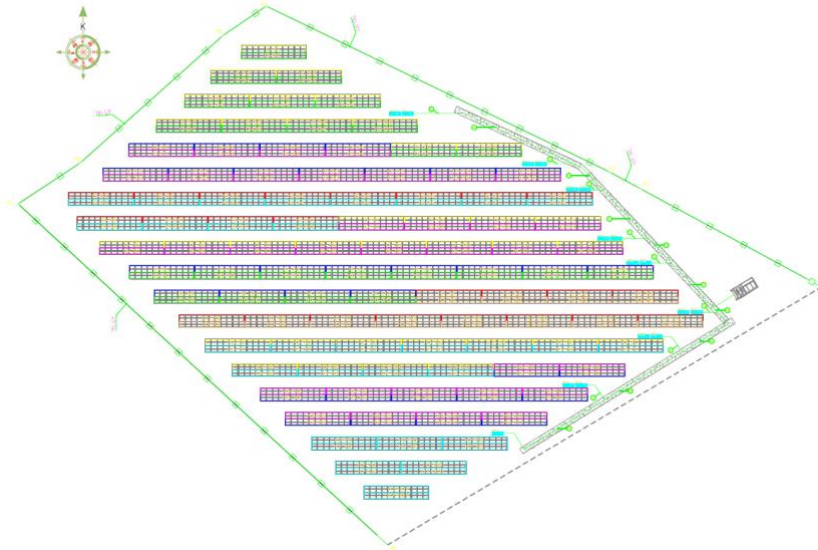
Tablo 5. SUN200-60-KTL-M0 Elektriksel Değerleri

SUN2000-60KTL-M0 Elektriksel Özellikler	
Maksimum DC Kullanılabilir Güç	67400 W
Maksimum Giriş Gerilimi	1100 V
MPPT Başına Maksimum Giriş Akımı	22 A
MPPT Başına Maksimum Kısa Devre Akımı	30 A
Başlangıç Gerilimi	200 V
MPPT Çalışma Gerilimi Aralığı	200 V - 1000 V
Giriş Anma Gerilimi	600 V @380/400 Vac; 720 V @480 Vac
Maksimum giriş Sayısı	12
MPPT Sayısı	6
Anma AC Aktif Gücü	60000 W
Çıkış Anma Gerilimi	220 V / 380 V, 230 V / 400 V varsayılan, 3W+N+PE;
Çıkış Anma Akımı	91,2A @380 Vac, 86,7 A @400 Vac, 72,2 A @480 Vac
Anma Frekansı	50 Hz / 60 Hz
Maksimum Çıkış Akımı	100A @380Vac, 95.3A @400Vac, 79.4A @480Vac

4. Benzetim Çalışması

4.1. Palma 999 kW Güneş Enerji Santrali

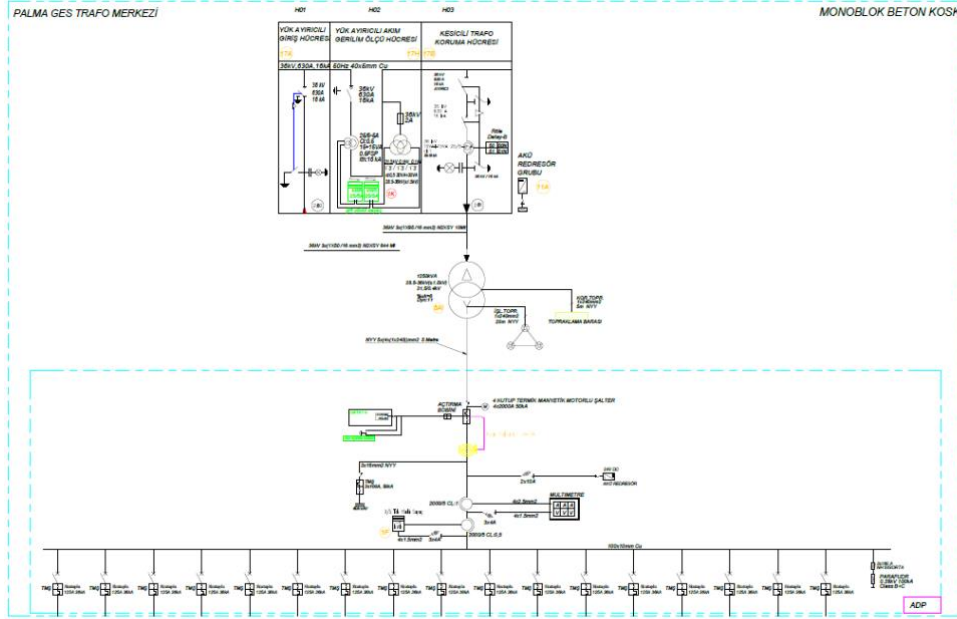
Palma GES, Ağrı ilinin Merkez ilçesine bağlı Çukurçayır Köyünde arazi üzerinde bulunmaktadır. Konum bilgileri Bölüm 3.2’de verilmiştir. 2020 yılında projelendirmesine başlanan tesis yine aynı yıl içerisinde faaliyete geçmiştir. DC kurulu gücü 1.197,9 kWp olan tesis 999 kW AC Kurulu güce sahiptir. Kurulu güç değerlerine göre nominal güç oranı 1,2’dir. Bu değere göre tesisin DC/AC oranı istenilen seviyede olmaktadır. Şekil 8’de genel yerleşim planına bakıldığında santralde kullanılan PV modüller yatay konumda sabitlenmiştir. Oluşturulan her bir dizide 22 adet PV modül mevcut olup birbirine seri olarak bağlanmıştır. Diziler arası mesafe 3,5 metre seçilmiş ve modüller 25° açı ile yerleştirilmiştir. Bu açının verilmesinin sebebi güneş ışınlarının modül yüzeyine 90° açı ile düşmesini sağlamaktır (Dal, 2021). Dizilerin azimut değeri 0° olarak belirlenmiş olup tam güneye bakacak şekilde konumlandırılmıştır.



