

Güneş Enerji Potansiyeli Yüksek Bir Bölgede PVsyst Yazılımı Kullanarak PV Sistemin Tasarımı ve Performans Değerlendirmesi

Design and Performance Evaluation of a PV System Using PVsyst Software in a Region with High Solar Energy Potential

Erşan Ömer YÜZER ^{1*}

¹Hakkari Üniversitesi, Çölemerik Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Hakkari, Türkiye

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 20.09.2024
Düzeltilme: 30.09.2024
Kabul: 04.10.2024

Keywords

Photovoltaic systems
Solar energy
Performance
PVsyst software
Simulation

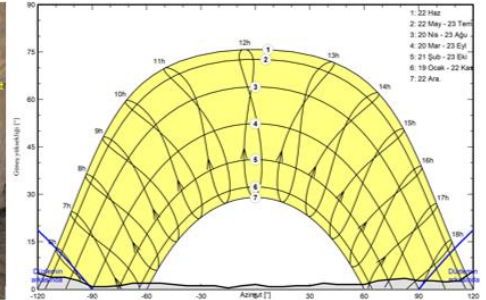
Anahtar Kelimeler

Fotovoltaik sistemler
Güneş enerjisi
Performans
PVsyst yazılımı
Simülasyon

Önemli Noktalar

Güneş enerjisi, geniş kullanılabilirliği ve ölçeklenebilirlik potansiyeli nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları arasında benzersizdir. Güneş enerjisinden güç üretmenin en popüler yolu ise PV teknolojisi veya PV sisteminin uygulanmasıdır. Bu bağlamda PV santral kurulumunun yapılacağı bölgeler için PVsyst veya diğer tasarım programları ile analizler yapılarak bölgenin performansı değerlendirilmelidir. Bu çalışmada, Hakkâri Üniversitesi Zeynelbey Yerleşkesinde belirlenen bir alanda PVsyst yazılım programı kullanılarak 1 MWp şebeke bağlantılı bir PV sistemin tasarım hususları ve sistemin tüm parametrelerine bağlı olarak performansı tartışılmaktadır.

Grafiksel Özet



Özet

Yenilenebilir Enerji'ye geçişin bir parçası olarak güneş enerjisi, sıfır emisyon hedefleri doğrultusunda ülkelerin vermiş oldukları taahhütlerin arasında önemli bir paya sahiptir. Bu çalışma, güneş enerjisi üretimi ve kullanımı için oldukça yüksek bir güneş enerji potansiyeline sahip ideal bir bölge olan Hakkâri'de bir üniversite kampüsünde PVsyst yazılım programı kullanılarak 1 MWp şebekeye bağlı bir Fotovoltaik (PV) santralinin tasarım hususlarını ve performansını tartışmaktadır. Hakkâri Üniversitesi Zeynelbey Yerleşkesinde yaklaşık olarak 6000 m² alan PV yerleştirme alanı olacak şekilde tasarlanan PV sistem simülasyonunda, PVsyst yazılımı, performans oranını ve sistemde meydana gelen farklı kayıpları analiz etmek için kullanılmıştır. Simülasyon sonuçları, PV sistem tarafından sağlanan enerji miktarı ile sistem kayıpları sonrasında oluşan enerji miktarını, verimliliği ve performans oranı gibi bilgileri içerir.

Abstract

As part of the transition to renewable energy, solar energy holds a significant share among the commitments made by countries toward zero-emission targets. This study discusses the design considerations and performance of a 1 MWp grid-connected photovoltaic (PV) plant on a university campus in Hakkâri, an ideal region with high solar energy potential, using PVsyst software. In the PV system simulation designed with approximately 6,000 m² of PV installation area at Hakkâri University's Zeynelbey Campus, PVsyst software was used to analyze the performance ratio and various losses occurring within the system. The simulation results include information on the energy generated by the PV system, the net energy after system losses, efficiency, and performance ratio.

*Corresponding author, e-mail: ersanomeryuzer@hakkari.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünya nüfusunun yükseliş gösterdiği günümüzde enerjiye olan talep hızlı bir şekilde artmaktadır. Türkiye, enerji matrisindeki PV enerjisinin payını artırmak için birçok farklı bölgesinde oldukça yüksek güneş enerji potansiyele sahiptir. Öyle ki 2016 yılında 833 MW olan güneş enerji kapasitesi 2022 yılı haziran ayı itibarıyla 8.479 MW değerine ulaşmıştır. Ancak bu enerji kaynağının Türkiye enerji matrisindeki yüzdesi diğer bazı kaynaklara kıyasla hala düşük düzeyde kalmaya devam etmektedir. 2024 yılı Temmuz ayı sonu itibarıyla Ülkenin Kurulu kapasitesindeki fosil kökenli kaynakların payı %41.2, su kaynaklarının payı %28.5, güneş %15.6, rüzgâr %10.9, jeotermal %1.5 ve %2.4 ile diğer kaynaklar olarak sıralanmaktadır [1].

Güneş enerjisinden güç üretmenin en popüler yolu, PV teknolojisi veya PV sisteminin uygulanmasıdır [2, 3]. PV sistem kullanımı, Türkiye'nin birçok bölgesinde güneş ışınımının yüksek kullanılabilirliği nedeniyle alternatif enerji olarak uzun vadede oldukça karlı olacaktır. Bu nedenle Türkiye'de dâhil birçok ülke temiz enerji üretmek için güneş enerjisinden faydalanarak elektrik enerji üreten PV sistem projeleri tasarlamakta ve bu projeleri uygulamaktadır. Bu bağlamda, yeni PV sistem ile enerji üretimi büyümeye devam ederken, istikrarlı PV sistem enerji üretim çözümleri giderek daha fazla ilgi görmektedir.

PV sistemini oluşturma süreci, konum koordinatları, iklim koşulları ve güneş ışınımı vb. tarafından etkilenir. Bu nedenle PV sistem tasarımı, sistem bileşenlerini tasarlamayı, seçmeyi ve değerlendirmeyi içerir [4]. PVsyst, PVSOL, PVGIS, SOLARPRO vb. çeşitli

simülasyon programları ile başarılı PV sistem tasarımları gerçekleştirilebilir [5,6]. PVsyst, kullanımda olan en yaygın standart simülasyon yazılımlarından biri olarak kabul edilir [7,8]. Bu nedenle literatürde mevcut birçok sayıda çalışma, PVsyst'in güneş enerjisi üretimini doğru bir şekilde modellemedeki etkinliğini göstermiştir [9]. Bu bağlamda, birçok araştırmacı, dünyanın farklı bölgelerinde özellikle de sıcak iklim bölgelerinde PV sistem tasarımı ve sistemin performansını değerlendirmek için PVsyst yazılımını kullanmıştır. Bu bölgelerde yapılan çalışmalara ait literatür bilgisi aşağıdaki şekildedir.

