

PVSYST Simülasyon Aracı Kullanılarak Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Tavşanlı Yerleşkesi Şebeke Bağlantılı Güneş Enerjisi Santralinin Tasarımı ve Ekonomik Analizi

Abtullah Tuğcu ^{1*} 

¹*Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Tavşanlı Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 43300, Tavşanlı, Türkiye*

Geliş: 14.02.2023, Kabul: 08.12.2023, Yayınlanma: 31.12.2023

ÖZ

Bu çalışmada, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Tavşanlı Yerleşkesinde kurulumu önerilen 200 kWp kurulu gücündeki fotovoltaik bir santralin tasarımı, performansı ve ekonomik analizleri PVsyst V 6.8.8 simülasyon yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. PVsyst simülasyon yazılımından elde edilen yıllık kayıp diyagramında, santralin kurulacağı konumda yatay düzlemdeki küresel ışınım miktarı yıllık 1494 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Tasarımı yapılan bu sistemde, verimi % 18,48 olan güneş panelleri 36°'lik eğim ve 0°'lik azimuth açısıyla güneye bakacak şekilde konumlandırıldıklarından panel yüzeyine gelen ışınım miktarı % 12,5 oranında artmaktadır. Sisteme ait % 7,85 dize, % 2,37 inverter kayıpları dikkate alındığında, santralden yılda 291,1 MWh enerjinin şebekeye verileceği düşünülmektedir. PVsyst yazılımı ile gerçekleştirilen ekonomik analizlerde santralin ilk yatırım maliyeti 231.864,0 \$. YEKDEM'in 10 yıl süre ile sabit alım garantili fiyatı olan 0,133 \$/kWh tarifesinden alım garantisi sonunda % 40 lık azalma ile şebekeye satılan enerjiden 681.978 \$ gelir elde edileceği hesaplanmıştır. Ekonomik analizin bilanço hesabında, 2034 yılındaki 237.378,0 \$ kazancıyla, tesisin kurulum maliyeti 10,2 yılda geri ödeme süresine ulaşmıştır. Santralin kullanım ömrü boyunca net kârı 88.272,67 \$, yapılacak yatırımın getiri oranı ise % 38,1 olarak hesaplanmıştır. Çalışma, güneş enerjisi santrali tasarımı ile ilgilenen araştırmacılara ulaşmayı amaçlamakta, güneş enerjisi santrali tasarımına ilişkin olarak coğrafi konum, bileşen seçimi, boyutlandırma, yerleştirme, gölgeleme analizi, performans ve ekonomik değerlendirmeler için bir yöntem sunmaktadır. Çalışmanın, Tavşanlı Yerleşkesine gelecekte yapılması planlanan güneş enerjisi santralinin kurulumuna katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Şebeke bağlı PV sistem; PVsyst; Simülasyon; Performans oranı; Ekonomik analiz

The Design and Economic Analysis of the Grid-Connected Solar Powerplant in Kütahya Dumlupınar University Tavşanlı Campus Using PVSYST Simulationtool

ABSTRACT

In this study, the design, performance and economic analysis of a 200 kWp photovoltaic power plant proposed to be installed in Tavşanlı Campus of Kütahya Dumlupınar University were carried out with PVsyst V 6.8.8 simulation software. In the annual loss diagram obtained from the PVsyst simulation software, the amount of global radiation in the horizontal plane at the location where the power plant will be installed has been calculated as 1494 kWh/m² per year. In this designed system, since the solar panels

with an efficiency of 18.48% are positioned facing south with an inclination of 36° and an azimuth angle of 0°, the amount of radiation reaching the panel surface increases by 12.5%. Considering 7.85% string losses and 2.37% inverter losses of the system, it is thought that 291.1 MWh of energy will be supplied to the grid per year from the power plant. In the economic analyses carried out with the PVsyst software, the initial investment cost of the power plant is \$231,864.0. It has been calculated that an income of \$681,978 will be generated from the energy sold to the grid with a 40% reduction at the end of the purchase guarantee from YEKDEM's \$0.133/kWh tariff, which is a fixed purchase guaranteed price for a period of 10 years. In the balance sheet account of the economic analysis, the installation cost of the facility with a gain of \$237,378.0 in 2034 reached a payback period of 10.2 years. The net profit of the power plant during its lifetime was calculated as \$88,272.67 and the rate of return on the investment to be made was calculated as 38.1%. The study aims to reach researchers interested in solar power plant design and provides a method for geographical location, component selection, sizing, placement, shading analysis, performance and economic evaluations related to solar power plant design. It is thought that the study will contribute to the installation of the solar power plant planned to be built in Tavşanlı Campus in the future.