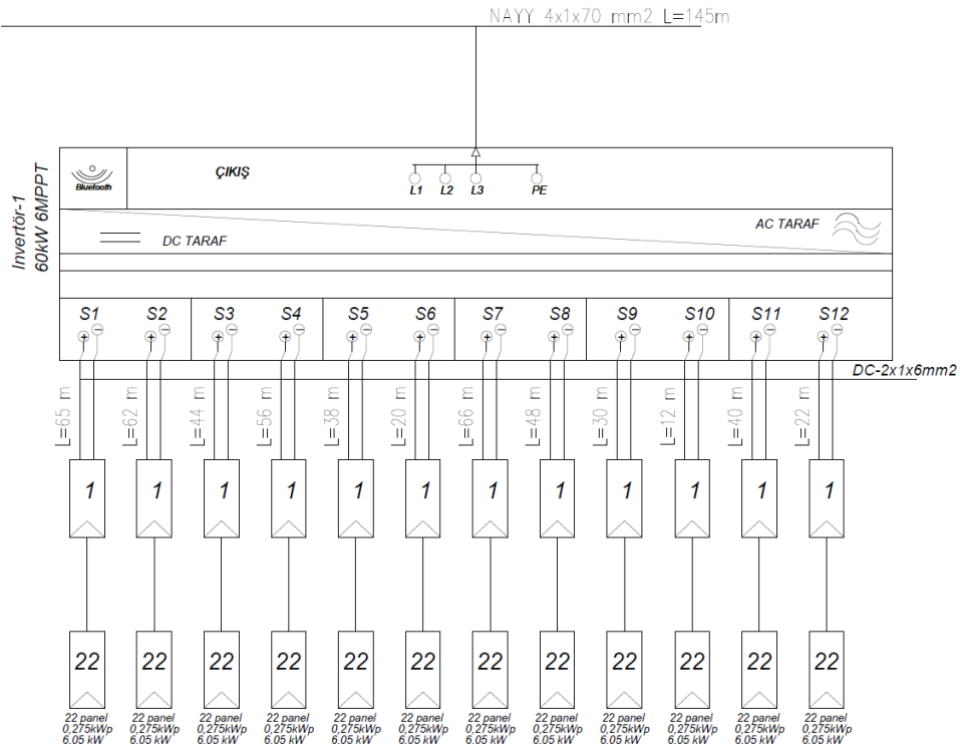
Şekil 8. Genel Yerleşim Planı

Tesiste, özellikleri Bölüm 3.3’te verilen Huawei marka 17 adet 60 kW çıkış gücüne sahip dizi inverteri kullanılmıştır. İnverter 6 adet MPPT’ye ve 12 adet girişe sahiptir. PV modüllerin bir araya gelmesiyle oluşturulan dizilerin, inverter kataloğunda belirtilen giriş değerlerine uygun olacak şekilde bağlantısı sağlanmıştır. Palma GES içerisinde bir adet trafo merkezi bulunmaktadır. Bu trafo merkezi içerisinde; yük ayırıcılı giriş hücresi, yük ayırıcılı gerilim akım ölçü hücresi, kesicili trafo koruma hücresi, ADP (Ana Dağıtım Panosu) ve primer gerilimi 31,5 kV, sekonder gerilimi 0,4 kV olan 1.250 kVA gücünde trafo vardır. Şekil 9a’da trafo merkezi ve Şekil 9b’de örnek inverter-dizi bağlantı

görseli verilmiştir. Bu trafoyla birlikte tesis, Ağrı TM-2 trafo merkezine bağlıdır. Palma GES'in genel teknik bilgileri Tablo 6'da verilmiştir.



Şekil 9(a). Palma GES Trafo Merkezi

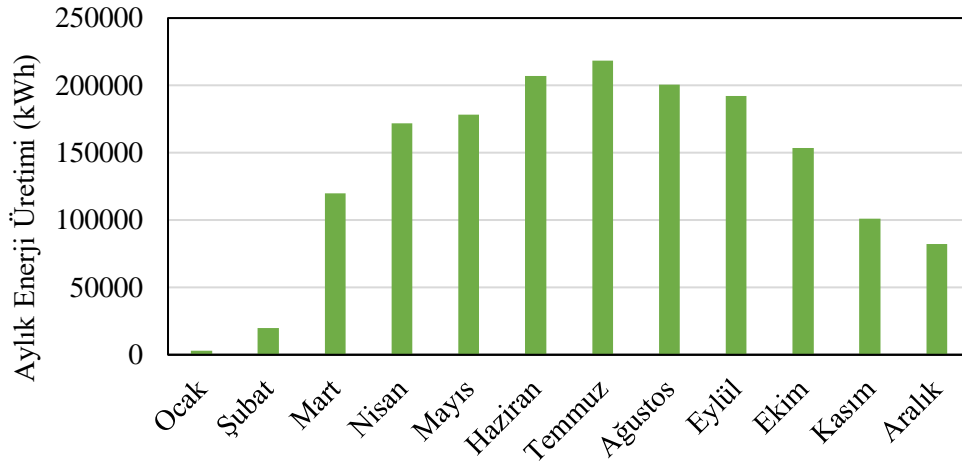


Şekil 10(b). Palma GES Trafo Merkezi

Tablo 6. Palma GES Teknik Bilgiler

Palma GES Teknik Bilgiler	
İl	Ağrı
İlçe	Merkez
Mahalle	Çukurçayır Köyü
Sistem Türü	Optimum Açıda Sabitlenmiş PV Sistem
Uygulama Yeri	Arazi
Panel Tipi	Polikristal Yapı
Panel Marka-Modeli	Plurawatt DC 60
Panel Gücü (Wp)	275
Panel Sayısı	4356
İnverter Marka-Modeli	Huawei SUN200-60KTL-M0
İnverter Gücü (kW)	60
İnverter Sayısı	17
Tesis DC Kurulu Gücü (kWp)	1197,9
Tesis AC Kurulu Gücü (kW)	999

Bu çalışma kapsamında Palma GES' te kullanılan Huawei marka inverterin arayüzünden alınan 2022 yılı aylık enerji üretim verileri kullanılmıştır. Kullanılan bu veriler Şekil 10'da verilmiştir.

**Şekil 11.** Palma GES 2022 Yılı Aylık Enerji Üretimi

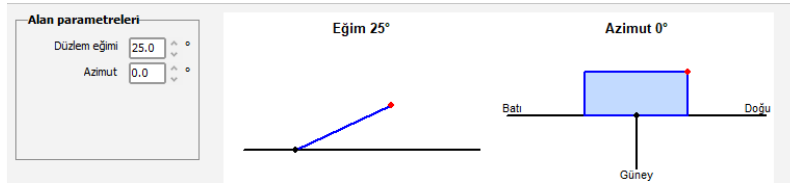
4.2. PVsyst Simülasyonu

PVsyst ile Palma GES'in benzetim çalışmasını yapmak için öncelikle on-grid (şebeke bağlantılı) seçeneği seçilmiştir. Daha sonra santralin bölge konumu seçilerek, hava durumu bilgileri ve ışınım değerleri farklı veri tabanlarından alınmıştır. Meteorolojik veri değerleri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Meteorolojik Veri Tabanları Değerleri

Ay	GEPA	Metenorm 8,0	NASA	PVGIS	
				SARAH-1	SARAH-2
Ocak	53,94	77,9	69,4	60,5	66,2
Şubat	75,04	92	87,6	82	94,56
Mart	119,35	152,5	127,1	104,9	100,7
Nisan	152,7	178	145,5	157,9	145,89
Mayıs	198,4	205,3	183,5	203,1	176,56
Haziran	203,1	239,7	216,3	226,5	202,74
Temmuz	210,49	228,5	217,3	224,5	213,34
Ağustos	185,38	217,3	199,6	191,1	210,45
Eylül	151,8	177,1	158,1	145,2	194,24
Ekim	111,29	128	113,1	119,8	157,97
Kasım	64,5	84,9	69,6	56,5	119,13
Aralık	47,12	67,7	56,4	39,4	67,26
Yıllık	1573,11	1764	1643,5	1611,4	1749,04

Panel yönelim giriş ekranında panel eğimi ve azimut değeri santralde bulunan panellerin ve santralin yönelimine göre değerleri girilmiştir. Şekil 11’de panel eğimi ve azimut değeri verilmiştir.