Yadav ve ark., Hindistan'da belirledikleri bir konumun ölçülen verilerini kullanarak 1 kWp PV sistemi PVsyst yazılımı ile tasarlamış ve simüle etmiştir [10]. Ramoliya, Hindistan'da şebekeye bağlı 1 MWp PV sisteminin simülasyonunu, PVsyst bilgisayar yazılım paketi kullanarak gerçekleştirmiş ve performansını değerlendirmiştir [11]. Grover ve ark., PVsyst yazılımını kullanarak Hindistan'daki bir tesis için 20 MW'lık şebekeye bağlı PV santralin simülasyonu ve boyutlandırılması yoluyla analizini derinlemesine açıklamıştır [12]. Rachit ve Giri, Hindistan'da bir üniversite kampüsünde 500 kW şebekeye bağlı bir PV sistemi PVsyst yazılımı ile tasarlayarak simüle etmiş ve ayrıntılı sistem yapılandırması ile sistem çıkışı ve kayıpları belirlemişlerdir [13]. Siregar ve ark., Endonezya'da bir Üniversite'deki Yapay Göl üzerinde 600 m²'lik bir alanı güneş PV yerleştirme alanı olarak kullanarak tasarım optimizasyon çalışmaları ve PV sistem simülasyonu sunmuşlardır [14]. Alnoosani ve ark., Suudi Arabistan'da bir Üniversite

kampüsünde 100 MW kapasiteli bir PV şebekesine bağlı elektrik üretim sisteminin tasarımını ve simülasyonunu PVsyst yazılımı ortamında sunmuşlardır [15]. Spea ve Khattab, Mısır'daki bir dinlenme tesisi için bağımsız bir PV sistemin tasarımını PVSyst simülasyon yazılımı kullanarak gerçekleştirmiş ve performans analizini yapmışlardır [16].

Satish ve ark., Dubai için PVsyst yazılımını kullanarak, şebekeye bağlı 200 kWp'lik monokristalin silikon güneş enerjisi santralini uygulanabilirliğini incelemişlerdir [17]. Vasanthkumar ve Naganagouda, PVsyst yazılımı kullanılarak Hindistan'da bir eyalette büyük ölçekli (5 MW) şebekeye bağlı güneş PV sistemlerinin tasarımı için standart bir prosedür geliştirmişlerdir [18]. Tallab ve Malek, PVsyst bilgisayar yazılımı kullanarak Cezayir'deki bir sahadaki 1 MW PV santralin tasarımını ve performansını eğim açısına bağlı olarak incelemişlerdir [19]. Ahmed ve ark., PVsyst yazılımını kullanarak Irak'ın Bağdat kentinde 250 kW şebeke bağlantılı PV sistemin tasarımı ve performans analizini sistem kayıplarını da hesaba katarak sunmuşlardır [20]. Abbood Al-Khazzar ise Irak'ın aynı kentinde bir okulda PVsyst kullanarak 5 kW şebeke bağlantılı bir PV sistem için teorik ayrıntılı analiz yapmışlardır [21]. Faiz ve ark., Pakistan'da bir Üniversite kampüsünde PVSyst kullanarak 3 MW PV santralini modellenmesi ve analizini kayıpları ve performans oranını dahil ederek araştırmışlardır [22]. Bukya ve ark., PVsyst simülasyon yazılım platformu ile Hindistan'da bir eyalette 15,6 kW şebeke bağlantılı bir PV enerji santrali tasarlamış ve güç kayıplarını hesaplayarak performans analizi yapmışlardır [23].

Türkiye'de birçok bölge PV santral uygulamaları için uygundur. Bu bağlamda PV santral kurulumunun yapılacağı bölgeler için PVsyst veya diğer tasarım programları ile analizler yapılarak bölgenin performansı değerlendirilmelidir. Bu şekilde farklı bölgeler için yapılmış birçok literatür bilgisi bulunmaktadır. Sancar ve Bayram yaptıkları çalışmada, Isparta ili için iki farklı tasarıma ve üç farklı açığa sahip yaklaşık 5000 m² bir alana sahip bir sera güneş enerjisi santralini PVsyst yazılımı kullanarak simüle etmiştir [24]. Çınaroğlu, Kilis ilinde yer alan 1040 kWp, 1029 kWp ve 1000 kWp güce sahip üç adet güneş enerjisi santrali ile PVsyst simülasyon programında oluşturulan ve bahse konu santrallerle aynı özelliklere sahip sistemlerin analizlerini yapmıştır [25]. Haydaroğlu ve Gümüş, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi bünyesinde 250 kWp gücünde bir güneş enerjisi santrali kurarak PVsyst simülasyon programı ile simülasyonunu yapmıştır. Ayrıca IEC 61724 standardında belirtilen performans kriterlerine uygun olarak performansı analiz edilmiştir [26]. Akcan ve ark., Batman ilinde birbirine bağlı 30 kW PV şebekenin tam bir modellemesi ve simülasyonunu PVsyst yazılım programı kullanarak yapmış ve performans oranı ile sistemde meydana gelen farklı kayıpları analiz etmişlerdir [27]. Türkiye'de dahil olmak üzere bütün dünya ülkelerinin yenilenebilir enerji kaynakları ile şebekelerini güçlendirmeleri önemli bir konudur. Bu çalışma, Hakkari Üniversitesi Zeynelbey yerleşkesinde belirlenen yaklaşık 6000 m² alan üzerinde kurulması planlanan 1 MWp güce sahip şebeke bağlantılı PV sistem tasarımını ve simülasyon odaklı bir

değerlendirmesini içerir. PVsyst yazılımı kullanılarak simule edilen PV sistemin elde edilen sonuçları değerlendirilerek analizi gerçekleştirilmiştir. Bulgular doğrultusunda sistemde meydana gelen farklı kayıplar incelenerek performansı analiz yapılmıştır. Ek olarak, bu araştırma, güneş enerji potansiyeli yüksek olan bir bölgede geniş kapsamlı PV sistem tasarımlarının uygulanabilirliği hakkında öneriler sunmaktadır. Bunun sonucu olarak, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin azaltılması yönünde optimum verimlilik ve çevresel sürdürülebilirlik için PV sistem projelerine rehberlik etmede doğru simülasyon tabanlı değerlendirmelerin temel rolü vurgulanmaktadır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Güneş enerjisi, geniş kullanılabilirliği ve ölçeklenebilirlik potansiyeli nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları arasında benzersizdir. PV sistemler ise güneş ışığının doğrudan güce dönüşümüne öncülük eden sistemlerdir [28]. En yaygın kullanılan PV sistemler, güvenilirlikleri ve verimlilikleri nedeniyle şebeke bağlantılı olanlardan oluşur [29]. Bu nedenle bu çalışmada Hakkâri Üniversitesi Zeynelbey Yerleşkesinde belirlenen bir alanda PVsyst yazılım programı kullanılarak 1 MWp şebeke bağlantılı bir PV sistemin tasarım hususları ve sistemin tüm parametrelerine bağlı olarak performansı tartışılmaktadır. Bu bölümde çalışmanın ana hatları ve modelleme çalışmaları detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