Keywords: Grid connected PV system; PVsyst; Simulation; Performance ratio; Economic analysis

1. GİRİŞ

Gelişen teknolojiye paralel olarak küresel düzeyde karşılaşılan en önemli sorunlar enerji kaynaklarının yetersizliği ve fosil yakıtların neden olduğu çevre kirliliğidir. Enerji tüketimi ve üretiminin artmasıyla birlikte kirlilik de arttığından, enerji ve çevre sorunlarının çözülmesi zorunlu hale gelmektedir. Bu bağlamda, çevre dostu ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanımına acilen ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle güneş, rüzgâr ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynakları daha popüler hale gelmiş ve daha cazip bir çözüm olarak görülmeye başlanmıştır [1].

Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynağının değerlendirilmesi adına Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığına yapılan çalışmalar son dönemde hız kazanmıştır. Bu çalışmalar sayesinde güneş enerjisinden elektrik üretimi ile ilgili pek çok araştırma yapılmakta ve güneş enerjisinden elektrik üretimi her geçen gün artmaktadır. Güneş enerjisinden elektrik üretimi için birden fazla metot bulunmasına rağmen genel anlamda eğilim, güneşten gelen ışığın doğrudan elektriğe dönüştürüldüğü fotovoltaiik sistemlere odaklanmıştır. Güneş enerjisinden etkin bir şekilde faydalanma konusundaki çalışmalar 1970'li yıllardan sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik anlamda ilerleme kat etmiş ve maliyet bakımından azalma eğilimi göstermiş, çevre açısından da temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir. Özellikle temiz bir enerji kaynağı olması ve kurulumdan sonra düşük maliyetle çalışması güneş enerjisinin önemini her geçen gün arttırmaktadır [2].

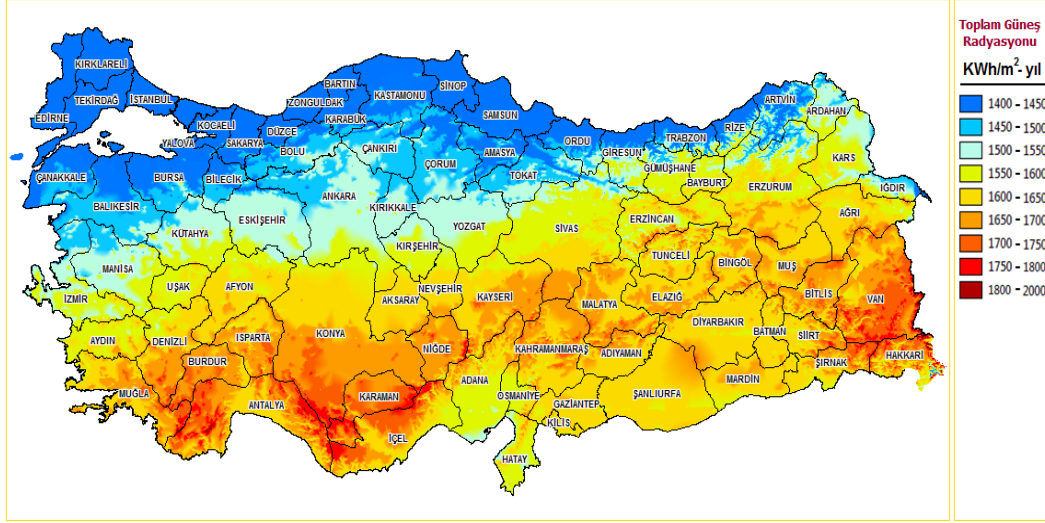
Güneş enerjisinin kullanımı ile ilgili plan ve programlar yapmadan önce bu kaynağın potansiyelinin tam olarak keşfedilmesi gerekmektedir. Bu nedenle de kamu kurumları ve üniversiteler güneş potansiyelini ölçmek ve bu kaynakla ilgili araştırma projeleri yapmak için çaba sarf etmektedir. Ancak Türkiye’de güneş enerjisinin değerlendirilmesi konusunda daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Tavşanlı Yerleşkesinde kurulumunu önerdiğimiz 200 kWp kurulu güce sahip güneş enerjisi santralının performans oranının ve sistemde meydana gelebilecek kayıp miktarlarını belirlemek için PVsyst yazılım programıyla şebekeye bağlı fotovoltaiik sistemin modellenmesi ve simülasyonu yapılmıştır. Çalışmada ayrıca tasarımı yapılan santralin ekonomik analizi de incelenmiştir.