**Şekil 12.** Panel Açısı ve Yönelim Değeri

Sistem tanımla ekranında Palma GES’te kullanılan panel ve inverter seçimi yapılmıştır. Panel olarak Plurawatt-DC-275-P-60 modeli ve inverter olarak Huawei SUN2000-60KTL-M0 modeli seçilmiştir. Tesisin DC kurulu gücüne göre 4356 adet panel ve 17 adet inverter seçimi yapılmıştır. Seri panel sayısı 22 ve dizi sayısı 198 adet olarak tesisteki gibi seçilmiştir. Sistem bileşenlerinin seçildiği ekran Şekil 12’de verilmiştir. Sistem kayıpları PVsyst yazılımının belirlediği değerlere göre alınmıştır. Detaylı kayıp kısmı Bölüm 4’te incelenecektir. Palma GES’te tüketim ve depolama olmadığı için bu bölümlerde seçim yapılmamıştır.

PV modül seçimi

Mevcut Filtre: Tüm PV modüller Gereken tahmini modül sayısı: **4356**

Plurawatt 275 Wp 26V Si-poly Plurawatt-DC-275-P-60 Manufacturer

Optimizer kullan

Gerilim boyutlama : Vmpp (60°C) **27.2 V**
Voc (-10°C) **42.6 V**

İnvertör seçimi

Mevcut Çıkış gerilimi 400 V Tri 50Hz 50 Hz 60 Hz

Huawei Technologies 60 kW 200 - 1000 V TL 50/60Hz SUN2000-60KTL-M0 400Vac 2018 yılından beri

İnvertör sayısı: Çalışma gerilimi: **200-1000 V** İnvertör global gücü: **1020 kWac**

Multi-MPPT kullanımı Maksimum giriş gerilimi: **1100 V** **6 MPPT ile invertör**

Dizi boyutlandırması

Modül ve zincir sayısı

Seri mod. sayısı: 8 ile 23 arasında

Zincir sayısı: 169 ile 198 arasında

Aşırı yük kaybı: **0.0 %**

Nom. güç oranı: **1.17**

Modül sayısı: 4356 **Yüzey: 7180 m²**

İşletme koşulları

Vmpp (60°C) 599 V
Vmpp (20°C) 709 V
Voc (-10°C) 936 V

Yüzey ışınım: **1000 W/m²**

İmpp (STC) 1732 A
Isc (STC) 1877 A
Isc (STC'de) 1877 A

Veri maks STC

Maksimum işletme gücü: **1086 kW**
(1000 W/m² için ve 50°C)

Alan nominal gücü (STC) 1198 kWp

Şekil 13. Sistem Bileşenleri

4.3. PVGIS Simülasyonu

Şebeke bağlantılı güneş enerji santralinin PVGIS ile benzetim çalışmasını yapmak için santralin konum bilgileri seçildi. Meteorolojik veri tabanı SARA-2 seçilerek panel teknolojisi santralde kullanılmış olan panele göre polikristal olarak seçildi. Palma GES'in DC kurulu güç değeri girilerek sistem kaybı %14 olarak belirlendi. Paneller arazi üzerinde sabit konumda bulunmasından dolayı montaj konumu müstakil seçilerek panelin eğim değeri ve santralin azimut değeri girildi. Maliyet analizi yapılmayacağı için bu kısımda değer girilmedi. Palma GES'in simülasyon girdileri Tablo 8'de verilmiştir.

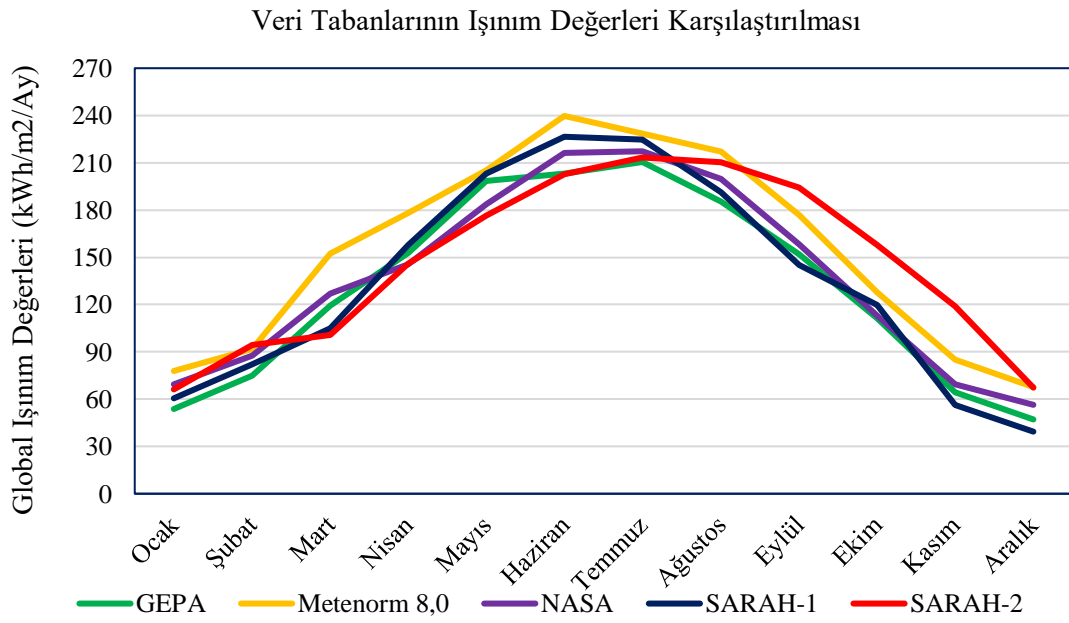
Tablo 8. Simülasyon Girdileri

Simülasyon Girdileri	Değerler
Lokasyon	39.709 Enlem, 43.001 Boylam
Kullanılan veri Tabanı	PVGIS-SARA-2
Eğim Açısı	25°
Azimut Açısı	0°
Kullanılan PV Türü	Polikristal
Kurulu PV (kWp)	1197,9
Sistem Kaybı	% 14