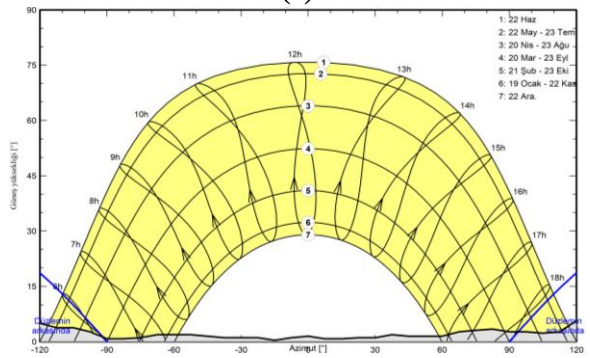
2.1. Çalışma Yeri ve Özellikleri

Yaklaşık olarak 673 dönüm toplam arazi alanına sahip Zeynelbey Yerleşkesi güney cepheye yönelen eğimli arazi yapısı nedeniyle PV

sistemlerin uygulanacağı elverişli bir bölgedir. Yerleşkede çalışma kapsamında belirlenen tasarım alanı 37.574° kuzey ve 43.752° güney enlemlerinde yer alan özellikle ilkbahar-yaz mevsimlerinde uzun saatler boyunca güneş ışınlarına maruz kaldığı için güneş enerjisi kullanımı için ideal bir yer olarak kabul edilir. Günlük ortalama güneş radyasyonu oranı metrekare başına yaklaşık 4.413 kWh.m^{-2} /gün'dür [30]. Maksimum 15.5°C , minimum 5.5°C ve ortalama 10.3°C sıcaklık değerine sahiptir. Yıllık ortalama 7.6 saat güneşlenme süresine sahip yerleşkede güneye dönük PV sistem uygulanacak oldukça fazla miktarda alan bulunmaktadır [31]. Şekil 1 (a), PV sistem simülasyonu yapılacak alan ve bu alana ait konum özelliklerini, Şekil 1 (b) ise PV sistem tasarımının yapılacağı alanda ufuk ana hatları ile yıllık güneş yörüngesinin özelliklerini göstermektedir.



(a)



(b)

Şekil 1: (a) PV sistem tasarım yeri ve konum özellikleri (b) Güneş yörüngesinin özellikleri.

2.2. PV Sistem Tasarımı

Bu çalışmanın temel amacı, 1 MWp'lik bir PV enerji santrali kurulması için adım adım tasarım hususlarını sunmak, seçilen alanda PV sistemi analiz etmek, santralin tasarım sorunlarını ve PVsyst yazılımını kullanarak tasarlanan santralin performans analizini yapmaktır. PVsyst yazılımı güneş PV güç santralının performans parametrelerinin tasarımı ve tahmini için en yaygın kullanılan yazılımlardan biridir ve bu çalışmada yazılım tarafından kullanılan temel veritabanı Meteonorm 8.0'dan gelmektedir [32,33]. Bu veritabanı PV sistemin modellenmesi için güvenilir bilgiler sağlar. PV sistem buradan sağlanan bilgiler ile bir ışıınım modeli kullanır ve çevresel giriş verisi olarak sıcaklık ve rüzgâr hızının yanı sıra albedo ve küresel yatay ışıınım (GHI) ve dağınık ışıınım (DHI) değerine ihtiyaç duyar [34]. 15 yıllık bir süreyi kapsayan bu veriler doğrultusunda PV sistemdeki davranışlar, kayıplar, verimlilik ve performans değerlendirmesi yapılabilir [35]. Çalışmada kullanılan PVsyst giriş parametreleri Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1: PVsyst yazılımında kullanılan giriş parametreleri.

Parametre	Değer/Özellik
Enlem	37.574 °N
Boylam	43.752 °E
Yükseklik	1795 m.
Veri	Meteonorm 8.0 (1985-2000)
Optimum eğim açısı	34°
Azimuth	0°
Albedo	0.20°
PV sistem gücü	1 MWp
PV Modül	CW Enerji_Monokristal CWT450 - 144PM - 166
İnvertör	Huawei Technologies SUN2000-100KTL-M1-400Vac

PV sistemler aracılığıyla enerji üretiminin coğrafi ve iklimsel faktörlere bağımlılığı nedeniyle değişken olduğunu dikkate almak gerekir. PV sistem tasarımında, PV panellerinin seçimi, düzenlenmesi, yönelimi ve boyutlandırılması ile ilgili titiz değerlendirmeler yapılarak sistemin yapılandırılması sağlanır [36]. Işıınım, PV modüllerin verimliliğini büyük ölçüde etkileyen bir parametredir. Bu nedenle en iyi sonuçları elde etmek için en iyi geliş açısının ve konumunun seçimi son derece önemlidir [37]. Belirli bir konum için eğim açısı öncelikle konumun enleminden etkilense de, iklim koşulları da eğim açısının belirlenmesinde önemli bir etkiye sahip olabilir. Yüzer ve Bozkurt bu çalışma ile aynı bölgede 37 ° eğim açısına sahip PV panel güç çıkışı üzerindeki etkisini incelemişlerdir [38,39]. Ancak bu çalışma da arazi yapısının eğimi göz önünde bulundurarak 34°'lik bir PV panel açısı ile güneye doğru yönlendirilmiş bir PV sistem tasarımı yapılmıştır. Bu parametreler göz önünde bulundurularak PV sistem tasarımında PV panel ve İnvertör özelliklerinin seçilmesi ve değerlendirilmesi önemlidir. Çalışmamızda ışıınım, kirlenme, sıcaklık, kablolama, İnvertör, güç elektroniği, ara bağlantılar ve şebeke kullanılabilirliği gibi güç kayıplarını hesaba katıyoruz. Hakkari Üniversitesi Zeynelbey Yerleşkesinde belirlenen alanda tasarlanan PV sistemde yer alan PV panel ve İnvertör özellikleri Tablo 2 'de gösterilmiştir.