1.1. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli

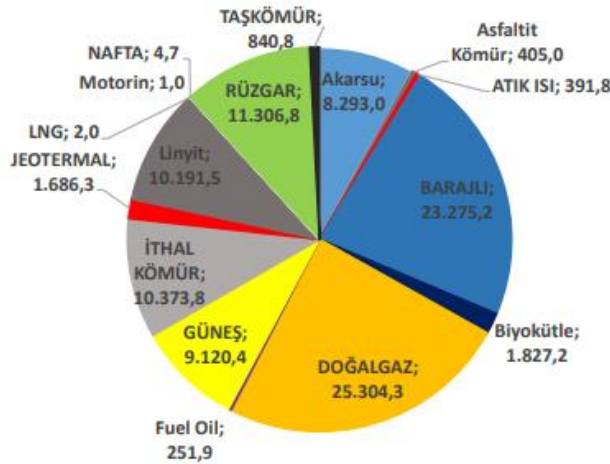
Ülkemiz 36°- 42° kuzey enlemleri ve 26°- 45° doğu boylamlarındaki coğrafi konumu ile Akdeniz güneş kuşağı içerisinde yer alır. Şekil 1’de Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) görülmektedir.

Şekil 1'deki yıllık güneşlenme oranları incelendiğinde, ortalama yıllık toplam güneşlenme süresinin 2741,07 saat/yıl (günlük toplam 7,5 saat/gün), ortalama yıllık toplam ışıınım şiddetinin 1527,46 kWh/m²-yıl, ortalama günlük toplam ışıınım şiddetinin ise 4,18 kWh/m²-gün olduğu görülmektedir [3].



Şekil 1: Türkiye güneş enerjisi potansiyeli haritası [3].

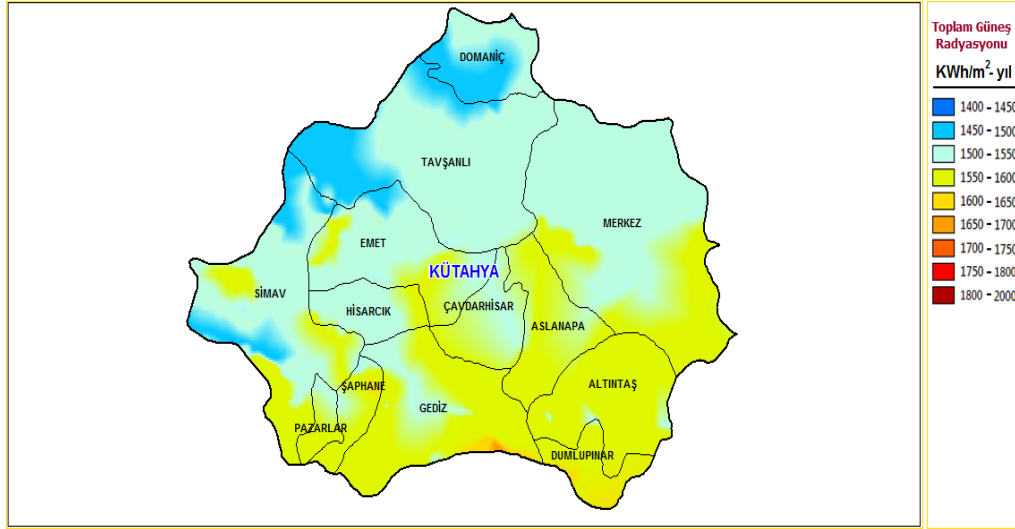
2022 yılı Ekim ayı TEİAŞ raporuna göre, ülkemizde üretilen toplam enerjiye ait kurulu güç miktarı 103,275.8 MW olarak görülmektedir. Şekil 2 incelendiğinde üretilen toplam enerjinin 9120.4 MW'ı, 9203 adet güneş santrali kullanılarak elde edilmiştir. TEİAŞ'ın aylık olarak hazırladığı bu raporlar incelendiğinde 2020 yılı sonu itibariyle güneş enerjisinden üretilen toplam enerji 6667.4 MW iken, 2022 yılı Ekim ayında bu değer 9120.4 MW'a yükselmiş, yeni kurulan ve devreye alınan güneş santralleri ile üretilen enerji miktarı her geçen gün artmaktadır [4].