5.Bulgular ve Tartışma

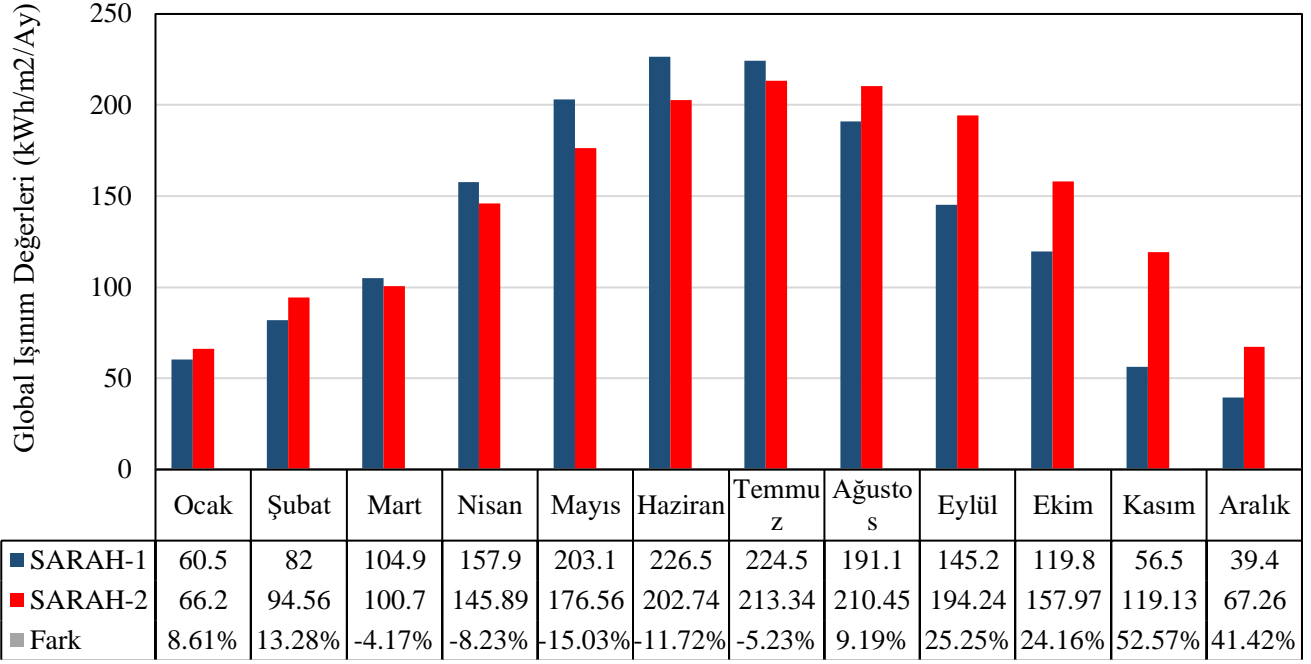
5.1. Meteorolojik Veri Analizi

Simülasyon programlarına bilgileri girilen Palma GES'in benzetim çalışması yapılmıştır. Elde edilen simülasyon sonuçları Şekil 8'de verilen gerçek aylık üretim değerleri ile karşılaştırılmıştır. Simülasyon programlarında kullanılmış olunan meteorolojik veri tabanlarının global ışınım değerleri Şekil 13'te karşılaştırılmıştır.



Şekil 14. Meteorolojik Veri Tabanlarının Karşılaştırılması

Şekil 13'te görüldüğü üzere referans alınan GEPA verilerine en yakın meteorolojik veri tabanı NASA ve SARA-1 olduğu görülmektedir. PVsyst yazılımı için SARA-1, PVMGIS yazılımı için de SARA-2 meteorolojik veri tabanı seçilmiştir. Şekil 14'te bu meteorolojik veri tabanlarının karşılaştırılması verilmiştir. SARA-1 ile SARA-2 arasında yıllık ışınım değerleri karşılaştırıldığında SARA-2 verilerinin %7,87 daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 15. SARAH-1 ve SARAH-2 Meteorolojik Veri Tabanı Karşılaştırılması