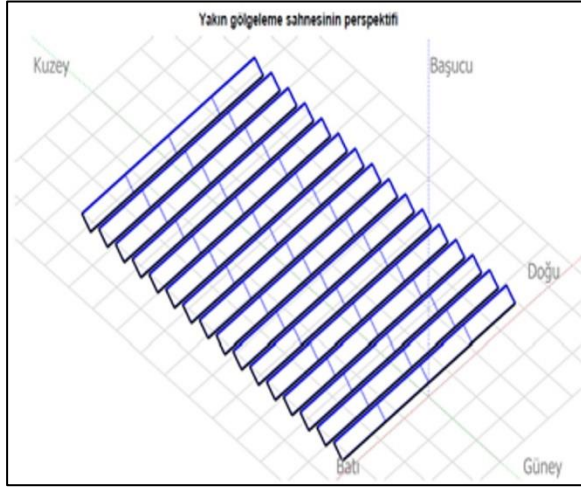
Tablo 2: PVsyst yazılımında tasarlanan sistemde PV panel ve invertör özellikleri.

PV Panel Özellikleri		İnvertör Özellikleri	
PV Panel Gücü	450 Wp	Birim Gücü	100 kWac
PV Modül Sayısı	2224	İnvertör Sayısı	9 adet
Modül	139 zincir x 16 Seri	Toplam Güç	900 kWac
P_{mpp}	912 kWp	Çalışma Gerilimi	200-1000 V
I_{mpp}	1540 A	Maksimum Güç	110 kWac
U_{mpp}	592 V	Nom. Güç Oranı	1.11
Toplam PV Gücü	1001 kWp	İnvertör Toplam Gücü	900 kWac

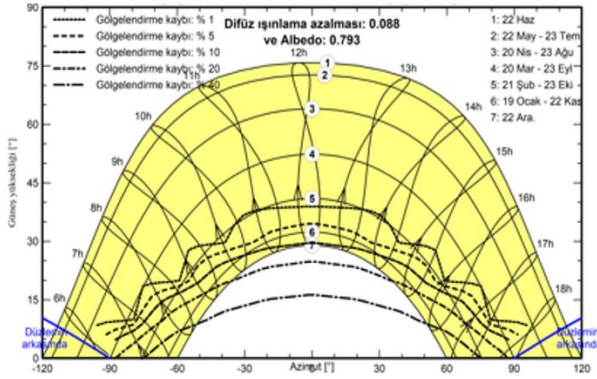
PV sistemin tasarımı için belirlenen alan veya planlanan güç hakkında bilgi, PV modülü ve İnvertör teknolojisini seçmek için önemlidir. PVsyst yazılım programı, güce, teknolojiye ve üreticiye göre birçok PV modülü ve İnvertör türü içerir [40]. Bu bağlamda PV sistem için belirlenen alan 1 MWp güç için 2224 PV modülünden, seri bağlı 16 PV modülünden ve paralel bağlı 139 diziden oluşur. PV ile birlikte çalışan ana bileşen şebekeye bağlı PV sistemindeki İnvertördür. PV sistem, 100 kW'tan oluşan 9 adet İnvertör'den oluşmakta ve İnvertörlerin 50 °C çalışma şartlarında nominal güç oranı 1.11 olarak kabul edilmektedir. Bunların yanı sıra sistem tasarımı yapılırken sistemin maksimum güç noktasının (mpp) max. ve min. değerler arasında kalacak şekilde olması sağlanmalıdır. Umpp, her zaman max. gerilimin altında kalır. Işınım seviyesinde ki artış ise daha düşük seviyelerdeki ışınlam değerine göre her modül için artan bir çıkış gücüne yol açar. Bu özelliklere bağlı olarak çeşitli kayıpların ve yakın gölgelenmelerin ayrıntıları da doğru enerji verimi için belirtilebilir.

Gölgeleme, güneş enerjisi sistemlerinin verimliliği üzerinde önemli bir etkiye sahip kritik

bir faktördür. Güneş panellerinin üzerine düşen gölgeler, panel verimliliğini azaltabilir ve dolayısıyla enerji üretimini olumsuz yönde etkileyebilir. PVsyst benzeri tasarım yazılımları, gölgeleme analizleri yaparak, sistemde potansiyel gölgeleme kaynaklarını belirler ve bu gölgelerin panel üzerindeki etkilerini değerlendirir. Doğru bir gölgeleme analizi, güneş enerjisi sistemlerinin optimal konumlandırılması ve verimliliklerinin maksimum düzeye çıkarılması için kritiktir [41]. Modeli oluşturulan PV sistem ön yüzünde gölge oluşturacak ağaç, ev gibi nesneler bulunmadığından sadece panel diziliminden kaynaklı birbirleri üzerine gün doğum ve batışına yakın zamanlarda bir gölgelenme olacağı varsayımıyla santralin gölgeleme çizimi Şekil 2 (a)'da gösterildiği gibi yapılarak sisteme aktarılmıştır. Şekil 2 (b)'de ise PV sistem üzerinde gölgeleme etkisinin ışınlam ve kayıp faktörleri gösterilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 2: (a) PVsyst yazılımında tasarlanan PV sistemin gölgeleme sahnesinin perspektifi **(b)** Eğrisi.

Tablo 3: PVsyst yazılımında tasarlanan sistemin genel sonuçları.

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR Oran
Ocak	90,0	27,53	-2,79	157,0	134,1	128,6	124,5	0,793
Şubat	99,5	30,26	-1,32	146,2	136,7	128,4	124,2	0,849
Mart	151,8	45,42	3,39	189,8	181,3	165,9	160,6	0,846
Nisan	194,9	54,28	8,51	211,8	201,7	180,7	175,0	0,826
Mayıs	228,8	59,46	13,62	219,5	207,9	182,5	176,7	0,804
Haziran	265,6	40,44	18,54	238,4	226,6	194,3	187,9	0,788
Temmuz	252,1	54,52	22,48	233,9	222,0	188,0	181,7	0,776
Ağustos	234,0	42,39	22,47	242,5	231,7	195,2	188,5	0,776
Eylül	190,8	36,62	17,61	229,4	219,8	189,5	183,1	0,798
Ekim	133,0	38,94	11,80	186,4	177,0	158,0	152,8	0,820
Kasım	92,9	28,36	4,41	153,1	135,1	125,5	121,5	0,793
Aralık	75,6	25,86	-0,52	133,1	110,2	104,9	101,5	0,762
Yıl	2008,9	484,10	9,92	2341,0	2184,1	1941,3	1877,9	0,802

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

Bu bölüm, PV sistem tasarımı bölümünde belirtilen parametreleri göz önünde bulundurarak ve önerilen sistemi analiz ederek tasarımı simüle eder ve sonuçları üretir. PVsyst yazılımında 450 Wp Monokristal PV panel ile 100 kW birim güce sahip İnvertör kullanılarak simüle edilen 1 MWp gücünde ki PV sistemin ayrıntılı olarak incelenmesi sonucu, denge ve ana sonuçları, giriş/çıkış enerji diyagramı, normalleştirilmiş üretim, günlük çıkış enerjisi, performans oranı ve kayıp diyagramı bu bölümde tartışılmıştır.