Şekil 2: Ekim 2022 Türkiye'de kurulu güç dağılımı [4].

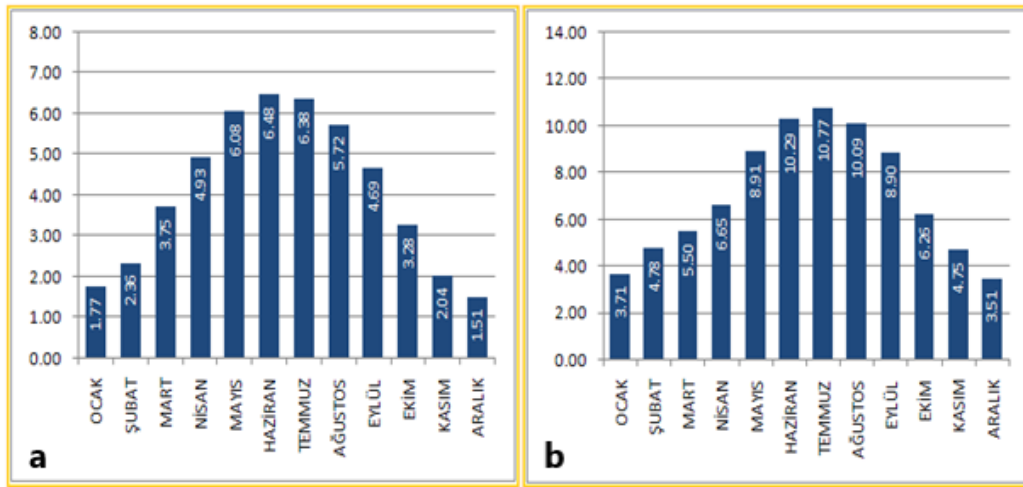
1.2. Kütahya ili güneş enerjisi potansiyeli

Şekil 3'ten görüldüğü gibi Tavşanlı ilçesinin yıllık ışıınım miktarı, 1450-1550 kWh/ m² dir. Türkiye toplam güneş radyasyonu ortalaması ise 1527,46 kWh/ m²-yıl'dır. Bu bilgiler ışığında, Tavşanlı ilçesinin güneş enerjisi sektöründeki yatırımlar için uygun olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3: Kütahya ili toplam güneş radyasyonu haritası [5].

İlçesinin global radyasyon değeri (kWh/m²-gün) ve güneşlenme süreleri (saat) sırasıyla Şekil 4.a ve Şekil 4.b'de görülmektedir [5].



Şekil 4: (a) Tavşanlı ilçesi Global Radyasyon Değerleri(kWh/m²-gün), (b) Güneşlenme süreleri (saat) [5].

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Yapılan literatür araştırmasında, fotovoltaik güneş santralleri üzerine pek çok çalışmanın olduğu ve çalışmalar genel olarak incelendiğinde fotovoltaik sistemlerin, PVSOL, PVGIS, PVsyst, Retscreen, Homer, v.b simülasyon araçlarıyla tasarlanıp modellendiği, sistem performansı ve ekonomik analizlerin yapıldığı görülmüştür.