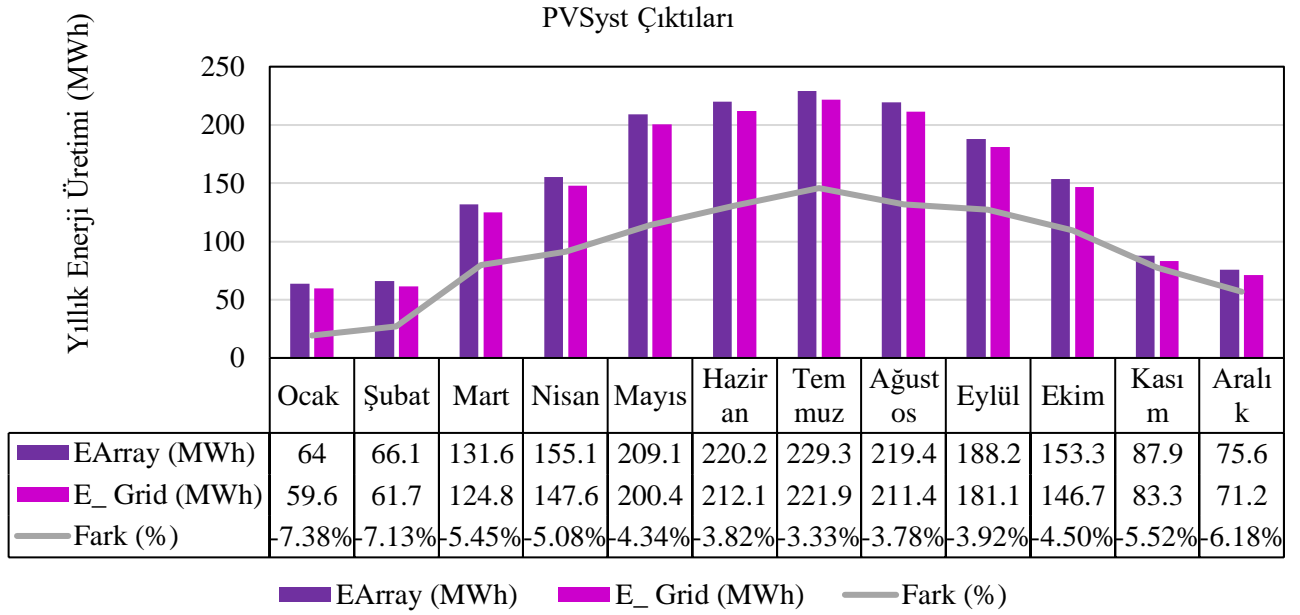
5.2. Simülasyon Analizi

5.2.1. PVsyst Simülasyon Analizi

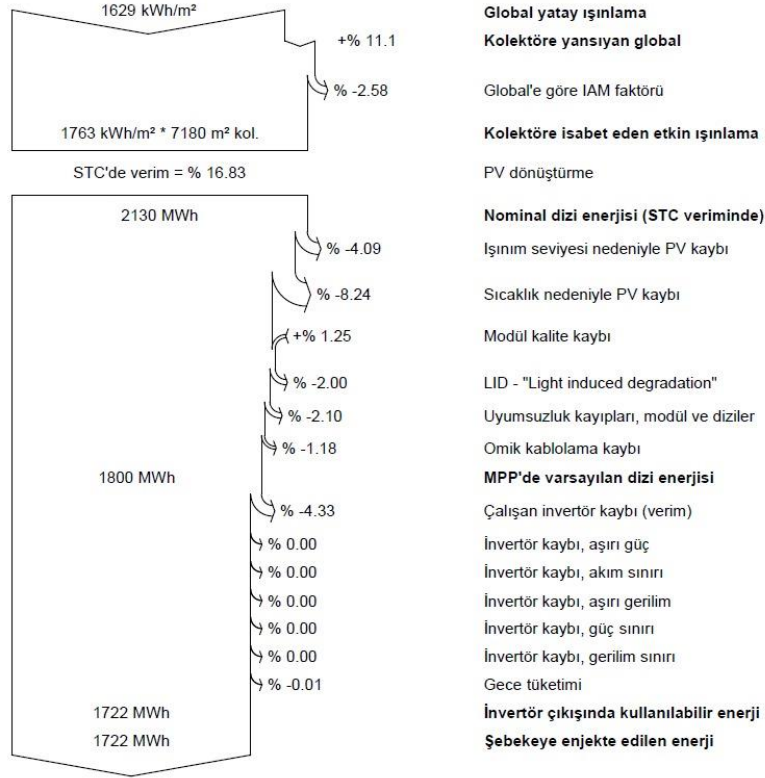
Palma GES'in Bölüm 4.2'de belirtilen sistem parametrelerine göre PVsyst üzerinde benzetim çalışması yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen çevresel ve elektriksel değerler Tablo 9'da verilmiştir. Tablo 9'a bakıldığında dizilerin çıkışındaki tahmini yıllık elektrik üretim değeri 1799,8 MWh'tır. Ortalama simülasyon kayıpları dahil edildiğinde tahmini olarak şebekeye aktarılan yıllık enerji miktarının 1721,7 MWh olduğu görülmektedir. Sistemin yıllık ortalama performans oranı %79,4 olarak hesaplanmıştır. Şekil 15'te dizilerin çıkışındaki enerji miktarı ile şebekeye aktarılan yıllık enerji miktarı fark grafiği verilmiştir.

Tablo 9. PVsyst Simülasyon Sonuçları

	GlobHor ³ (kWh/m ²)	DiffHor ⁴ (kWh/m ²)	T_Amb ⁵ (°C)	GlobInc ⁶ (kWh/m ²)	GlobEff ⁷ (kWh/m ²)	EArray ⁸ (MWh)	EGrid ⁹ (MWh)	pR ¹⁰ (Oran)
Ocak	44,3	28,89	-4,56	59,5	57,5	64,0	59,6	0,837
Şubat	51,7	37,33	-6,11	61,5	59,4	66,1	61,7	0,837
Mart	108,0	51,55	3,01	126,4	123,0	131,6	124,8	0,824
Nisan	141,1	65,46	7,19	152,0	148,2	155,1	147,6	0,811
Mayıs	207,2	75,23	12,28	209,7	204,4	209,1	200,4	0,798
Haziran	233,6	68,37	19,18	228,7	222,9	220,2	212,1	0,774
Temmuz	244,5	67,25	23,85	243,9	238,1	229,3	221,9	0,759
Ağustos	212,4	62,18	19,56	228,0	222,7	219,4	211,4	0,774
Eylül	162,5	53,90	16,44	192,4	187,8	188,2	181,1	0,786
Ekim	115,0	42,54	12,62	153,5	149,8	153,3	146,7	0,798
Kasım	59,7	29,45	3,34	84,2	81,8	87,9	83,3	0,826
Aralık	49,5	29,77	-5,23	70,0	68,0	75,6	71,2	0,848
Yıl	1629,5	611,92	8,55	1810,1	1763,4	1799,8	1721,7	0,794

**Şekil 16.** Üretilen Yıllık Enerji Miktarı Fark Grafiği³ GlobHor: Global Yatay Işınlanma⁴ DiffHor: Yatay Difüz Işınlanma⁵ T_Amb:Çevre Sıcaklığı⁶ GlobInc: Kollektöre Yansıyan Global⁷ GlobEff: IAM ve Gölgeleme İçin Düzeltilmiş Etkin Global⁸ EArray: Dizinin Çıkışındaki etkin enerji⁹ E_Grid: Şebekeye Enjekte Edilen Enerji¹⁰ pR: Performans Oranı

PVsyst benzetim çalışmasında sonucunda elde edilen kayıp diyagramı Şekil 16'da verilmiştir. Bu diyagrama göre standart test koşulları altında panel veriminin %16,83 olduğu görülmektedir. Bunun sonucunda standart test koşulları altında dizi çıkışındaki tahmini elektrik üretimi 2130 MWh olması beklenmektedir, pratikte bu gücü elde etmek mümkün değildir. Bunun sebebi PV, inverter, kablo ve uyumsuzluk kayıplarıdır. Yıllık tahmini %19,15 değerinde genel santral kaybı hesaplanmıştır.



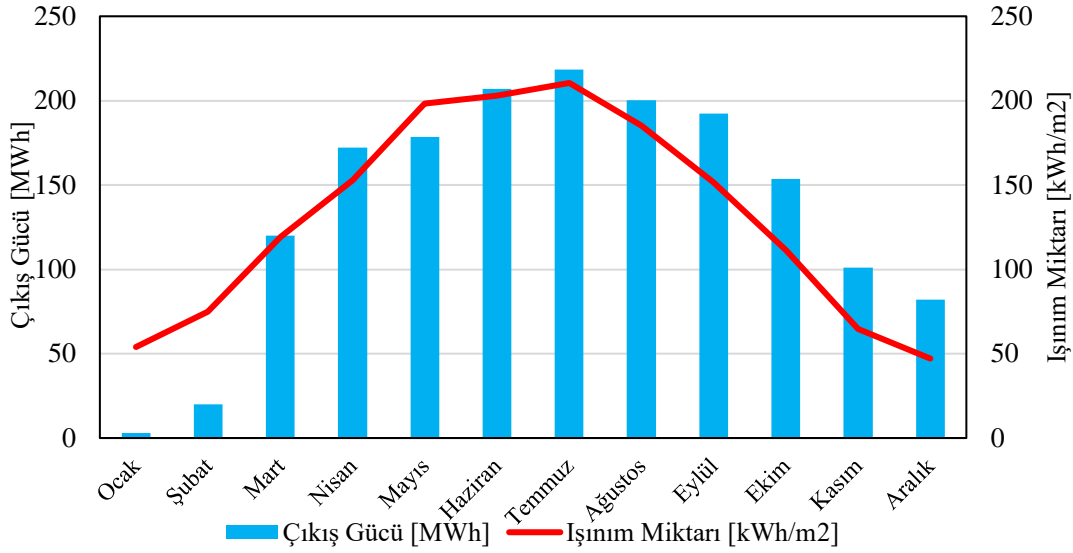
Şekil 17. PVsyst Kayıplar Diyagramı

5.2.2.PVGIS Simülasyon Analizi

PVGIS yazılımına, Bölüm 4.3'te verilen parametreler girilerek Palma GES'in simülasyonu gerçekleştirilmiştir. PVGIS simülasyonu sonucunda ortalama global ışınım miktarına göre aylık enerji üretimi hesaplanıp çıkış değerleri Tablo 9'da verilmiştir. Yıllık enerji üretiminin ışınım değerlerine göre değişimi Şekil 17'de gösterilmiştir. Simülasyon gerçekleştirilirken %14 sistem kaybına ek olarak %2,83 ışınım geliş açısı, %0,36 spektral etkiler, %8,11 sıcaklık ve düşük ışınımına bağlı kayıplarda sonuç raporunda yer almaktadır. Sistemin tahmini toplam genel kaybı %25,3 olarak sonuç raporunda hesaplanmıştır.

