

Elazığ İli Örneğine Ait On-Grid Çatı Üstü Güneş Enerji Santralinin Yıllık Gerçek Üretim Verilerinin PV*SOL Simülasyon Değerleri ile Karşılaştırılması

Osman ÖZDEMİR^{1*}, Ertuğrul ÇELİK²

¹ Elektrik ve Enerji Bölümü, Keban Meslek Yüksek Okulu, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

² Makine Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Munzur Üniversitesi, Tunceli, Türkiye

*¹ oozdemir@firat.edu.tr, ² ecelik@munzur.edu.tr

(Geliş/Received: 05/08/2024;

Kabul/Accepted: 18/12/2024)

Öz: Geçmişten bugüne kadar insanlığın temel gereksinimlerinin karşılanması için enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Dünyada nüfusun hızlı bir şekilde yükselmesi, teknolojik faaliyetlerin gelişimiyle birlikte enerji tüketimi gün geçtikçe artmaktadır. Günümüzde artan enerji talebini karşılamak için fosil yakıtlar ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları, doğal süreçler aracılığıyla sürekli olarak yenilenen ve fosil yakıtlarla karşılaştırıldığında düşük emisyon değerlerine sahip olan çevre dostu enerji üretim kaynaklarıdır. Güneş enerjisi sistemlerindeki teknolojik ilerlemeler, maliyetlerin düşmesi ve verimliliğin artması, güneş enerjisini yenilenebilir enerji kaynakları arasında güçlü bir alternatif haline getirmektedir. Özellikle arazi ve çatılara kurulan Güneş Enerji Santrallerinin (GES) sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Bu çalışmada Elazığ ili sınırları içinde sanayi bölgesinde bir işletmenin çatısına kurulmuş şebekeye bağlı çatı (on-grid) üstü GES sistemi ele alınmıştır. Çatı üstü GES toplam 165 adet, 545 Watt gücünde monokristal panellerden oluşmakta olup toplam gücü 89,9 kWp'tir. Sistem performansını artırmak amacıyla seçilen alan için en iyi yönelimi ve eğim açısını bulmak amacıyla PV*SOL yazılımı kullanıldı. Bu çalışmada mevcut GES sisteminin bir yıllık enerji üretim verileri aylara göre incelenerek, PV*SOL simülasyonunda elde edilen benzetim sonuçları ile karşılaştırılarak PV*SOL yazılımının doğruluk oranı değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda PV*SOL simülasyon programından elde edilen veriler ile çatı üstü GES gerçek verileri arasında %0,03 fark olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar göz önüne alındığında, uygulaması yapılan enerji sisteminin teknik ve ekonomik olarak uygun olduğu söylenebilir.

Anahtar kelimeler: Yenilenebilir enerji, on-grid fotovoltaik sistem, pv*sol.

Comparison of Annual Real Production Data of the On-Grid Rooftop Solar Power Plant in Elazığ Province Example with PV*SOL Simulation Values

Abstract: From past to present, energy has been needed to meet the basic needs of humanity. Today, fossil fuels and renewable energy sources are used to meet the increasing energy demand. Renewable energy sources are environmentally friendly sources that are constantly renewed by natural processes and produce energy with low emission values compared to fossil fuels. Technological advances in solar energy systems, decreasing costs and increasing efficiency make solar energy a strong alternative among renewable energy sources. In this study, a grid-connected rooftop SPP system installed on the roof of a business in the industrial zone within the borders of Elazığ province was discussed. The rooftop SPP consists of a total of 165 monocrystalline panels with a power of 545 Watts and its total power is 89.9 kWp. PV*SOL software was used to find the best orientation and inclination angle for the selected area in order to increase system performance. In this study, the annual energy production data of the current solar power plant system was examined by months and the data obtained from the PV*SOL simulation was compared with the real data in the field. As a result of the study, it was determined that there was a 0.03% difference between the data obtained from the PV*SOL simulation program and the real data of the rooftop solar power plant.

Key words: Renewable energy, on-grid photovoltaic systems, pv*sol.

1. Giriş

Türkiye, coğrafi konumu ve meteorolojik koşullarını en iyi şekilde değerlendirerek, 2035 yılına kadar dışa bağımlılığı azaltmaya yönelik yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını hedeflemektedir. Bu hedeflerden güneş enerjisi kurulu gücü 52,9 GW, rüzgar enerjisi kurulu gücü 29,6 GW, hidroelektrik enerji kurulu gücü 35,1 GW, jeotermal ve biyokütle enerji kurulu gücü 5,1 GW'tır [1]. Bu kaynaklardan güneş enerjisiyle ilgili belirlenen 2035 yılı kurulu güç değerine ulaşmak için yaklaşık olarak 42 GW kapasite artırımına gereksinim duyulmaktadır. Bu bağlamda ülkemizde güneş enerjisinin daha yaygın şekilde kullanılması için tüketicileri teşvik edici düzenlemeler yapılmaktadır [2]. GEPA verilerine göre ülkemizin güneşlenme süresi 2737 saat ve güneşten gelen ortalama enerji miktarı 1527 kWh/m²/yıldır [3]. Bu açıdan güneş sektörünün önde gelen ülkelerinden Almanya'ya

* Sorumlu yazar: oozdemir@firat.edu.tr Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0001-9725-5111, ² 0000-0003-4429-279X

göre daha iyi durumdadır [4]. Güneş enerji sektöründe elektrik üretim amacıyla kullanılan PV paneller üzerindeki teknolojik ARGE çalışmaları sayesinde PV panel üretici şirket sayısı fazlaca artış göstermiştir. Bu nedenle ürünlerde meydana gelen hızlı fiyat düşüşü, net sıfır emisyon hedefi, sürdürülebilir enerji politikalarının etkisiyle ilginin ve yatırımların artması dünyada ve ülkemizde kaynakların popülaritesini arttırmıştır [5,6].

Genel olarak güneş paneli olarak adlandırılan PV modüllerin çalışma prensibi, gelen güneş ışığının emilmesi ve sonrasında ise ışığın doğrudan elektrik enerjisine dönüştürmek için yarı iletkenler kullanma esasına dayanır [7]. Günümüzde yaygın olarak polikristal ve monokristal paneller kullanılmaktadır. Güneş enerji sistemleri uygulamada şebekeye bağlı (on-grid) ve şebekeden bağımsız (off-grid) olmak üzere iki ana kategoriye ayrılmaktadır. On-grid sistemler elektrik iletim-dağıtım hatlarına bağlantı sağlayarak çalışırken, off-grid sistemler şebekeden bağımsız şekilde güç üretirler [8]. Off-grid PV sistemleri, invertör ve akü depolaması yapılarak oluşturulan PV modül serileri veya dizilerinden oluşur. On-grid PV sistemleri ise MPPT ve invertör kontrol ekipmanları kullanılarak şebeke senkronizasyonu sağlayan iki kontrol cihazından oluşur [9]. Güneş enerji sistem tasarımı yaparken kurulum yapılacak yerin topoğrafik yapısı, ortalama güneşlenme süresi, sahaya yerleştirilecek panellerin türü, invertör seçimi, MPTT sayısı gibi santralin verimini etkileyen birçok etken göz önüne alınmalıdır [10]. GES sisteminde kullanılan donanım seçimi, miktarı, panellerin konumlandırılması, sistem maliyeti ve sistemin amortisman süresi gibi özelliklerin tespit edilmesi için fizibilite yapılarak projenin uygulanabilirliği belirlenmelidir. Bu amaç doğrultusunda solar PV sistem tasarımı yapmak için dünya çapında aktif olarak kullanılan simülasyon programları mevcuttur. Bunlara Homer Pro - Homer Energy (ABD), PV F-Chart - F-Chart (ABD), pvPlanner - SolarGis (Slovakya), PVsyst - Pvsyst SA (İsviçre), RETscreen - Natural Resources Canada (Kanada), Sistem Danışmanı Modeli (SAM)- Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL)- (ABD), Solar Pro - Laplace Systems (Japonya), PV*SOL (Almanya) gibi yaygın olarak kullanılan simülasyon yazılımları örnek olarak verilebilir [11]. Bu yazılımlar uygulama alanında karşılaşılabilecek maddi hataların önceden doğru tespit edilmesi, fotovoltaik sistemin kurulum yapılacağı yerin üç boyutlu (3D) sistem tasarımı ve sistem maliyet hesabının daha hızlı ve kolay biçimde yapılmasına olanak sağlamaktadır [12,13].