Haydaroğlu ve Gümüş (2016) çalışmalarında, Dicle Üniversitesinde kurulumu gerçekleştirilen 250 kWp'lik güneş enerji santralinin simülasyonu, PVsyst V6.39 simülasyon programı ile yapmışlar ve IEC 61724 standardında belirtilen performans kriterlerine uygun olarak santralin performansını analiz etmişlerdir. Çalışmalarında santrale ait Aralık 2015 ile Nisan 2016 dönemi arasındaki üretim değerlerini simülasyon sonuçları ile karşılaştırmışlardır [6]

Srivastava ve Giri (2017) çalışmalarında, Hindistan'nın Gorakhpur şehrindeki Madan Mohan Malaviya Teknoloji Üniversitesi için şebekeye bağlı bir fotovoltaik sistemi, PVsyst yazılımı kullanılarak tasarlanmışlardır. Simülasyondan, yıl boyunca üniversiteye elektrik sağlayabilen fotovoltaik sistemin optimal boyutlandırılmasını gerçekleştirmişler bu bağlamda sistem için 2000 adet PV modül ve şebekeye bağlı 10 adet inverter kullanımının, tasarımı yapılan sistem yükü için en uygun çözüm olduğunu tespit etmişlerdir. Sistemden şebekeye yıllık yaklaşık 901,4 MWh elektrik sağlanacağını belirtmektedirler [7].

Kumar ve diğ. (2017) çalışmalarında, Bir eğitim kurumunun elektrik ihtiyacını sağlamak için 100 kWp kurulu gücüne sahip şebekeye bağlı Si-poli fotovoltaik sistemi, PVsyst V6.52 simülasyon programını kullanarak tasarlamışlar ve sistemin performans analizini gerçekleştirmişlerdir. Simülasyonunu yaptıkları sistemde her biri 310 Wp gücündeki Si-poli PV panellerden 323 adet kullanmışlardır. Fotovoltaik modüllerin yerleşimi, 17 sıra halinde düzenlenmiş ve her bir sırada seri olarak bağlanan 19 modülden oluşturulmuştur. Her biri 20 kW'lık 4 adet inverter, bir şebeke sayacı aracılığıyla şebekeye bağlanmak için kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda 100 kWp kurulu güce sahip sistemden yıllık 165,38 MWh enerjinin üretilebileceğini, sistemin performans oranının % 80 civarında olduğunu ve sistem verimi yani faydalı enerji üretiminin 4,42 kWh/kWp/ gün olduğunu hesaplamışlardır [8].

Özcan ve Ersöz (2019) çalışmalarında, Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesine yönelik fotovoltaik sistemin uygulanmasını karşılaştırmalı olarak sunmuşlardır. Uygulama aşamasında, belirlenmiş bir alan için PV sistem boyutlandırması yapılmıştır. Bu alan 5 alt üretim alanından oluşmakta ve 180.330 m²'lik bir alanı kaplamaktadır. Fotovoltaik sistemin toplam nominal kurulu gücü 8865 MW'dır. Sistemde kullanılan ekipmanların ve çalıştırılan personel sayılarının aynı olması koşuluyla sistemin üretimi ve finansal performansı, İstanbul, İzmir ve Ankara şehirleri için karşılaştırılmıştır. Bölgelerin yıllık güneş radyasyonu verileri ve ilgili optimum güneş paneli açıları, PVsyst programından sentetik olarak üretilmiş

ve sistemin belirtilen şehirleri için GEPA verileri ve yıllık üretim hesaplamaları yapılmıştır. Üretilen enerji miktarları sırasıyla 11366 MWh/yıl, 13606 MWh/yıl ve 12655 MWh/yıl, üretim performans oranları sırasıyla % 83, % 83 ve % 84,4 dür. Çalışmanın finansal analiz bölümünde, üç farklı şehir için yatırım getirileri sırasıyla 36 658 251 TL, 74 281 210 TL ve 69 840 678 TL ve proje Geri Ödeme Süreleri sırasıyla 13,6 yıl, 7,03 yıl ve 6,7 yıl olarak hesaplanmıştır [9].

Rawat ve dig. (2019) çalışmalarında, 5,63 kWh/m²'lik yıllık ortalama güneş radyasyonu miktarına sahip olan Hindistan'ın Gwalior şehrinde 30,5 kWp'lik kurulu güce sahip çatı üstü güneş santralinin tasarımı ve performansı Pvsyst simülasyon programıyla analiz edilmiştir. Mevcut çalışmada 30,5 kWp kurulu güce sahip sistemden yıllık yaklaşık 55,670 MWh enerji üretiminin yapılabileceği ve sistemin performans oranının % 87 olduğu vurgulanmaktadır [10].