İlk olarak yıllık küresel ışıınım ve Mateonorm'a dayalı sonuçlar, projenin simülasyonu için gerekli olan Tablo 3'te sunulmaktadır. Mateonorm değerleri önemlidir çünkü PV sistem tasarımının yapılması istenen alanda yenilenebilir enerji potansiyelinin değerlendirilmesinde önemli bir husustur.

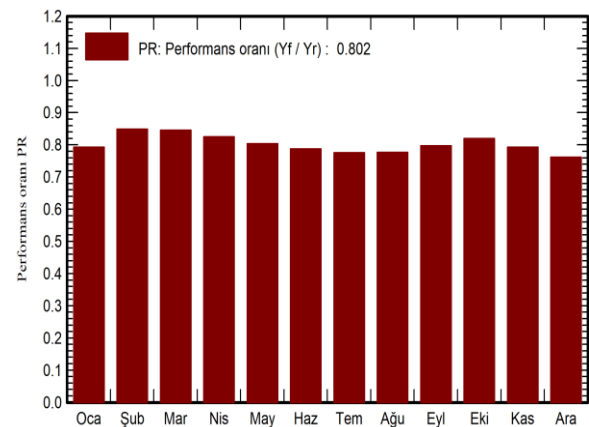
Tablo 3'te GlobHor; küresel yatay ışınlı, DiffHor; yatay difüz ışınlı, T_Amb; ortam sıcaklığını, GlobInc; kolektöre yansıyan küresel ışınlı, GlobEff; gölgeleme için düzeltilmiş etkin küresel ışınlı, EArray; dizinin çıkışındaki etkin enerjiyi, E_Grid; Şebekeye enjekte edilen enerjiyi, PR ise Performans oranını ifade etmektedir.

PVsyst yazılımı kullanılarak tasarlanan PV sistem tasarımından elde edilen ve Tablo 3'te yer alan bu sonuçlar, PV panel düzlemindeki küresel ışınlı, kirlenme kayıpları ve gölgeleme kayıpları dikkate alınarak etkili küresel ışınlı gibi değişkenleri içerir. Bu değişkenlerin dışında, PV sistem tarafından üretilen DC enerjisi, elektrik bileşenlerindeki kayıplar dikkate alınarak şebekeye enjekte edilen enerji, PV dizi ve sistem verimliliği de hesaplanır. Tablo 3'te belirtilen her değişkenin hesaplanan değerleri aylık ve yıllık değerler açısından elde edilmiştir. Değişkenlerin yıllık değerleri, aylık değerler üzerinden ortalamaları alınarak yıllık değerlere dönüştürülmüştür. Tablo 3 incelendiğinde, çalışma yeri için yatay düzlemdeki yıllık küresel ışınlı 2008,9 kWh/m² olarak hesaplanmıştır paneldeki yıllık küresel enerjisi 2341,0 kWh/m² ve kayıplardan sonra etkili küresel ışınlı ise 2184,1 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu ışınlı değerine bağlı olarak tasarlanan PV dizisinden üretilen yıllık DC enerji miktarı 1941,3 MWh ve şebekeye enjekte edilen yıllık AC enerji miktarı ise 1877,9 MWh'dir.

PV dizisi tarafından üretilen enerji, şebekeye enjekte edilen enerjiyle aynı olamaz. PV dizisinden gelen enerji, şebekeyi beslemek için

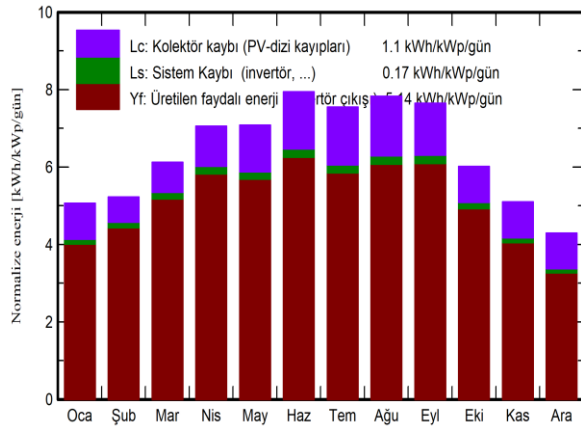
AC enerjisine dönüştürülmesi gereken DC enerjisidir. Bu sırada AC kablolama kaybı açısından bir miktar enerji kaybedilir. Tasarlanan 1 MWp PV sistem, şebekeye yıllık bazda 1877.9 MWh enerji enjekte eder. PV sistem, Ağustos ayında 188.5 MWh enerji üreterek bu ayda şebekeye daha fazla enerji enjekte etmiştir. Şebekeye enjekte edilen en düşük AC enerjisi miktarı ise Aralık ayında 101.5 MWh olarak gerçekleşmiştir.

Performans oranı, bir PV santralının kalitesini ölçen bir kalite faktörüdür. PV santralının teorik ve gerçek enerji çıktıları arasındaki ilişkiyi tanımlar. PR, enerji tüketimi ve kayıpların düşülmesinden sonraki enerjiyi gösterir. Genellikle, çalışma sırasında kaçınılmaz kayıplar nedeniyle Performans oranı %80 civarındadır. PR %80'e ne kadar yakınsa, sistem o kadar etkili ve verimli olacaktır [15]. Tasarımı yapılan 1 MWp gücündeki PV sistemde yıllık ortalama performans oranının (PR) %80.2 olduğu gözlemlenmiştir. Tablo 3 incelendiğinde, PR değerinin aylık bazda küçük değişikliklerle değiştiği görülmektedir. Monokristal PV panel kullanılan 1 MW'lık bir PV sistemin performans oranı Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3: PV sistem performans oranı grafiği.