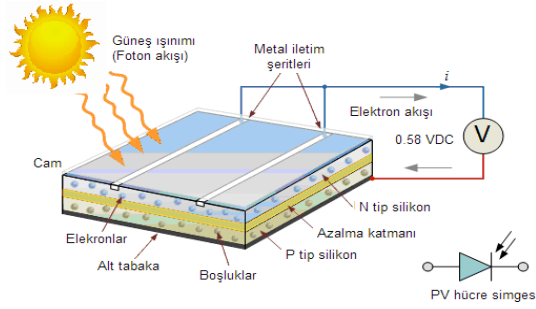
Literatürde güneş enerji sistemlerinin verimlilik ve etkinliğini arttırmak amacıyla farklı benzetim programları kullanılarak yapılan çalışmalar mevcuttur. Kumar ve arkadaşları yaptıkları çalışmada Hindistan'da ortalama yıllık 1086,24 kWh tüketime sahip mühendislik fakültesinin mekanik departmanına yönelik olarak, PVsyst simülasyon programını kullanarak şebekeden bağımsız güneş enerjisi sisteminin tasarımını, performans oranını, kayıp miktarını incelemişler ve saha uygulamasını gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonuçlarına göre güneş paneli aracılığıyla sağlanan enerji 1143,6 kWh olup, kullanıcıya sağlanan enerji ise ihtiyaç duyulan yükten daha az değer olan 1068,12 kWh'tir. Bu durumun yazılımdaki fotovoltaik panel modül tipi ve üretim ayrıntılarının belirsizliği nedeniyle kaynaklandığı öngörüsünde bulunmuşlardır [14]. Serat ve arkadaşları, Afganistan'ın Gazne kentinde yapmış oldukları çalışmada PVsyst yazılımını kullanarak, şebekeye bağlı (on-grid) güneş enerjisi çatı üstü fotovoltaik (PV) sisteminin tasarım ve ekonomik analizine odaklanmışlardır. Araştırma bulguları, tasarlanan şebekeye bağlı güneş çatı üstü PV sisteminin, 10 kW spesifik bir güneş PV kapasitesine sahip olduğunu ve tahmini yıllık 19323 kWh enerji çıkışı üretebileceğini göstermişlerdir [15]. Arafat ve Dwivedi, Bhopal şehri Madhya Pradesh eyaletindeki şebekeye bağlı 100 kWp güce sahip PV sistemin tasarım ve performans analizini araştırmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre sistemin performans oranı, sistemin geri ödemesi, sistemden elde edilen güç hakkında veriler elde etmişlerdir. Şebekeye bağlı 100 kW'lık bir güneş enerjisi sisteminin tasarımı ve simülasyonu için PVsyst'i kullanarak doğru performans değerlendirmesi, tasarım optimizasyonu, finansal analiz ve gelecekteki olasılıkların araştırılmasından fayda sağlanabileceğini ifade etmişlerdir [16]. Chandrakant Dondariya ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmayı Hindistan'ın Ujjain ilinde şebekeye bağlı (on-grid) 6,4 kWp güç kapasitesine sahip çatı güneş fotovoltaik sistemi incelemişlerdir. Bu çalışmada, PV*SOL yazılımı kullanarak, nominal güç değeri 320 Wp olan 20 adet monokristal güneş panellerinin elektrik üretim değerlerini ve performans ölçümlerini belirlemişlerdir. Sonuç olarak sistemin yıllık 1528,125 kWh/kWp enerji üretimi gerçekleştirmesiyle, tesisin elektrik tüketiminin yaklaşık olarak %41'inden fazlasını karşılamış olduğunu tespit etmişlerdir [17]. Ateş yaptığı çalışmada Türkiye'deki Köprübaşı Meslek Yüksekokulu'nda 3 yıl boyunca kullanılan 30 kWp'lik bir çatı PV sisteminin enerji performans ve ekonomik gelir analizini değerlendirmiştir. PV modülünün elektrik çıktısı, enerji dengesi denklemleri yazılarak modellenmiş ve elektrik üretimi saatlik olarak hesaplanmıştır. Ölçülen sonuçlar, IBM SPSS Statistics yazılımı kullanılarak benzetim sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve aralarındaki Pearson Korelasyon katsayısının 0,993 olduğunu göstermiştir [18]. Çiçek ve Erdinç yaptıkları çalışmada PV-batarya hibrit sistem içeren bir otoparkta elektrikli araçların ekonomik açıdan en iyi şekilde şarj edilmesi için bir karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Önerilen modelin doğruluğunu kanıtlamak için çeşitli durum çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu durum çalışmalarından elde edilen sonuçlar, PV-batarya hibrit sisteminin toplam elektrik maliyetini düşürdüğünü göstermektedir [19]. Pamuk ve Ay yaptıkları çalışmada Zonguldak

Bülent Ecevit Üniversitesi Farabi yerleşkesinde yer alan 14 adet binanın çatısına kurulabilecek fotovoltaik enerji miktarını PV*SOL yazılımı ile tespit etmişlerdir [20]. Balkan ve Görel bu çalışmalarında Afyonkarahisar ili Dinar ilçesi Gençali köyü mevkiine kurulmuş olan bir off-grid fotovoltaik sistemin Lüytob üretim verileri ile PV*SOL programına ait üretim değerlerini karşılaştırmışlardır. Üretim değerleri incelendiğinde PV*SOL yazılım programının vermiş olduğu üretim sonucuna göre %3,309798 oranında hata payının bulunduğu sonucuna ulaşmışlardır [21]. Martin yaptığı çalışmada Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi Elbistan Meslek Yüksekokulu binalarının güneye bakan çatılarına kurulabilecek bir çatı üstü güneş enerjisi santralının simülasyonunu PV*SOL programı ile yapmıştır [22]. Biberici bu çalışmada, Konya'da bulunan bir tarım alanının sulanmasında ihtiyaç duyulan elektrik enerjisi için şebekeye bağlı bir güneş fotovoltaik (PV) sisteminin tekno-ekonomik analizini PV*SOL programı ile gerçekleştirmiştir [23].

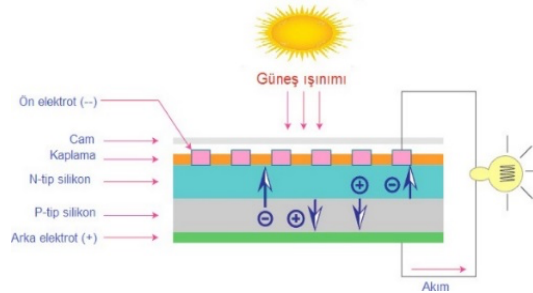
Bu çalışmada monokristal panellerden oluşan 89,9 kWh güç değeri olan on-grid çatı üstü GES sistemi ele alınacaktır. Sistem tasarımı PV*SOL programı ile yapılmış olup ile çalışma kapsamında GES sistemine ait 2023 yılına ait 1 yıllık gerçek değerleri ile PV*SOL simülasyon programının fizibilite değerleri karşılaştırılacaktır. PV*SOL programı, güneş panellerinin enerji çıktısının modellenmesi, sistemin enerji gereksinimlerinin tahmin edilmesi ve sistemde kullanılan ekipmanların ekonomik uygulanabilirliğinin doğruluğunu belirlemek için kullanılacaktır.

2. Fotovoltaik Panel Çalışma Prensibi

PV hücresi, güneş ışığının anında elektrik enerjisine dönüştürüldüğü fotovoltaik etki prensibine göre çalışan güneş enerjisi üretim sisteminin temel birimidir [18]. Hücreler kare, dikdörtgen gibi geometrik şekillerden oluşan n ve p tipi olarak adlandırılan yarı iletken malzemelerden oluşmaktadır [19]. Güneşten yeryüzüne gelen ışınım, elektromanyetik parçacıklar olarak adlandırılan fotonlardır. Bu fotonlar, güneşten yayılan farklı dalga boylarına ve enerji miktarına sahiptirler. Güneş ışını fotovoltaik bir hücreye yansıdığı zaman gelen ışınımın bir kısmı hücre tarafından emilirken, bir kısmı ise geri yansıtılır. Güneş ışınının panel yüzeyine çarparak emilmesiyle p tipi yarı iletken maddeden elektron koparılarak enerji kazanan bu elektronlar n tipi yarı iletken maddeye doğru yönelirler. Bu süreç sonucunda yarı iletkenin bir tarafında pozitif, diğer tarafında ise negatif yük birikimi oluşmaktadır. Böylece, serbest kalan elektronlar belirli bir yönde hareket ederek elektrik akımını meydana getirir. PV panelin çalışma prensibi ve yapısına ait görsel Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterilmiştir [26].



Şekil 1. PV panel çalışma prensibi.



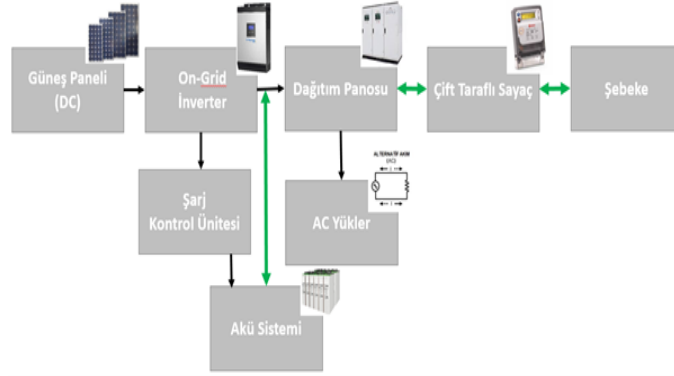
Şekil 2. PV yapı.