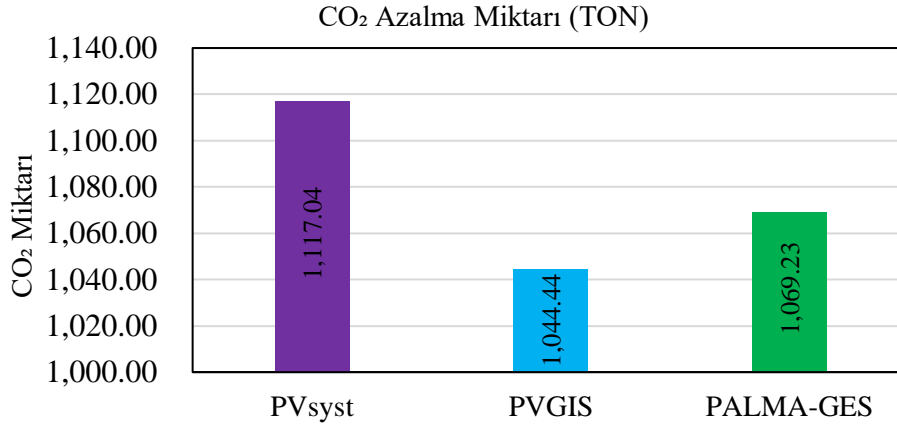
Tablo 8. PVGIS Simülasyon Sonuçları

Aylar	Işınım Miktarı (kWh/m ²)	Çıkış Gücü (MWh)
Ocak	61,17	62,61
Şubat	90,61	92,15
Mart	100,09	98,22
Nisan	147,14	137,54
Mayıs	183,74	167,57
Haziran	213,89	187,52
Temmuz	222,62	193,34
Ağustos	215,8	189,88
Eylül	191,56	172,49
Ekim	150,77	141,36
Kasım	108,69	107,60
Aralık	61,36	61,80
Yıllık	1747,44	1612,09

**Şekil 18.** PVGIS Üretim Sonuçları

5.2.3. Çevresel Analiz

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı tarafından yayınlanan bildiriye göre güneş veya rüzgârdan üretilen her 1 MWh'lik elektrik için 0,6488 ton CO₂ emisyonu katsayısı kullanılması gerekmektedir (URL-6). Yazılım programları ve Palma GES 2022 yılı üretimlerine bağlı olarak karbon emisyon miktarı Şekil 18'de verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi engellenen karbon emisyonu miktarı en fazla PVsyst yazılımı programında, en az engellenen emisyon değeri ise PVGIS yazılım programında hesaplanmıştır.



Şekil 19. Simülasyon Programları ve Gerçek Üretim Karbon Emisyon Değerleri

6. Sonuçlar ve Öneriler

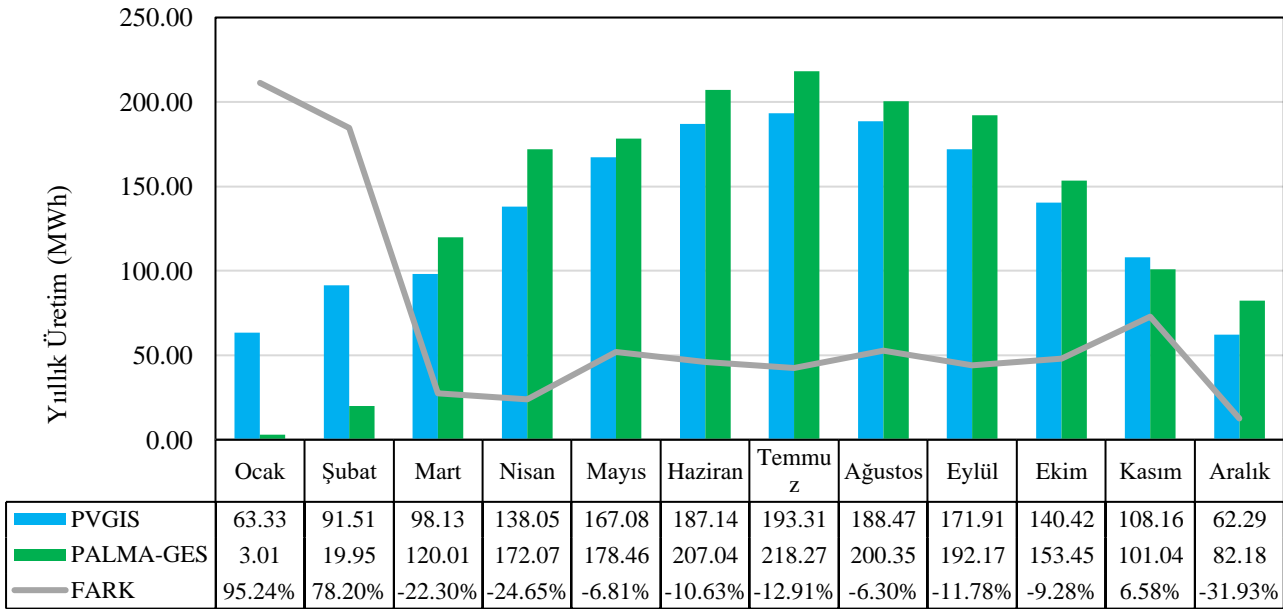
Bir bölgeye kurulacak güneş enerji sistemlerinin performans tahminini ve analizini yapabilmek için çeşitli simülasyon programları kullanılmaktadır. Simülasyon programları güneş enerji sistemlerinin performansının optimize edilmesi, enerji verimliliğinin artırılması ve yapılacak yatırımların daha iyi değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu çalışma kapsamında Ağrı ilinde bulunan 999 kW AC kurulu gücündeki Palma GES'in 2022 yılı gerçek üretim sonuçları PVsyst ve PVGIS yazılımları kullanılarak simüle edilmiştir. İki farklı simülasyon programına santralin parametreleri girilerek benzetim çalışması yapılmıştır. Tasarımı yapılan santralin simülasyondaki üretim sonuçları ve gerçek üretim verileri Tablo 9'da verilmektedir.