Bu çalışmada toplam kayıplar, sistem kayıpları ve kurulu kWp/gün başına üretilen faydalı enerji gibi normalleştirilmiş üretimler simülasyon çalışmasında değerlendirilmiştir. Bu normalleştirilmiş üretimler PV sistem performansını değerlendirmek için standartlaştırılmış değişkenlerdir. PV dizisinin toplama kayıplarını, sistem kayıplarını ve inverter çıkışının üretilen faydalı enerjisini verir. Aylık üretimi ve kWh başına kayıpları açıkça gösterir. Şekil 2, PV sistemin kurulu kWp başına aylık normalleştirilmiş enerji üretim değerlerini göstermektedir.

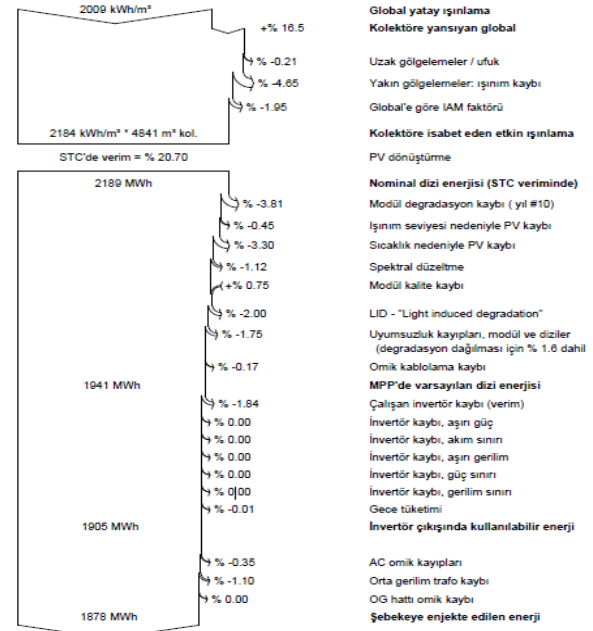


Şekil 4: PV sistemin kurulu kWp başına aylık normalleştirilmiş enerji üretimleri.

Şekil 4’de Lc; toplam kayıpları olarak ifade edilir ve tasarlanan PV sistemde 1,1 kWh/kWp/gün olarak hesaplanmıştır. Ls; sistem kaybıdır ve 0,17 kWh/kWp/gün değerindedir. Yf ise üretilen faydalı enerjiyi ifade eder ve tasarlanan sistemde 5,44 kWh/kWp/gün’dir.

Simüle edilmiş çalışmalardan elde edilen kayıplar diyagramı, PV santrali kurulumu sırasında karşılaşılabilecek çeşitli kayıpları veya dikkate alınması gereken kısıtlamaları analiz etmeye yardımcı olur. Bu çalışma kapsamında

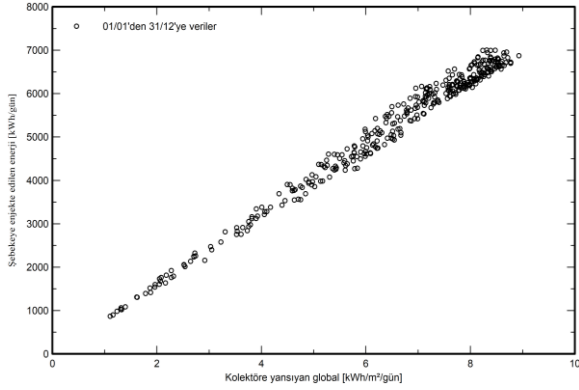
tasarlanan PV sistemdeki çeşitli kayıpları temsil eden kayıplar diyagramı Şekil 5’te görülmektedir.



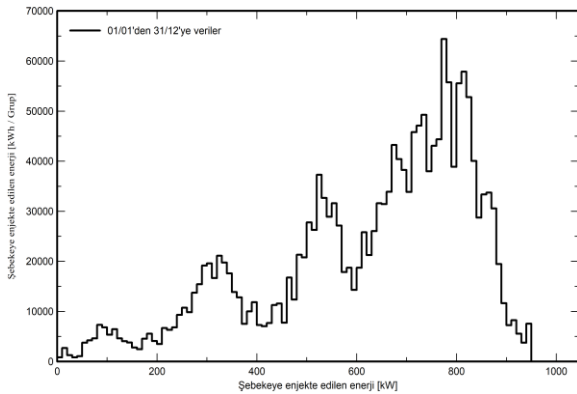
Şekil 5: PV sisteme ait yıllık kayıplar diyagramı.

Şekil 5’te gösterilen kayıplar diyagramına göre tasarlanan PV sistemin yatay düzlemindeki küresel ışınlım değerinin 2009 kWh/m² olduğu görülmektedir. Ancak panel yüzeyindeki etkin ışınlım 2184 kWh/m²’dir. Bu, ışınlım seviyesi nedeniyle enerji kaybına, yani %0,45’lik bir kayba neden olur. Bu etkin ışınlım bir PV modül veya dizinin yüzeyine düştüğünde elektrik veya elektrik enerjisi üretilir. PV dönüşümünden sonra, standart test koşullarında (STC) dizi nominal enerjisi 2189 MWh’dir. Standart test koşulları (STC) altında PV dizisinin verimliliği %20,70’dır. MPP’deki yıllık dizi enerjisi 1941 MWh’dir. Bu aşamada oluşan çeşitli kayıplar şunlardır: %3,3 sıcaklık nedeniyle kayıplar, %0,75 PV modülün bozulması nedeniyle kayıplar, %1,75 modül dizisi uyumsuzluğu nedeniyle kayıplar ve %0,17 Omik kablolama kayıplarıdır. İnverter çıkış tesisinde yıllık bazda kullanılabilir enerji 1905 MWh olup burada

oluşan %0,35 AC omik kayıpları ve %1,10 OG trafo kaybı nedeniyle şebekeye enjekte edilen enerji miktarı 1878 MWh'dir. Bu bağlamda tasarlanan PV sistemde şebekeye enjekte edilen enerji miktarına ait dağılım grafikleri Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 6: PV sistemde panellere yansıyan küresel ışınımına göre şebekeye enjekte edilen enerji miktarı.



Şekil 7: PV sistemde şebekeye enjekte edilen yıllık enerji miktarı.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Gelişen güneş teknolojilerinin gerçek dünya verimliliği üzerindeki etkisinin araştırılması çok önemli olacaktır. PVsyst yazılımını kullanan bu araştırma, 1 MW elektrik üretimi için Hakkari ilinde oldukça verimli bir alandaki PV sistemin gölgeleme etkisini de göz önünde bulundurularak performans oranı, verimlilik, yıllık üretim ve santraldeki güç kayıplarının etkisi hakkında derinlemesine bir araştırmayı analiz etmektedir.