2.1. PV Enerji Sistemleri

Elektrik şebekesine bağlanma durumu ve kullanım amacına göre çeşitli kategorilere ayrılmaktadır. Genel olarak ise şebekeye bağlı (on-grid), şebekeden bağımsız (off-grid) sistemler kullanılmaktadır.

2.1.1. Şebekeye bağlı (On-grid) sistemler

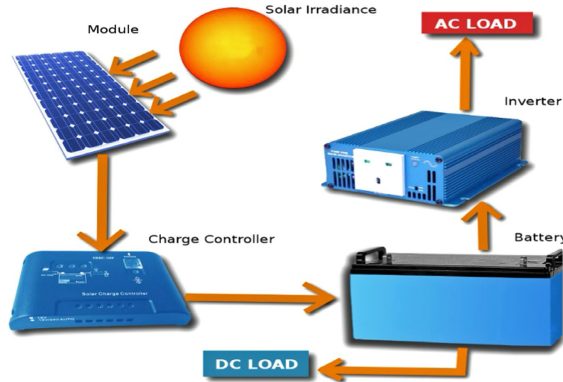
Bir fotovoltaik (PV) sistemin bir güç çevirici ünitesi aracılığıyla elektrik şebekesine bağlanması, güneş panellerinin veya dizilerinin güç şebekesi ile birlikte çalışmasını sağlar. Bu özellik, şebekeye bağlı bir PV sisteminin tanımlayıcı bir özelliğidir. PV güneş panellerinin veya dizilerinin, genellikle şebekeye bağlı PV sistemi olarak bilinen yerel ana güç şebekesine entegrasyonu, elektrik gücünün şebekeye geri beslenmesine olanak tanır. Bu tür güneş enerjisi sistemlerine genellikle “şebeke bağlantılı” veya “şebeke üstü” adı verilir [26]. On-grid sistemde yer alan ekipmanlara ait görsel Şekil 3’te verilmiştir [27].



Şekil 3. Şebekeye bağlı pv sistem diyagramı (On-grid).

2.1.2. Şebekeden bağımsız (Off-Grid) Sistemler

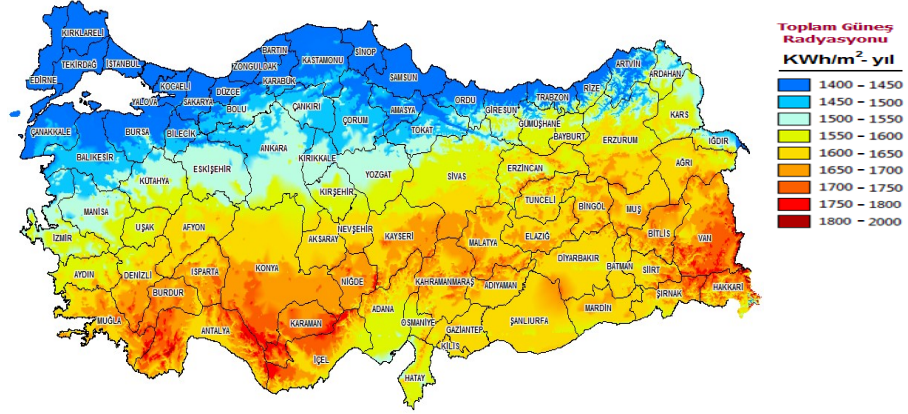
Elektrik şebekesinin bulunmadığı dağ evi, bağ evi, ulaşım araçları (karavan, yat), çiftliklerde şebekeden bağımsız sistemler (off-grid) kullanılmaktadır. Off-grid PV sisteminin ana bileşenleri arasında PV dizisi, maksimum güç noktası takibi (MPPT), şarj kontrol cihazı, akü yedeklemesi ve invertör bulunmaktadır. PV sisteminin çalışması, güneş ışınımının eğimli PV paneller üzerine çarpmasıyla başlar; paneller bu ışınımı elektrik enerjisine dönüştürür ve akımı veya voltajı ayarlamak için MPPT’ye iletir [28]. Panellerden üretilen enerjinin tüketilen enerji miktarından fazla olması durumunda yedek enerji kaynağı olarak piller kullanılabilir. Pillerde veya akülerde depolanan enerji iklim şartlarının elektrik üretimine uygun olmadığı (ışınım miktarının az veya hiç olmadığı) sürelerde ve gece boyunca kullanılabilir. Ev aletlerinin çalışabilmesini sağlamak amacıyla doğru akımı (DC) alternatif akıma (AC) dönüştürülmesi için DC/AC invertör kullanılmaktadır. Off-grid sisteme ait çalışma diyagramı Şekil 4’te gösterilmiştir [28].



Şekil 4. Şebekeden bağımsız bir pv sisteminin yerleşimi (Off-Grid).

2.2. Türkiye'nin Güneşlenme Potansiyeli

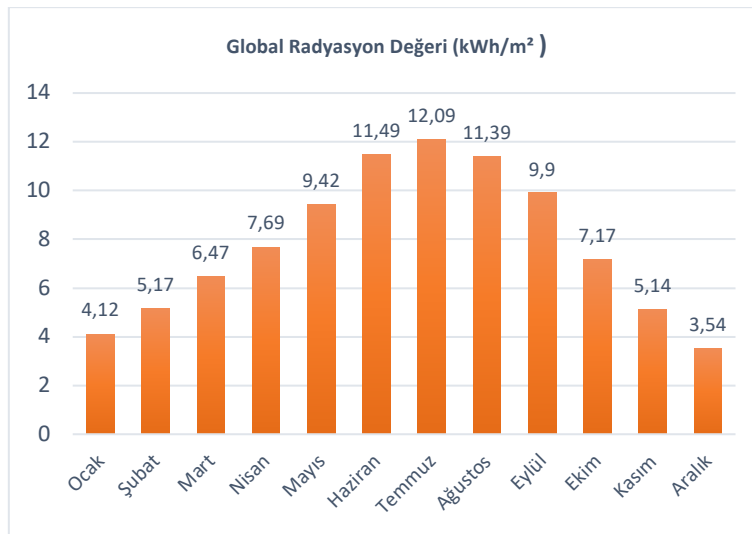
Türkiye coğrafi konum olarak 783562 km² yüzey ölçüm alanına sahip Kuzey Yarım Kürede 36°-42° kuzey paralelleri, 26°-45° doğu boylamları arasında yer almaktadır [29]. Türkiye'de ılıman iklim kuşağı görülmekte ve yıllık ortalama güneş ışınım enerji potansiyeli açısından coğrafi olarak iyi bir konumda yer almaktadır. Türkiye'nin Güneş'ten faydalana bilirlilik durumunu gösteren Güneş Enerji Potansiyel Atlası (GEPA) verilerine ait görseller Tablo 1 ve Tablo 2'de yer almakta, Türkiye'ye ait güneşlenme potansiyel haritası ise Şekil 5'te belirtilmiştir [3].



Şekil 5. Türkiye güneşlenme potansiyel atlası (Gepa).

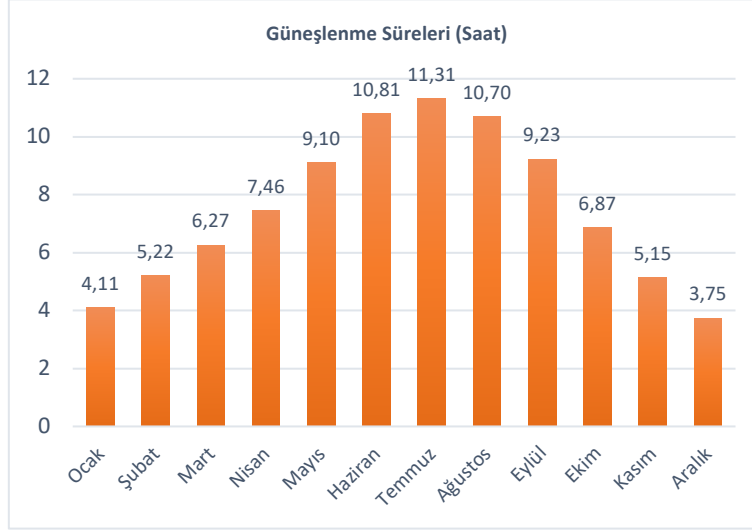
Şekil 5'te Türkiye'nin güneş ışınlarından en yüksek fayda görebileceği koordinatlar açık ve koyu renk tonlarıyla belirtilmiştir. Renk ton değişimleri toplam güneş radyasyon değerlerine göre yapılmakta olup bu değerlere göre en fazla güneş enerjisi potansiyeline Güneydoğu Anadolu Bölgesi sahipken en düşük enerji potansiyeline sahip bölgemiz ise Karadeniz Bölgesi'dir.

Türkiye'nin coğrafi konumu nedeniyle yüksek miktarda güneş enerjisi imkânı vardır. Şekil 6'da GEPA veri grafikleri incelendiğinde global radyasyon değerinin Haziran ayı ortalama günlük 6,57 kWh/m² ile maksimum, Aralık ayı ortalama günlük 3,75 kWh/m² değeri ile minimum olduğu görülmektedir. GEPA verilerine göre Türkiye'nin aylık ortalama günlük ışınım şiddeti 4,18 kWh/m² ve ortalama yıllık global radyasyon değerinin ise 1524,18 kWh/m² olduğu görülmektedir.