Tablo 9. Simülasyon ve Gerçek Üretim Sonuçları

Ay	PVsyst	PVGIS	PALMA-GES
Ocak	59,6	63,33	3,01 MWh
Şubat	61,7	91,51	19,95 MWh
Mart	124,8	98,13	120,01 MWh
Nisan	147,6	138,05	172,07 MWh
Mayıs	200,4	167,08	178,46 MWh
Haziran	212,1	187,14	207,04 MWh
Temmuz	221,9	193,31	218,27 MWh
Ağustos	211,4	188,47	200,35 MWh
Eylül	181,1	171,91	192,17 MWh
Ekim	146,7	140,42	153,45 MWh
Kasım	83,3	108,16	101,04 MWh
Aralık	71,2	62,29	82,18 MWh
Yıllık	1721,7	1609,80	1648,01 MWh

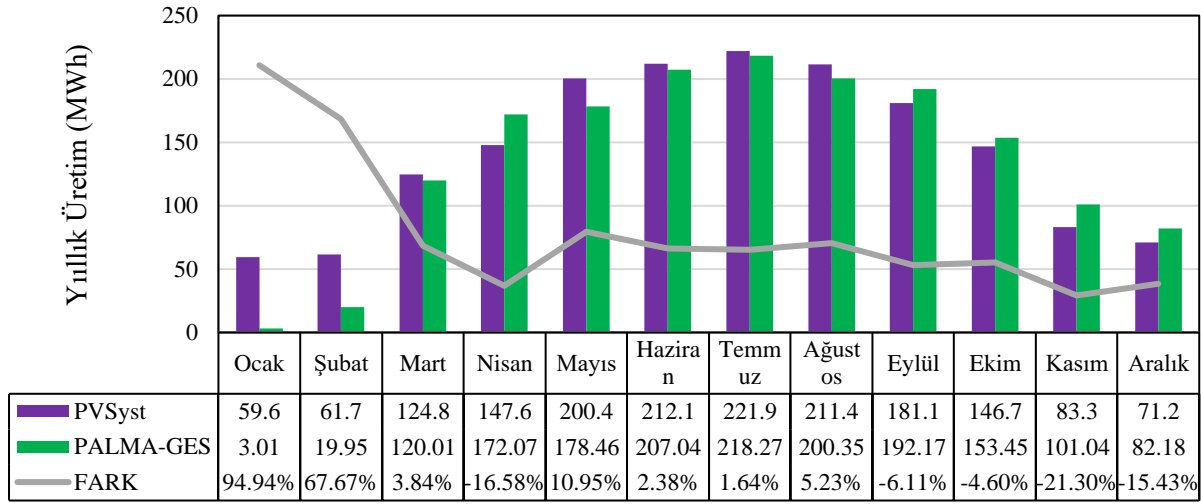
PVGIS ve enerji santralinin gerçek yıllık üretim değerlerinin karşılaştırılması Şekil 19'da gösterilmektedir. PVGIS'te yapılan benzetim çalışması sonucunda elde edilen üretim verileri

özellikle ilk aylara göre gerçek üretim değerlerinden daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebi 2022 yılında Ağrı ilinde yoğun kar yağışı olması sebebiyle panel yüzeylerinde temizlik yapılamamasıdır. Bu yüzden kış aylarındaki elektrik üretim değerleri Şekil 19’da görüldüğü üzere Ocak ve Şubat aylarında sırasıyla %95,24’lük ve %78,20’lik bir elektrik üretim farkı meydana gelmiştir. Yaz aylarındaki elektrik üretim değerleri karşılaştırıldığında simülasyon sonuçlarının gerçek üretim sonuçlarına daha yakın olduğu gözlemlenmiştir. Gerçek yıllık elektrik üretim değerleri PVGIS elektrik üretim değerleriyle karşılaştırıldığında %2,3’lük bir fark olduğu görülmektedir. Bunun sebebi PVGIS’in SARA-2 veri tabanını kullanarak üretim hesaplamalarını yapmasından ve gerçekte kurulu olan enerji santralinin tüm bilgilerinin benzetim çalışmasında kullanılamamasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 20. PVGIS ve Gerçek Üretim Karşılaştırması

PVsyst ile yapılan benzetim çalışmasında Palma GES’in yıllık elektrik üretim değerlerinin karşılaştırılması Şekil 20’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde bahar aylarından itibaren benzetim çalışması ile gerçek elektrik üretim değerleri arasındaki farkın azaldığı görülmektedir.



Şekil 21. PVsyst ve Gerçek Üretim Karşılaştırması

Bölüm 5.1’de SARA-1 veri tabanını kullanan PVsyst programında elde edilen meteorolojik verilerin, GEPA verilerine yakın olduğu belirtilmişti. Buna bağlı olarak benzetim çalışması ile gerçek elektrik üretim değerleri arasında %4,3 fark görülmektedir. Benzetim çalışması sonuçlarının daha fazla olmasının sebebi PVsyst içerisinde kullanılan parametrelerin (hava durumu, elektriksel kayıplar, bakım-onarım, çevresel etkiler vb.) ortalama değerleriyle analiz yapılmasından kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak PVsyst yazılımının PVGIS yazılımına göre gerçek santral verilerine daha yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışmaya katkılarından dolayı GESEL MÜHENDİSLİK ELEKTRİK ENERJİ İTH. İHR. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ. ye teşekkürlerimizi sunuyoruz.