PV sistemin performansı yıllık bazda gözlemlenmiş ve simüle edilen ortalama performans oranı %80,15 olarak elde edilmiştir. Bu değer esas olarak PV sistemin verimli ve etkili olduğunu gösterir. PV sistemin şebekeye verdiği toplam enerji miktarı 1877,9 MWh'dir. Analiz sonuçlarına göre sistemin 188,5 MWh'lik maksimum enerji çıkışı Ağustos ayında ve minimum enerji çıkışı ise Aralık ayında 101,5 MWh olarak gözlemlenmiştir. Bu değerler PV hücrelerin çalışma sıcaklığının bir sonucudur. Bu bağlamda PV modüllerin verimliliğinin güneş ışınımına göre sıcaklığa daha duyarlı olduğu gözlemlendi. Sonuçlar, bu simüle edilmiş PV sistem planının kurulumunun, operasyonel avantajları nedeniyle verimli ve başarılı olacağını göstermektedir. Şebeke bağlantılı tasarlanan PV sistemin gerçek değerler ile projelendirmek için ilerleyen zamanlarda PVsyst simülasyonlarının doğruluğunu iletirmek ve çeşitli iklim koşulları altında güneş PV sistemi performansı için modelleri iyileştirmek gerekir.

YAZAR KATKILARI

Erşan Ömer YÜZER: Literatür araştırması, kavramsal tasarım, metodoloji, simülasyon, görselleştirme, yazma, gözden geçirme ve düzenleme.

ÇIKAR ÇATIŞMALARI

Yazar, herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <https://enerji.gov.tr>, (10.09.2024).
- [2] Sharma, S., Kurian, C. P., & Paragond, L. S., "Solar PV system design using PVsyst: a case study of an academic Institute," In *2018 international conference on control, power, communication and computing technologies (ICCPCT)*, 123-128, 2018. doi: 10.1109/ICCPCT.2018.8574334.

- [3] Baqir, M., & Channi, H. K., "Analysis and design of solar PV system using PVsyst software," *Materials Today: Proceedings*, vol. 48, 1332-1338, 2022. doi: 10.1016/j.matpr.2021.09.029.
- [4] Spea, S. R., & Khattab, H. A., "Design sizing and performance analysis of stand-alone PV system using PVsyst software for a location in Egypt," *In 2019 21st International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)*, 927-932, 2019. doi: 10.1109/MEPCON47431.2019.9008058
- [5] Kumar, R., Rajoria, C. S., Sharma, A., & Suhag, S., "Design and simulation of standalone solar PV system using PVsyst Software: A case study," *Materials Today: Proceedings*, vol. 46, 5322-5328, 2021. doi: 10.1016/j.matpr.2020.08.785.
- [6] Mohammadi, S. A. D., & Gezezin, C., "Design and simulation of grid-connected solar PV system using PVsyst, PVGIS and HOMER software," *International Journal of Pioneering Technology and Engineering*, vol. 1, no. 01, 36-41, 2022. doi: 10.56158/jpte.2022.24.1.01.
- [7] Shrivastava, A., Sharma, R., Saxena, M. K., Shanmugasundaram, V., & Rinawa, M. L., "Solar energy capacity assessment and performance evaluation of a standalone PV system using PVsyst," *Materials Today: Proceedings*, vol. 80, 3385-3392, 2023. doi: 10.1016/j.matpr.2021.07.258.
- [8] Kumar, N. M., Kumar, M. R., Rejoice, P. R., & Mathew, M., "Performance analysis of 100 kWp grid connected Si-poly photovoltaic system using PVsyst simulation tool," *Energy Procedia*, vol. 117, 180-189, 2017. doi: 10.1016/j.egypro.2017.05.121.
- [9] Mishra, P. R., Rathore, S., & Jain, V., "PVSyst enabled real time evaluation of grid connected solar photovoltaic system," *International Journal of Information Technology*, vol. 16, no. 2, 745-752, 2024. doi: 10.1007/s41870-023-01677-x.
- [10] Yadav, P., Kumar, N., & Chandel, S. S., "Simulation and performance analysis of a 1 kWp photovoltaic system using PVsyst," *In 2015 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC)*, 0358-0363, 2015. doi: 10.1109/ICCPEIC.2015.7259481
- [11] Ramoliya, J. V., "Performance evaluation of grid-connected solar photovoltaic plant using PVsyst software," *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*, vol. 2, no. 2, 7, 2015.
- [12] Grover, A., Khosla, A., & Joshi, D., "Design and simulation of 20MW photovoltaic power plant using PVsyst," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 19, no. 1 58-65, 2020. doi: 10.11591/ijeecs.v19.i1.
- [13] Rachit, S., & Giri, V. K., "Design of grid connected PV system using PVsyst," *i-Manager's Journal on Electrical Engineering*, vol. 10, 14-18, 2016.
- [14] Siregar, Y., & Hutahuruk, Y., "Optimization design and simulating solar PV system using PVsyst software," *In 2020 4rd International Conference on Electrical, Telecommunication and Computer Engineering (ELTICOM)*, 219-223, 2020. doi: 10.1109/ELTICOM50775.2020.9230474.
- [15] Alnoosani, A., Oreijah, M., Alhazmi, M., Samkari, Y., & Fagha, H., "Design of 100 MW solar pv on-grid connected power plant using (PVsyst) in umm al-qura university," *International Journal of Science and Research (IJSR)*, vol. 8, no. 11, 356-363, 2019. doi: 10.21275/30101901.
- [16] Spea, S. R., & Khattab, H. A., "Design sizing and performance analysis of stand-alone PV system using PVsyst software for a location in Egypt," *In 2019 21st International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)*, 927-932, 2019. doi: 10.1109/MEPCON47431.2019.9008058.
- [17] Satish, M., Santhosh, S., & Yadav, A., "Simulation of a Dubai based 200 KW power plant using PVsyst Software," *In 2020 7th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)*, 824-827, 2020. doi: 10.1109/SPIN48934.2020.9071135.
- [18] Vasanthkumar, D. S., & Naganagouda, D. H., "Design and development of 5MW solar PV grid connected power plant using PVsyst," *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 4, no. 8, 778-785, 2017.
- [19] Tallab, R., & Malek, A., "Predict system efficiency of 1 MWc photovoltaic power plant interconnected to the distribution network using PVsyst software," *In 2015 3rd International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*, 1-4, 2015. doi: 10.1109/IRSEC.2015.7454973.
- [20] Ahmed, O. A., Habeeb, W. H., Mahmood, D. Y., Jalal, K. A., & Sayed, H. K., "Design and performance analysis of 250 kW grid-connected photovoltaic system in iraqi environment using PVsyst software," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics (IJEI)*, vol. 7, no. 3, 415-421, 2019. doi: 10.52549/ijeie.v7i3.978.
- [21] Abboud Al-Khazzar, A. A., "A Theoretical Detailed Analysis for a Proposed 5kW PV Grid-Connected System Installed in Iraq Using PVsyst Tool," *Iranica Journal of Energy & Environment*, vol. 9, no. 2, 105-113, 2018. doi: 10.5829/ijee.2018.09.02.05.