Şekil 6. Türkiye global radyasyon değerleri (kWh/m²).

Şekil 7’de ki GEPA veri grafikleri incelendiğinde Temmuz ayı günlük 11,31 saatlik güneşlenme zaman değeri ile maksimum, günlük 3,75 saatlik güneşlenme zaman değeri ile minimum olduğu görülmektedir. Türkiye’nin aylık güneşlenme süre ortalaması günlük 7,5 saat, yıllık ise 2737,5 saattir [30].

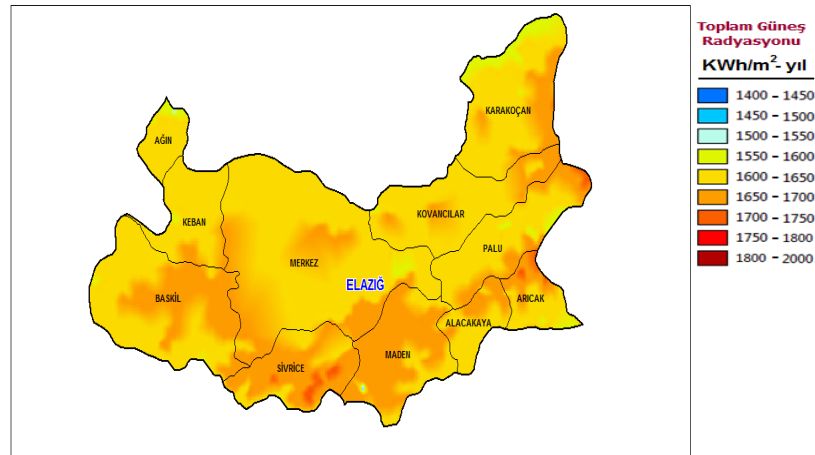


Şekil 7. Türkiye güneşlenme süreleri (saat).

Bu nicelikler ışığında ülkemiz yenilenebilir enerji kaynağı güneşten yararlanma noktasında güneşlenme süresi ve global radyasyon değerleri açısından önemli bir potansiyel güce sahiptir [25].

2.3. Elazığ’ın Güneşlenme Potansiyeli

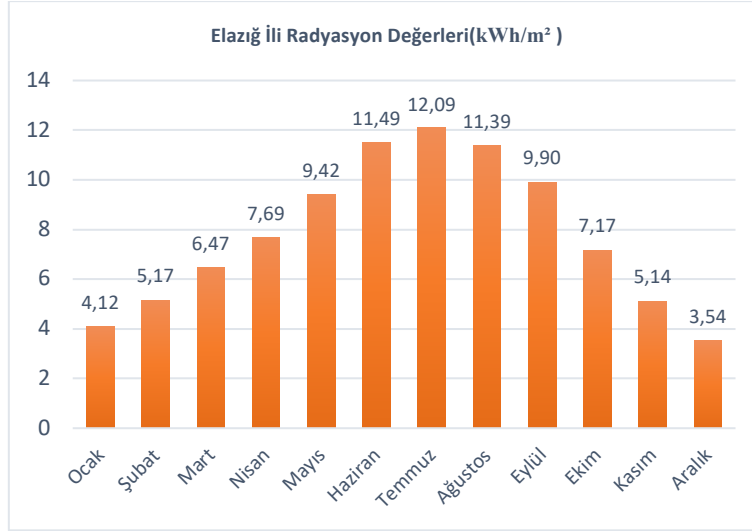
Elazığ ili Doğu Anadolu Bölgesi’nin güneybatısında, Yukarı Fırat Bölümü’nde yer almaktadır. Yüzölçümü 9151 km² olup bu alanı ile Türkiye toprak alanının %1,2’sini oluşturmaktadır. Elazığ ili 40° 21-38° 30 doğu boylamı, 38° 17 - 39° 11 kuzey enlem coğrafi koordinatları arasında yer almaktadır. Elazığ’da karasal iklim görülmekte ve bir alanın güneşten aldığı enerji miktarı o yerin enlem değerlerine göre değişmektedir. Elazığ, bulunduğu enlem değerlerine göre güneş ışınları, 21 Haziran tarihinde 74° 13’ ve 21 Aralık tarihinde ise 27° 17’ olarak yüzeyine ulaşmaktadır. Şekil 5’te gösterilen global radyasyon değerlerinin Haziran ayında en üst seviyeye ulaşması, Aralık ayında ise en alt seviyeye düşmesinde geliş açıları önemlidir [32]. Elazığ’ın Güneş ışınım haritası Şekil 8’de verilmektedir [3].



Şekil 8. Elazığ ili güneşlenme potansiyel atlası.

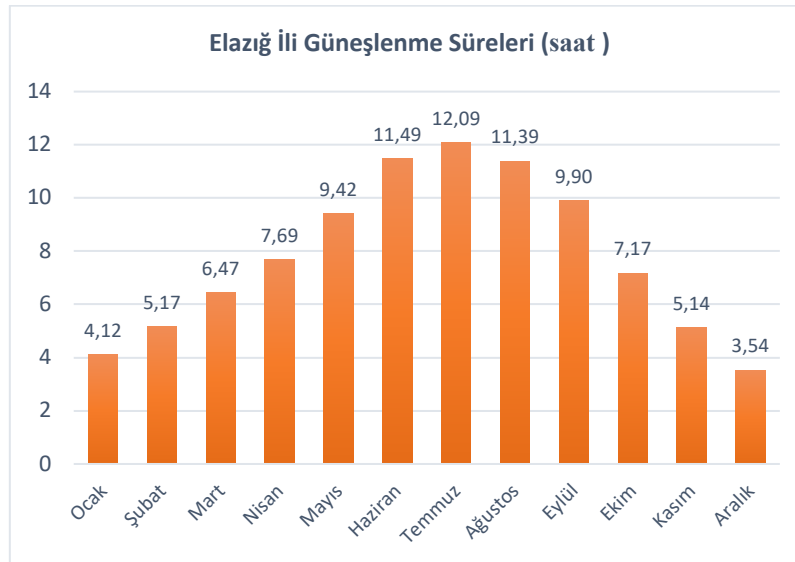
Elazığ’ın güneş radyasyon verileri, bulunulan yere ve konuma göre yıllık 1600-1700 kWh/m² güneş ışınım potansiyeline sahip olduğu Şekil 8’de belirtilmiştir.

Elazığ coğrafi konumu itibariyle güneş enerjisinden yüksek miktarda yararlanma imkânına sahiptir. Şekil 9'da GEPA veri grafikleri incelendiği zaman Haziran ayı ortalama günlük 6,84 kWh/m² global radyasyon değeri ile maksimum, Aralık ayı ortalama günlük 1,71 kWh/m² global radyasyon değeri ile minimum olduğu görülmektedir. GEPA verilerine göre Elazığ ilinin aylık ortalama günlük ışınım şiddeti 4,35 kWh/m² ve ortalama yıllık global radyasyon değerini ise 1564 kWh/m² olarak görülmektedir. Bu veriler doğrultusunda Elazığ iline ait verilerin Türkiye'nin ortalamasının üstünde veri değerlerine sahip olması Elazığ bölgesinin enerji potansiyeli açısından önemli bir konumda yer aldığını bize göstermektedir.



Şekil 9. Türkiye global radyasyon değerleri (kWh/m²).

Şekil 10'da Elazığ iline ait GEPA veri grafikleri incelendiğinde Temmuz ayı günlük 12,01 saatlik güneşlenme zaman değeri ile maksimum, Aralık ayı günlük 3,56 saatlik güneşlenme zaman değeri ile minimum olduğu görülmektedir. Elazığ'ın ortalama güneşlenme süresi günlük 7,75 saat, yıllık ise 2828,8 saat (365x7,75) değerleriyle Türkiye ortalama güneşlenme sürelerinin üzerinde yer almaktadır.



Şekil 10. Türkiye güneşlenme süreleri (saat).

3. Materyal ve Yöntem

Bu çalışma kapsamında Elazığ ili sınırları içerisinde Küçük Sanayi Bölgesinde 38°37' 32" kuzey enlemi ve 39° 16'35" doğu boylamı koordinatlarında bulunan şebekeye bağlı 89,9 kW güç değerine sahip kurulumu bir yıl önce tamamlanmış çatı üstü güneş enerji santralinin üretim değerleri incelenecektir. Çatı üstü GES işletmenin günlük elektrik tüketim ihtiyacını karşılamak amacıyla kurulmuştur. Güneş enerji santralinin kurulumunda 165 adet 545 Wp gücünde 144 hücreli monokristal paneller, 2 adet 50 kW ABB marka invertör, 11 adet MPTT (1. Panel (6 adet) + 2. Panel (5 adet)) kullanılmıştır. GES kurulumunun yapıldığı işletmenin görseli ile kullanılan monokristal panel, invertöre ait teknik özellikler Şekil 11, Şekil 12, Şekil 13 ve Tablo 1 ve Tablo 2'de gösterilmiştir.