Yazarların Katkısı

Bu çalışmada tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayım etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Adak, S., Cangı, H., & Yılmaz, A. S. (2019). Mathematical Modeling and Simulation of the Photovoltaic System's Output Power depends on Temperature and Irradiance. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 316-327. <https://doi.org/10.29137/umagd.456988>
- Akcan ve ark., (2020). "PVsyst Yazılımı ile 30 kW Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemin Modellenmesi ve Simülasyonu" *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Sayı 18, S. 248-261.
- Alkan, S. (2019). Çatı Üzeri Doğu-Batı Yönelimli Optimizerli Güneş Enerji Santralının Pilot Uygulaması ve Güney Yönelimli Güneş Enerji Santraline Göre Üretim Değerlendirmesi Ve Ekonomik Analizi. İstanbul Arel Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Atlım, F., Esen, B., Demirtaş, M., (2019). Balıkesir İlinde Farklı İki GES Tesisinin Panel Yerleşimi Açısından Verimliliklerinin Karşılaştırılması. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 679-696.
- Aydin, F. (2015). Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 35, Article 35.
- Bamisile, O., Wang, X., Adun, H., Joseph Ejayi, C., Obiora, S., Huang, Q., & Hu, W. (2022). A 2030 and 2050 feasible/sustainable decarbonization perusal for China's Sichuan Province: A deep carbon neutrality analysis and EnergyPLAN. *Energy Conversion and Management*, 261, 115605. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115605>
- Biberci, M. A. (2023). Techno-economic analysis of a solar-powered agricultural irrigation system using PV*Sol software: A case study in Konya. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 7(1), 156-162. <https://doi.org/10.31015/jaefs.2023.1.19>
- Bilhan, A., & Emikönel, S. (2021). Nevşehir İli Güneş Enerji Potansiyelinin Analizi ve Kurulu Güneş Enerji Santralleri. *European Journal of Science and Technology*. <https://doi.org/10.31590/ejosat.900024>
- Ceylan, O., & Taşdelen, K. (2018). Investigation of TheAccuracy of Photovoltaic Programs Simulation Resultsfor Isparta City. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, 18(3), 895-903. <https://doi.org/10.5578/fmbd.67547>
- Çınaroğlu, M.S. ve Nalbantoğlu, M. (2021). "Şebekeye Bağlı Üç Adet Fotovoltaik Enerji Santralının PVsyst Programı ile Analizi; Kilis Örneği", *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt: 8, No: 2, 2021 (675-687).
- Çolak, Ş. Ç. (2010). Fotovoltaik paneller yardımı ile güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminin maliyet analizi ve gelecekteki projeksiyonu. <http://dSPACE.yildiz.edu.tr/xmlui/handle/1/10563>
- Dal, A. R. (2021). Güneş Enerji Panellerindeki Optimum Eğim Açısının Verime Etkisinin İncelenmesi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 241-250. <https://doi.org/10.35193/bseufbd.878795>
- Etcı A., Bilhan A. K., (2021), PVSyst ile Konya İlinde Sabit ve Çift Eksenli Güneş Takip Sisteminin Modellenmesi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (32), 142-147.
- Global Electricity Review. (2022). EMBER. <https://ember-climate.org/insights/research/global-electricity-review-2022/>
- Gyam, M. (2022). Güneş Enerjisi Santrallerinin Türkiye ve Avrupa'daki Geri Ödeme Sürelerinin Karşılaştırması [Thesis]. <http://acikerisim.karabuk.edu.tr:8080/xmlui/handle/123456789/2400>
- Haydaroğlu, C., & Gümüş, B. (t.y.). (2017) Dicle Üniversitesi güneş enerjisi santralının PVsyst ile simülasyonu ve performans parametrelerinin değerlendirilmesi.
- Hakyemez, C., (2022). Aylık Enerji Bülteni, TSKB Ekonomik Araştırmalar,7,1-7. Erişim Adresi: <https://www.tskb.com.tr/uploads/file/enerji-bulteni-mayis-2022.pdf>
- Haydaroğlu, C., & Gümüş, B. (2017). Examination of Web-Based PVGIS and SUNNY Design Web Photovoltaic System Simulation Programs and Assessment of Reliability of the Results.
- IEA (International Energy Agency) (2022), Sustainable Recovery, Renewables 2022 Analysis and forecast to 2027 Special Report Erişim Tarihi: 20 Nisan 2023 Erişim Adresi: <https://www.iea.org/reports/renewables-2022>
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K.

- Pachauri and L.A. Meyer (eds.]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp
Shahzad, U. (2015). The Need For Renewable Energy Sources. ITEE Journal, 16.
- IRENA and CPI (2023), Global landscape of renewable energy finance, 2023, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- İzgi, E.ve Özcan, Ö. (2020). “Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Çatı Sisteminin Karşılaştırmalı Performans Analizi”, KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(3).
- Kabir, E., Kumar, P., Kumar, S., Adelodun, A. A., & Kim, K.-H. (2018). Solar energy: Potential and future prospects. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82, 894-900.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.094>
- Kerem, A., Atik, M., & Bayram, A. (2020). Fotovoltaik (PV) Panel Sisteminde Yüzey Soğutma İşleminin Elektrik Üretimine Etkisinin Deneysel İncelenmesi. International Journal of Engineering Research and Development, 12(2), Article 2. <https://doi.org/10.29137/umagd.659347>
- Kılıç, F. Ç. (t.y.). (2015). Güneş Enerjisi, Türkiye’deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri.
- Kınalı, M.Y., (2019). Güneş Enerjisi Simülasyon Programlarının Gerçek Verilerle Doğruluk Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Konya.
- Kumar, R., Rajoria, C. S., Sharma, A., & Suhag, S. (2021). Design and simulation of standalone solar PV system using PVsyst Software: A case study. Materials Today: Proceedings, 46, 5322-5328.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.785>
- Mehadi, A. A., Chowdhury, M. A., Nishat, M. M., Faisal, F., & Islam, M. M. (2021). Design, simulation and analysis of monofacial solar pv panel based energy system for university residence: A case study. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1045(1), 012011. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1045/1/012011>
- Öktem, A. U. (2014). Küresel Bir Risk: İklim Değişikliği. Akademik İncelemeler Dergisi, 3(1), Article 1
- Özden, T., Karaveli, A., & Akinoğlu, B. (2020). Fotovoltaik Sistemlerde Performans Hesaplama Modellerinin Ankara (Orta Anadolu) için Karşılaştırılması. European Journal of Science and Technology, 54-60.
<https://doi.org/10.31590/ejosat.653272>
- Salmi, M. (2022). "Desing and simulation of an autonomous 12.6 kW solar plant in the Algeria’s M’sila region using PVsyst software." Optik 262.169294.
- Shahzad, U. (2015). The Need For Renewable Energy Sources. ITEE Journal, 16
- Shiva K. B., & Sudhakar, K. (2015). Performance evaluation of 10 MW grid connected solar photovoltaic power plant in India. Energy Reports, 1, 184-192. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2015.10.001>
- Şahin, Z. R., Dinçer, F., & Yilmaz, A. S. (2022). 4 Kişilik Bir Ailenin Elektrik Enerjisi İhtiyacı İçin Şebeke Bağlantılı Güneş Enerjisi Santrali Tasarımı ve Simülasyonu. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 25(Özel Sayı), Article Özel Sayı.
<https://doi.org/10.17780/ksujes.1163049>
- TEİAŞ Aralık Kurulu Güç Raporları (2022). Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Web Site: <https://www.teias.gov.tr/kurulu-guc-raporlari>, (Erişim Tarihi: 10 Haziran 2023)
- Sarı, V., Özyiğit, F. Y. (2020): “Sivas ilinin farklı ilçelerinde şebeke bağlantılı güneş enerji santrallerinin tasarımı ve analizi." Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi 20:425-437.
- Yalılı, Mehmet. "Lisanslı Fotovoltaik Güneş Enerji Santrali Yatırımının Finansal Analizi: Van İli Örneği." Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 10.3: 1055-1074.
- URL-1: <https://ornatesolar.com/> (Erişim Tarihi: 20 Haziran 2023)
- URL-2: <https://www.pvsyst.com/> (Erişim Tarihi:25 Haziran 2023)
- URL-3: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en (Erişim Tarihi: 26 Haziran 2023)
- URL-4: <https://www.tkgm.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 27 Haziran 2023)
- URL-5: <https://tureco.com.tr/blog/gunes-paneli-invertoru-nedir> (Erişim Tarihi: 27 Haziran 2023)
- URL-6: <https://enerji.gov.tr/evced-cevre-ve-iklim-turkiye-ulusal-elektrik-sebekesi-emisyon-faktoru> (Erişim Tarihi: 12 Haziran 2023)