- [22] Faiz, F. U. H., Shakoor, R., Raheem, A., Umer, F., Rasheed, N., & Farhan, M., "Modeling and analysis of 3 MW solar photovoltaic plant using PVsyst at Islamia University of Bahawalpur, Pakistan," *International Journal of Photoenergy*, vol. 1, 2021. doi: 10.1155/2021/6673448.
- [23] Bukya, M., Kumar, P., & Kumar, R., "On-Grid Solar Photovoltaic Power Plant Analysis Under PVsyst Simulation Software Platform," *In Flexible Electronics for Electric Vehicles: Select Proceedings of FlexEV—2021*, 419-425, doi: 10.1007/978-981-19-0588-9_41.
- [24] Sancar, M. R., & Bayram, A. B., "Modeling and Economic Analysis of Greenhouse Top Solar Power Plant with PVsyst Software," *International Journal of Engineering and Innovative Research*, vol. 5, no. 1, 48-59, 2023. doi: 10.47933/ijeir.1209362.
- [25] Çınaroğlu, M. S., "Şebekeye Bağlı Üç Adet Fotovoltaik Enerji Santralinin PVsyst Programı İle Analizi; Kilis Örneği," *El-Cezeri*, vol. 8, no. 2, 675-687, 2021. doi: 10.31202/ecjse.865649.
- [26] Haydaroglu, C., & Gümüş, B., "Dicle Üniversitesi güneş enerjisi santralinin PVsyst ile simülasyonu ve performans parametrelerinin değerlendirilmesi," *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, vol. 7, no. 3, 491-500, 2016.
- [27] Akcan, E., Kuncan, M., & Minaz, M. R., "PVsyst yazılımı ile 30 kw şebekeye bağlı fotovoltaik sistemin modellenmesi ve simülasyonu," *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 18, 248-261, 2020. doi: 10.31590/ejosat.685909.
- [28] Nallamothe, B. K., Janga, R., & Pendem, S. R., "Design and Analysis of Grid Connected Solar PV System Using PVsyst Software," *In 2024 IEEE Students Conference on Engineering and Systems (SCES)*, 1-6, 2024. doi: 10.1109/SCES61914.2024.10652298.
- [29] Chauhan, A., Sharma, M., & Baghel, S., "Designing and performance analysis of 15 kWp grid connection photovoltaic system using PVsyst software," *In 2020 Second International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA)*, 1003-1008, 2020. doi: 10.1109/ICIRCA48905.2020.9183386.
- [30] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <https://gepa.enerji.gov.tr>, (12.09.2024).
- [31] Turkish State Meteorological Service, <https://mgm.gov.tr/eng/forecast-cities.aspx>, (20.08.2024).
- [32] Longares, J. M., García-Jiménez, A., & García-Polanco, N., "Multiphysics simulation of bifacial photovoltaic modules and software comparison," *Solar Energy*, vol. 257, 155-163, 2023. doi: 10.1016/j.solener.2023.04.005.
- [33] Viana, Z. C., dos Santos Costa, J., Silva, J. V., & Fernandes, R. M., "Accuracy Analysis of Pvsyst Software for Estimating the Generation of a Photovoltaic System at the Polo de Inovação Campos dos Goytacazes," *In 2020 IEEE PES Transmission & Distribution Conference and Exhibition-Latin America (T&D LA)*, 1-6, 2020. doi: 10.1109/TDLA47668.2020.9326203.
- [34] Nussbaumer, H., Janssen, G., Berrian, D., Wittmer, B., Klenk, M., Baumann, T., & Mermoud, A., "Accuracy of simulated data for bifacial systems with varying tilt angles and share of diffuse radiation," *Solar Energy*, vol. 197, 6-21, 2020. doi: 10.1016/j.solener.2019.12.071.
- [35] Abo-Zahhad, E. M., Rashwan, A., Salameh, T., Hamid, A. K., Faragalla, A., El-Dein, A. Z., ... & Abdelhameed, E. H., "Evaluation of solar PV-based microgrids viability utilizing single and multi-criteria decision analysis," *Renewable Energy*, vol. 221, 2024. doi: 10.1016/j.renene.2023.119713.
- [36] Balal, A., & Giesselmann, M., "PV to vehicle, PV to grid, vehicle to grid, and grid to vehicle micro grid system using level three charging station," *In 2022 IEEE Green Technologies Conference (GreenTech)*, 25-30, 2022. doi: 10.1109/GreenTech52845.2022.9772041.
- [37] Denoix, T., Sechilariu, M., & Locment, F., "Experimental comparison of photovoltaic panel operating cell temperature models," *In IECON 2014-40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 2089-2095, 2014. doi: 10.1109/IECON.2014.7048790.
- [38] Yuzer, E.O., & Bozkurt, A., "Comparison of Mathematical Calculation and Measurement Results for Solar Irradiance on Inclined and Flat Surfaces in Photovoltaic Systems," *6. International Palandoken Scientific Studies Congress*, 185-195, 2023.
- [39] Yuzer, E.O., "Investigation of Power Generation Behaviors of Solar Power Plants under Fluctuating Irradiation Values," *10th International Conference on Applied Sciences*, 1307-1316, 2023.
- [40] Abdeen, O., Mourad, M., & Salim, H., "A comparison study of PV (5MW) based on PVsyst program for evaluation productive energy to connect with the grid. Sudan case study," *In 2019 1st International Conference on Sustainable Renewable Energy Systems and Applications (ICSRESA)*, 1-6, 2019. doi: 10.1109/ICSRESA49121.2019.9182520.
- [41] Şahin, Z. R., "Gerçekten Sanala: 1 MWp Güneş Santralinin PVsyst Simülasyon Programıyla Performans Analizi," *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 11, no. 23, 10-11, 2024. doi: 10.54365/adyumbd.1471211.