Şekil 11. Çatı üstü güneş enerji santrali.



Şekil 12. Monokristal güneş paneli (545 Wp).



Şekil 13. İntertör (50 kW).

Tablo 1. PV panel teknik özellikleri.

Maksimum Güç (Pmax)	545 Wp
Modül Verimi (%)	21,09
Maksimum Güç Noktası Akımı (Impp)	13,04 A
Kısa Devre Akımı (Isc)	13,93 A
Maksimum Güç Noktası Voltajı (Vmpp)	41,8 V
Açık Devre Voltajı (Voc)	49,75 V
Maksimum Sistem Voltajı DC	1500 V
Çalışma Sıcaklığı Aralığı -40 / +85 °C	(%/°C) -0,45 %/ °
Modül Boyutları	2,279 mm. ± 2 mm. 1,134 mm. ± 2 mm. x 35± 1 mm.
Nominal Hücre Çalışma Sıcaklığı	45 °C ± 2 °C
Sıcaklık Katsayısı α Isc (%/°C)	0,045 %/ °C
Sıcaklık Katsayısı β Voc (%/°C)	-0,275 %/ °C
Sıcaklık Katsayısı γ Pmax (%/°C)	-0,350 %/ °C

Tablo 2. İnverter teknik özellikleri.

V _{dc} (Çalışma aralığı)	300-950 V
V _{dc MPP} (MPP gerilim aralığı)	480-800 V
V _{dc max} (Maksimum gerilim)	1000 V
I _{dc max} (Maksimum DC akım değeri)	108 A
I _{sc max} (Maksimum kısa devre akımı)	165 A
P _{acr (cosθ=1)}	50000 W
P _{acr (cosθ=± 0.9)}	45000 W
P _{ac max (cosθ=± 0.9)}	55000 W
Frekans	50-60 Hz

3.1. PV*SOL Simülasyon Programı İle Tesisin Veri Analizi

Elazığ ilinde Yeni Küçük Sanayi bölgesinde bulunan işletmeye ait makinaların ihtiyaç duyduğu elektrik tüketimini karşılamak amacıyla yapılmış on-grid çatı üstü güneş enerji santralının fizibilite çalışması PV*SOL simülasyon programı kullanılarak yapılmıştır.

PV*SOL programında sistem analizi yapılırken makine öğrenme analizi, zaman serisi analizi ve regresyon analizi gibi metotlar kullanılmaktadır. PV*SOL programını kullanırken, tasarlanan sistemi yazılıma entegre edebilmek için önemli parametrelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sayede işletmeye kurulacak güneş enerji sisteminin elektriksel ve mekanik bileşenlerinin kapsamlı bir şekilde simülasyonunu gerçekleştirmemizi sağlar [33]. Dünya genelinde son yıllarda PV enerji sistem verimlerini maksimum seviyeye çıkaracak şekilde tasarlamak ve kurulumunu gerçekleştirmek için teknik personeller PV*SOL yazılımını yoğun bir şekilde kullanmaktadır [34].

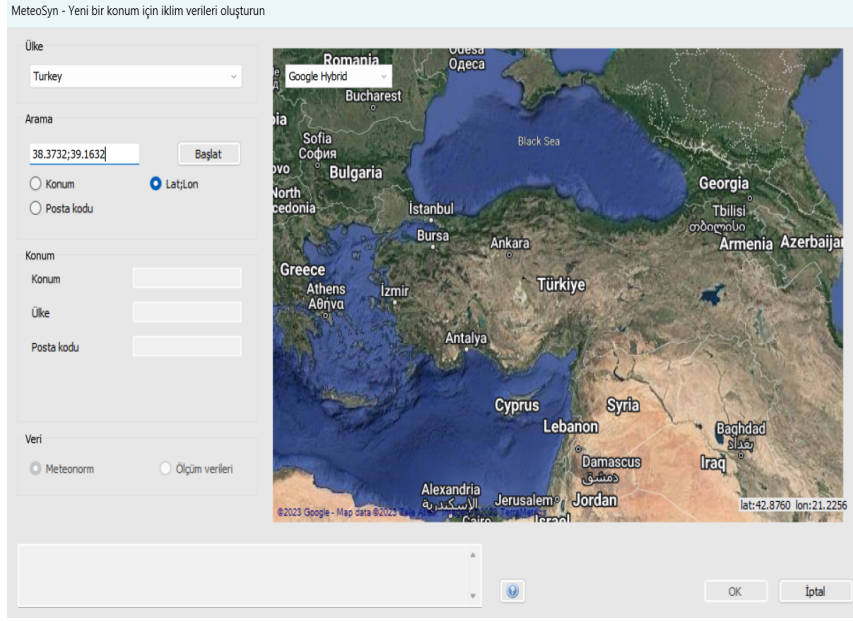
PV sistemlerinde bazı temel ölçütler performans, maliyet tahminleri ve projenin uygun yüklenici gereksinimleriyle teslim edilmesi önemli bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, fotovoltaik sistem analizi gerçekleştirmek için incelenen ana ölçütler olarak verim (Y_f) ve performans oranı (P_r) verilebilir. Y_f, PV invertörünün çıkışında üretilen enerji (E_D) ile PV sisteminin nominal gücü arasındaki oranı ifade etmektedir ve bu oran Denklem 1’de gösterilmiştir [35]. Elde edilen verim değeri, ideal koşullar (STC) altında bir sistemin, belirli bir dönemde belirli bir ideal olmayan koşula maruz kalan bir sistemle aynı miktarda enerji üretmesinin ne kadar süreceğini belirlemek açısından önem taşımaktadır. Çalışmalarda ve simülasyon yazılımlarında ise bu süre genellikle bir yıl veya bir ay olarak kabul edilmektedir.

$$Y_f = \frac{E_D(\text{kWh})}{\text{Installed power (kWp)}} \quad (1)$$

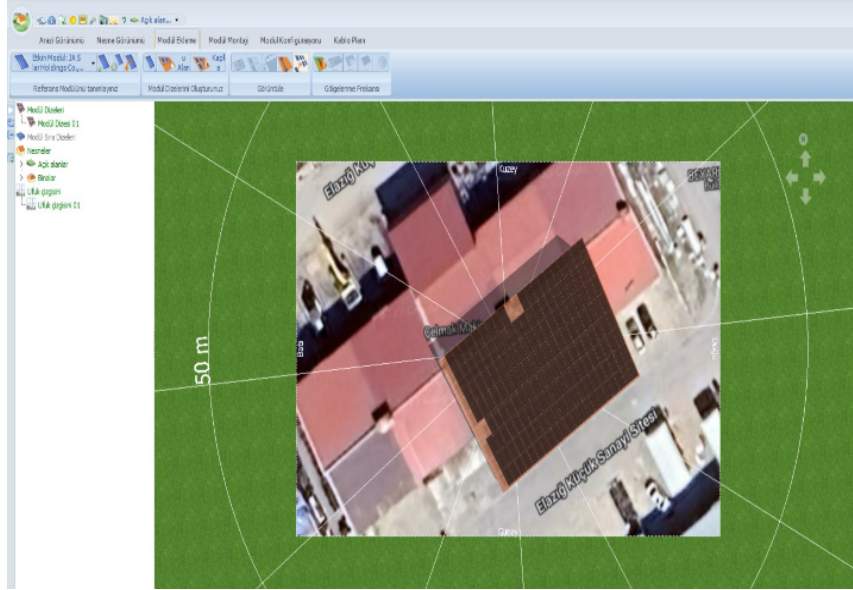
Performans oranı (P_r) sistemi ilgilendiren kayıpları hesaba katan bir faktördür ve kısa sürede genel verimi gösterir. Bir başka ifadeyle gerçekleşen üretimin hesaplanan (beklenen) üretime oranı olup 2 nolu denklem ile ifade edilmiştir [36].

$$P_r = \frac{\text{Gerçekleşen Üretim (kWh)}}{\text{Beklenen Üretim (kWh)}} \quad (2)$$

PV*SOL programı kullanılarak on-grid çatı üstü GES sisteminin akü, pil kullanımı olmadan ortalama aylık ve günlük enerji üretim verileri elde edilmiştir. PV*SOL yazılım programının ilk aşaması olarak Google Earth programından tesisin coğrafi koordinatları olan 38° 37' 32" ve 39° 16' 32" girilerek iklim değerleri simülasyona entegre edilmiştir (Şekil 14). PV*SOL programı iklim veri tasarımı yaparken, MeteoSyn iklim veritabanı (1991-2010) olan güneşlenme verilerinden yararlanmaktadır. İkinci aşama olarak Google Earth programından tesisin birebir boyut ölçümü 17*18 m, binanın çatı eğimi 14° ve bina yönü güney doğu, panelin yerleşim açısı 153°, panel eğimi 12° ve panellerin montajı çatıya paralel olacak şekilde yerleşim planı yapılarak tesisin üç boyutlu (3D) modeli tasarlanmıştır (Şekil 15).



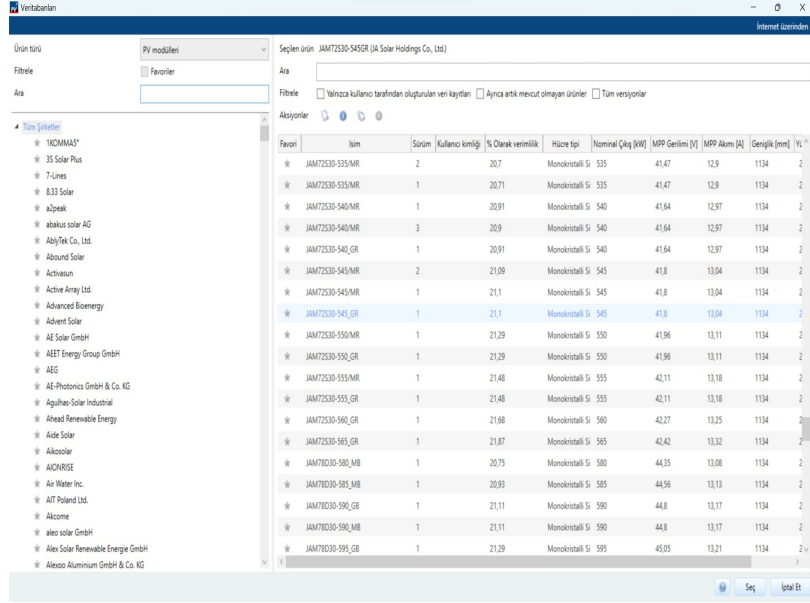
Şekil 14. Meteorolojik veri elde edilişi.



Şekil 15. Binanın konumlandırılması.

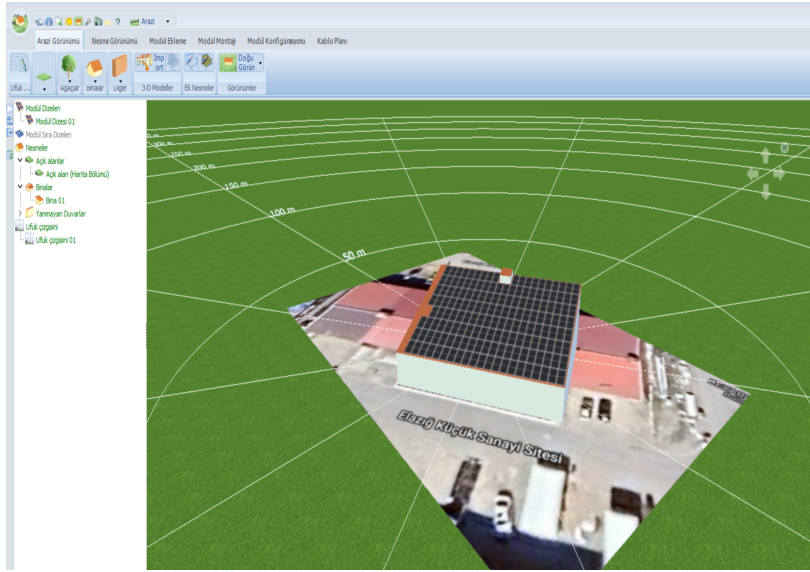
Bu, tüm paneller optimum şekilde çalıştığında 89,9 kW birleşik elektrik gücü üretebilecekleri anlamına gelir. Güç çıkışı, kurulumun ideal koşullar altında, örneğin güneş parlak bir şekilde parladığı durumlarda üretebileceği elektrik miktarının bir ölçüsüdür. Güç çıkışının, kurulumun maksimum potansiyel kapasitesi olduğunu ve üretilen gerçek elektriğin güneş ışığı miktarı, gölgeleme ve panellerin verimliliği gibi faktörlere bağlı olarak değişebileceğini unutmamak önemlidir. Bu sebeple üçüncü aşama olarak verimlilik kayıpları, gölgeleme etkisi, kablo kayıpları ve iklim koşulları PV*SOL programına girilmiştir. Son aşama olarak sahada kullanılan panel, invertör markası ve sayısı ile ve invertör-MPTT dizisinin şekli simülasyon program kayıtlarından seçilmiştir. Şekil 16'da 545 Wp gücüne sahip monokristal panel seçiminin yapıldığı ekran ara yüzü ile Şekil 17'de panellerin yönünün belirlenerek çatı üstüne montajının yapılmış olduğu ekran ara yüzü gösterilmiştir.

Elazığ İli Örneğine Ait On-Grid Çatı Üstü Güneş Enerji Santralının Yıllık Gerçek Üretim Verilerinin PV*SOL Simülasyon Değerleri İle Karşılaştırılması



Favör	İsim	Sürüm	Kullanıcı kimliği	% Dışak verimlilik	Piçre tipi	Nominal Çığ (kW)	MPP Gerilim (V)	MPP Akımı (A)	Genişlik (mm)	Yük
☒	JAM72530-535/MR	2	20,7	20,71	Monokristalli Si	535	41,47	12,9	1134	2
☒	JAM72530-535/MR	1	20,71	20,71	Monokristalli Si	535	41,47	12,9	1134	2
☒	JAM72530-540/MR	1	20,91	20,91	Monokristalli Si	540	41,64	12,97	1134	2
☒	JAM72530-540/MR	3	20,9	20,9	Monokristalli Si	540	41,64	12,97	1134	2
☒	JAM72530-540/GR	1	20,91	20,91	Monokristalli Si	540	41,64	12,97	1134	2
☒	JAM72530-545/MR	2	21,09	21,09	Monokristalli Si	545	41,8	13,04	1134	2
☒	JAM72530-545/MR	1	21,1	21,1	Monokristalli Si	545	41,8	13,04	1134	2
☒	JAM72530-545/GR	1	21,1	21,1	Monokristalli Si	545	41,8	13,04	1134	2
☒	JAM72530-550/MR	1	21,29	21,29	Monokristalli Si	550	41,96	13,11	1134	2
☒	JAM72530-550/GR	1	21,29	21,29	Monokristalli Si	550	41,96	13,11	1134	2
☒	JAM72530-555/MR	1	21,48	21,48	Monokristalli Si	555	42,11	13,18	1134	2
☒	JAM72530-555/GR	1	21,48	21,48	Monokristalli Si	555	42,11	13,18	1134	2
☒	JAM72530-560/GR	1	21,68	21,68	Monokristalli Si	560	42,27	13,25	1134	2
☒	JAM72530-565/GR	1	21,87	21,87	Monokristalli Si	565	42,42	13,32	1134	2
☒	JAM78030-580/MB	1	20,75	20,75	Monokristalli Si	580	44,35	13,08	1134	2
☒	JAM78030-585/MB	1	20,93	20,93	Monokristalli Si	585	44,56	13,13	1134	2
☒	JAM78030-590/GB	1	21,11	21,11	Monokristalli Si	590	44,8	13,17	1134	2
☒	JAM78030-590/MB	1	21,11	21,11	Monokristalli Si	590	44,8	13,17	1134	2
☒	JAM78030-595/GB	1	21,29	21,29	Monokristalli Si	595	45,05	13,21	1134	2

Şekil 16. Monokristal panel seçimi.

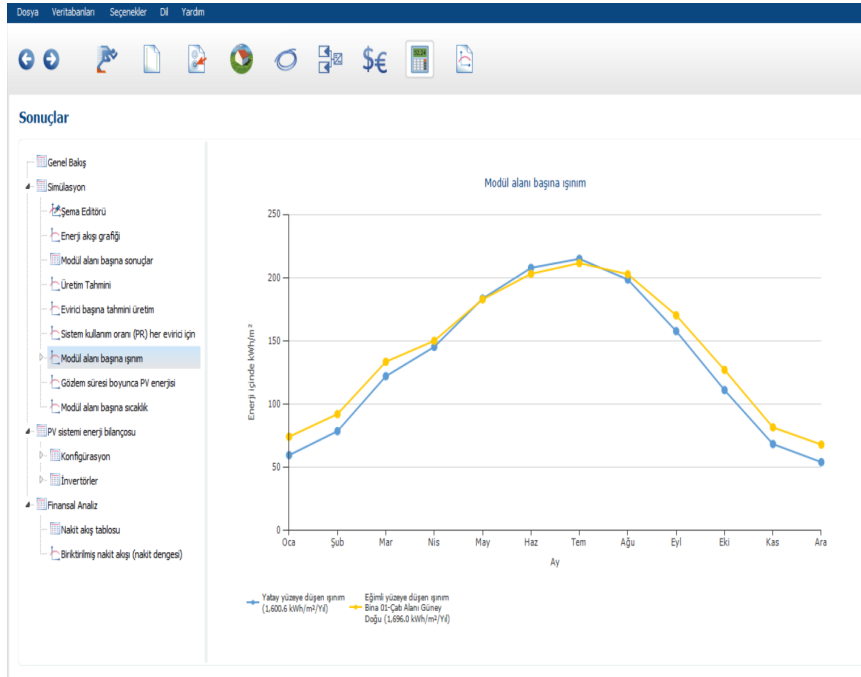


Şekil 17. Monokristal panel yönü ve yerleşimi.

Sonuç olarak bu kullanılan benzetim programı sayesinde GES'nin ekonomik analizi, kablolama, amortisman maliyeti, sistem girdi verileri elde edilmiş ve neticesinde sistemin performans tahmin analizi gerçekleştirilmiştir.

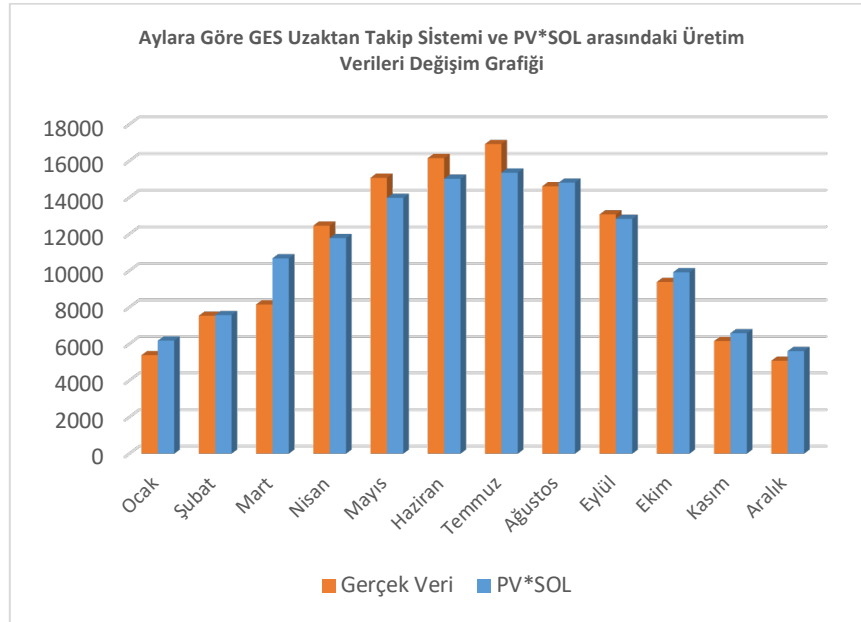
4. Bulgular ve Tartışma

Yapılan çalışma ile şebekeye bağlı çatı üstü GES sisteminin PV*SOL simülasyonu sayesinde tasarım aşamasından raporlama aşamasına kadar santralin verimliliği üzerine temel bir yaklaşım elde edilmiştir. Elazığ ilinde küçük sanayi bölgesinde on-grid sistemde kullanılan monokristal paneller üzerine gelen yıllık toplam ışıyım miktarı 1696 kWh/m²/yıl, yüzeye düşen ışıyım miktarı ise 1600,6 kWh/m²/yıldır (Şekil 18).



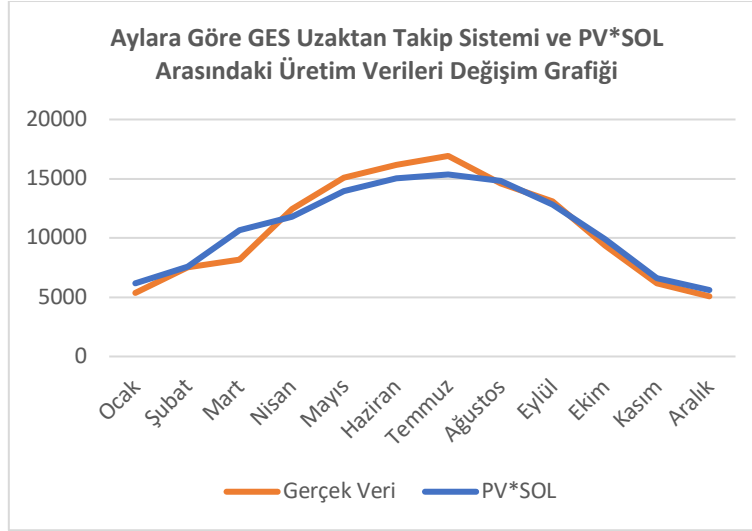
Şekil 18. Yüzeve ve panel üzerine gelen ışınm miktarı.

PV*SOL programı ile GES'nin aylara göre belirlenmiş yıllık üretim tahmini 130326 kWh/yıldır (Şekil 19). Şekil 19 incelendiğinde aylık olarak en az üretim değeri 5607,3 kWh/aylık ile Aralık ayına ait olduğu görülürken, en fazla üretim değeri ise 15359,17 kWh/ay ile Temmuz ayını göstermektedir. Bunun sebebi aylara göre panellerin güneşlenme süresi ve paneller üzerine güneş geliş açısının değişmesidir.



Şekil 19. GES Uzaktan takip sistemi ile pv*sol üretim değerlerinin aylık karşılaştırılması.

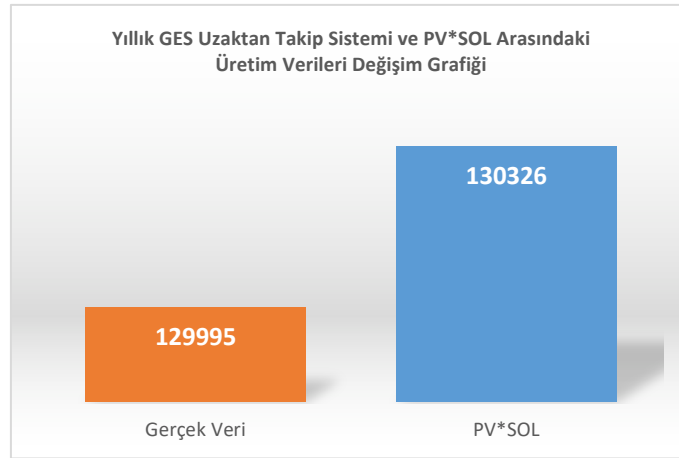
Tesise ait GES uzaktan takip sisteminden alınan gerçek yıllık enerji üretim verisi 129995 kWh/yıldır. Şekil 20 incelendiğinde en fazla üretimin Temmuz ayında, en az üretimin ise Aralık ayında olduğu görülmüştür.



Şekil 20. GES uzaktan takip sistemi ile pv*sol üretim değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 19 ve Şekil 20 incelendiğinde gerçek üretim aylık değerlerinin güneş ışınımının ve güneşlenme sürelerinin fazla olduğu Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos aylarında PV*SOL programına göre yüksek olduğu, güneşlenme süresinin ve güneşlenme zamanının daha az olduğu Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart aylarında ise PV*SOL tahmin değerlerinin gerçek üretim değerlerinden yüksek olduğu görülmektedir.

PV*SOL ile gerçek üretim değerleri arasındaki aylık farkların yıllık üretim olarak birbirini dengeleyerek yıllık toplamda birbirine yakın değer sonuçlarının elde edildiği Şekil 21'de gösterilmiştir.



Şekil 21. GES uzaktan takip sistemi ile pv*sol üretim değerlerinin yıllık karşılaştırılması.

5. Sonuçlar

Bu çalışma ile Elazığ ili Yeni Küçük Sanayi Sitesi bölgesinde bulunan Çelmak Ltd. Şti. işletmesinde bulunan makine-teçhizat elektrik tüketim değerlerini karşılamak amacıyla yapılmış 89,9 kWp kurulu güce sahip çatı üstü güneş enerji santralının (on-grid) güneş enerji potansiyeli PV*SOL simülasyon programı ile 3D tasarımı yapılarak gerçek üretim verileriyle karşılaştırılmıştır. GES alanının kurulum yeri koordinatları, kullanılan her biri 545W gücünde toplam 165 adet monokristal fotovoltaik panel, 50 kW gücünde invertör seçimi yapılarak GES saha potansiyelinin elektrik enerjisine dönüştürülme verileri elde edilmiştir. PV*SOL ile yapılan simülasyon çalışma sonuçları ile saha uygulamasında GES uzaktan takip sisteminden alınan bir yıllık değerler karşılaştırılmıştır.

PV*SOL ile elde edilen bir yıllık üretim miktarları sırasıyla 130326 MW, GES uzaktan takip sistemi ile elde edilen ise 129995 MW'tır. Bu elde edilen veri sonuçları karşılaştırıldığında %99,7 benzerlik taşıdığı görülmektedir.

Çalışmamızda kıyaslama yapılan güneş enerji santralının yönü güneydoğu olup tek cephelidir. Mevcut uygulamalar arasında iki yönlü çatı uygulamaları, güneş takip sistemi montajı yapılan santraller, iklim koşullarının anlık değişimlerinin görüldüğü yerleşim yerlerinden uzakta bulunan güneş enerji santralleri (off-grid) yer almaktadır. PV*SOL gibi simülasyon programlarıyla mevcut güneş enerji santralleri üzerinde fizibilite çalışmaları yapılmalıdır. Böylece GES teorik ve saha uygulamalarının benzeşim oranını en üst seviyeye çıkmasını sağlayabilecek bu veriler enerji sektöründe yer alan firmalara ve yatırımcılara yol gösterme hususunda yardımcı olacaktır. On-grid sistem örneğimizde benzeşim oran hatası %0,03 olurken, Balkan ve Görel'in [21] yapmış olduğu off-grid sistem örneğinde bu oran %3,309798'dir. Bu da on-grid ve off-grid sistemlerinde benzeşim programının en doğru sonucu verebilmesi için PV-SOL programlarının geliştirilmeye ihtiyaç duyduğunu göstermektedir. Bununla birlikte uygulama örneğimizde amortisman yılı 9,5 yıl olarak görülmektedir. Organize Sanayi bölgelerinde yer alan büyük elektrik tüketimine sahip işletmelerin GES sistemi kurarak 5-7 senelik amortisman maliyet süresinden sonra elektrik fatura ödemelerinin azaltılarak yatırım maliyetini geri kazanmanın yanında panel üreticileri tarafından öngörülen 25 yıl boyunca karbon salınım miktarını azaltma yönünde etki yapacağı bilinmektedir. Simülasyon ile saha değerleri arasındaki amortisman süresindeki farkın PV*SOL yazılımı mevcut kayıtlarındaki elektrik fiyat endeksinin gerçek değerleriyle uyuşmamasından ötürü olduğu düşünülmektedir.

On-grid ve off-grid güneş enerjisi santrallerinin yaygınlaşması, yurt içi mevcut şebeke ağında oluşan elektrik yük miktarını azaltarak enterkonnekte elektrik ağına pozitif etki sağlayacaktır. Güneş enerji santrallerinde bu pozitif etkiden en üst düzeyde faydalanmak için PV*SOL gibi simülasyon programları kullanılmalıdır. Böylelikle GES sistemlerinde kullanılan ekipmanların türü, sayısı, panellerin konumlandırılması gibi etkenlerin kısa bir zaman aralığında doğru bir şekilde tasarımının yapılması sistem verim değerlerini maksimum noktaya getirilmesine katkı sunacaktır.

Kaynaklar

- [1] https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EIGM/tr/Raporlar/TUEP/T%C3%BCrkiye_Ulusal_Enerji_Plan%C4%B1.pdf/Erişim 27.11.2023.
- [2] <https://odsdanismanlik.com/tr/gunes-enerjisi-tesvik-belgesi-danismanligi/> Erişim 28.11.2023.
- [3] <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/> Erişim 29.11.2023.
- [4] Kumruoğlu LC, Ateş SB. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli ve iskenderun için örnek üretim projeksiyonu. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi 2022; 37(1): 293-305.
- [5] Abdullah AZ, Amlus MH, Azizan N, Sali IM, Rahim MH. Performance Analysis of Different Type PV Module for 3 kW Residential Roof Top PV System using PVSyst Simulation tool. J Phys : Conf Ser 2022; 2312(1): 012042.
- [6] Wang X, Tian X, Chen X, Ren L, Geng C. A review of end-of-life crystalline silicon solar photovoltaic panel recycling technology. Sol Energy Mater Sol Cells 2022; 248, 111976.
- [7] Dewi RG, Siagian UWR, Asmara B, Anggraini SD, Ichihara J, Kobashi T. Equitable, affordable, and deep decarbonization pathways for low-latitude developing cities by rooftop photovoltaics integrated with electric vehicles. Appl Energy 2023; 332, 120507.
- [8] Hariri MMH, Desa MMK, Masri S, Zainuri MAA. Grid-connected PV generation system—Components and challenges: A review. Energies 2020; 13(17), 4279.
- [9] Karthikeyan V, Rajasekar S, Das V, Karuppanan P, Singh AK. Grid-connected and off-grid solar photovoltaic system. Smart Energy Grid Design for Island Countries: Challenges and Opportunities 2017; 125-157.
- [10] Akkas OP, Erten MY, Cam E, Inanc N. Optimal site selection for a solar power plant in the Central Anatolian Region of Turkey. Int J Photoenergy 2017; 1, 7452715.
- [11] <https://tr.ds solar.com/info/7-most-popular-solar-pv-system-design-and-simu-34957124.html/> Erişim 30.11.2023.
- [12] Özcan Ö, İzgi E. Şebekeye bağlı fotovoltaik çatı sisteminin karşılaştırmalı performans analizi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2020; 23(3): 127-140.
- [13] Sharma R, Gidwani L. Grid connected solar PV system design and calculation by using PV* SOL premium simulation tool for campus hostels of RTU Kota. In 2017 International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT), 20-21 April 2017, Kollam, India.
- [14] Kumar R, Rajoria CS, Sharma A, Suhag S. Design and simulation of standalone solar PV system using PVSyst Software: A case study. Mater Today Proc 2021; 46: 5322-5328.
- [15] Serat Z, Fatemi SAZ, Shirzad S. Design and Economic Analysis of On-Grid Solar Rooftop PV System Using PVSyst Software. Arch Adv Eng Sci 2023; 1(1): 63-76.
- [16] Arafat NM, Dwivedi VK. Design And Simulation Of Grid Connected 100 kW Solar Power System By Using Pvsyst. Int Res J Modernization Eng Technol Sci 2023; 5(8): 2582-5208.

- [17] Dondariya C, Porwal D, Awasthi A, Shukla AK, Sudhakar K, Manohar SR, Bhimte A. Performance simulation of grid-connected rooftop solar PV system for small households: A case study of Ujjain, India. *Energy Rep* 2018; 4: 546-553.
- [18] Ateş AM. Years energetic and economic analysis of a 30kWp rooftop PV power plant. *Mühendis ve Makine* 2023; 64(710): 175-194.
- [19] Çiçek A, Erdiç O. PV-batarya hibrit sistemi içeren elektrikli araç otoparkının şarj yönetimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2019; 15: 466-474.
- [20] Ay E, Pamuk N. Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Farabi Yerleşkesindeki Elektrik Enerjisi İhtiyacının Güneş Enerjisi Santralleri Kurularak Elde Edilmesi ve Ekonomik Analizi. *Black Sea J Eng Sci* 2023; 6(3): 173-184.
- [21] Balkan A, Görel G. Güneş enerji santrallerinde PV*SOL yazılımının güvenilirliğinin değerlendirilmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2024; 14(3): 949-957.
- [22] Martin K. Elbistan Meslek Yüksekokulu Çatı Üstü Güneş Enerjisi Santrali Kurulum Simülasyonu: Performans Analizi. *KİÜ Fen, Mühendislik ve Teknoloji Dergisi* 2024; 1(1): 33-42.
- [23] Biberici MA. Techno-economic analysis of a solar-powered agricultural irrigation system using PV*Sol software A case study in Konya. *Int J Agric Environ Food Sci* 2023; 7(1): 156-162.
- [24] Erge T, Sick F. *Photovoltaics in buildings: a design handbook for architects and engineers*. Routledge, 2014.
- [25] Al-Ezzi AS, Ansari MNM. Photovoltaic solar cells: a review. *Appl Syst Innov* 2022; 5(4): 67.
- [26] Öztürk HH. Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi ve Etkili Etmenler". TMMOB EMO, Elektrik Tesisat Ulusal Kongresi, 18-21 Ekim 2017, İzmir, Türkiye.
- [27] https://www.frmenergy.com/GES/3/On_Grid_Depolamali_Solar_Sistemler/ Erişim 01.12.2023.
- [28] Ghafoor A, Munir A. Design and economics analysis of an off-grid PV system for house hold electrification. *Renew Sustain Energy Rev* 2015; 42: 496-502.
- [29] Kaynar NK. Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinin Amasya ilindeki potansiyeli. *Bilge Int J Sci Technol Res* 2020; 4(2): 48-54.
- [30] Ceylan O, Taşdelen K. Isparta ili için fotovoltaik programlarının simülasyon sonuçlarının doğruluğunun incelenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2018; 18(3): 895-903.
- [31] Varlı H, Tuna M, Tombul M. Bölgesel Güneş Enerji Potansiyeli ve Enerji Santrali Yatırımı Değerlemesi: Sincan Örneği. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2022; 34(2): 657-666.
- [32] Atasoy A, Çitçi DM. Değişen iklim koşullarının Elazığ ovası ile yakın çevresinin ekosistemine etkileri. *Doğu Coğrafya Dergisi* 2011; 14(21): 33-52.
- [33] Biberici MA. Techno-economic analysis of a solar-powered agricultural irrigation system using PV* Sol software: A case study in Konya. *J Agric Environ Food Sci* 2023; 7(1): 156-162.
- [34] Bocullo V, Martišauskas L, Pupeikis D, Gatautis R, Venčaitis R, Bakas R. UAV photogrammetry application for determining the influence of shading on solar photovoltaic array energy efficiency. *Energies* 2023; 16(3): 1292.
- [35] De Souza Silva JL, Costa TS, de Melo KB, Sakô EY, Moreira HS, Villalva MG. A comparative performance of PV power simulation software with an installed PV plant." 2020 IEEE international conference on industrial technology (ICIT). 26-28 February 2020, Buenos Aires, Argentina.
- [36] Deniz Ö. Öğrenci Eğitimi Bağlamında Çatı Üstü PV Sistemlerinin Simülasyon Tabanlı Görselleştirilmesi ve Analizi. *Teknik Bilimler Dergisi* 2024; 14(2): 11-18.