Ramadan ve Elistratov (2019) çalışmalarında, Suriye'de 300 kW'lık şebekeye bağlı bir güneş fotovoltaik (PV) santralının kurulumu için tekno-ekonomik fizibilite analizi yapmışlardır. Pvsyst yazılımı kullanılarak santralin teknik performans analizi, sistem konfigürasyonu, ayrıntılı kayıp değerleri ve enerji verim simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon sonuçları, PV modüllerinin optimum eğim açısının 25°, enerji üretiminin 493 MWh/yıl, yıllık ortalama performans oranının % 79,9 ve kapasite faktörünün % 18,7 olduğunu göstermektedir. Yazarlar ayrıca, Suriye'de kişi başına düşen elektrik enerjisi tüketiminin 2232 kWh/yıl olduğu dikkate alındığında, önerilen 493 MWh/yıl kapasiteli güneş enerjisi santralinden 220 kişi/yıl enerji ihtiyacının sağlanabileceğini, yaklaşık 42,4 ton petrol eşdeğeri tasarrufun yapılabileceğini ve yılda yaklaşık 320,45 tCO₂ emisyonunun azaltılabileceğini belirtmektedirler. Önerilen FV santralin ekonomik değerlendirmesinde iskonto oranının % 9, proje ömrünün 25 yıl ve elektriğin Suriye elektrik dağıtım kuruluşuna satış fiyatının 0,119 \$/kWh olduğu dikkate alınarak yapılmıştır. Ekonomik hesaplamaların sonuçları, elektriğin üretim maliyetinin 0,094 \$/kWh, iskonto edilmiş geri ödeme süresinin yaklaşık 11 yıl, iç verim oranının % 14, karlılık endeksinin 1,46 ve net bugünkü değerinin 190587,3 \$ olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak yazarlar, önerilen şebekeye bağlı PV güneş enerjisi santralinin Suriye'de ekonomik, teknik ve çevresel olarak uygulanabilir olduğunu düşünmektedirler [11].

Demiryürek ve dig. (2020) çalışmalarında, 200 kWp kurulu güce sahip, Lebit Enerji güneş santraline ait bilgileri, Pvsyst V6.67-TRIAL programına aktarılmışlar ve gerçek üretim değerleri ile simülasyondan elde ettikleri üretim değerlerini karşılaştırılmışlardır. Simülasyondan elde ettikleri rapor ile sisteme ait kayıpları analiz etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, simülasyondan elde ettikleri üretim değerleri ile gerçek üretim değerleri arasında % 0.56'lık bir fark olduğunu görmüşlerdir. Elde edilen bu değer, kurulum aşamasında olan PV sistemleri için, oluşturulan fizibilite çalışmalarına önemli bir katkı sağlayabileceği gibi, kurulumu

gerçekleştirilmiş olan PV sistemlerinde verimli hale getirilebilmesi için, gerçekleştirilecek revizyon çalışmalarına ışık tutabileceğini belirtmektedirler [12].

Al-Shagea ve dig. (2021) çalışmalarında, Kocaeli Üniversitesi Teknoloji Fakültesinin çatısında bulunan 5,1 kW'lık kurulu güce sahip sistemin gerçek üretim değerleri ile PVsol, PVSyst ve GEPA programlarından elde ettikleri tahmini üretim değerlerini kıyaslamışlardır. 2018-2019 yılları arasında, sistemin tahmini üretim performanslarını, PVSyst'a göre % 87,5-% 91, GEPA'ya göre % 96,6-% 100 ve PVsol verilerine göre ise % 97,3-% 98,1 aralığında gerçekleştiğini hesaplamışlardır [13].

Akinsipe ve dig. (2021) çalışmalarında, Nijerya'nın Jos kentinde şebekeden bağımsız elektrik üretimi için PV sistemin uygulanabilirliğini incelemişlerdir. Jos kentinde (9.90N, 8.90E,) koordinatlarındaki bir konutun elektrik tüketimini karşılamak için şebekeden bağımsız bir PV sistemi tasarlamak ve analiz etmek için matematiksel bir modelleme yöntemi benimsemişlerdir. Matematiksel modelleme yaklaşımını uygulanarak yaptıkları çalışmada, her biri 275 Wp'lik 10 adet PV modülünün ve 100 Ah'lık 5 adet pilin her birinin yıllık yaklaşık 3132 kWh elektrik tüketimini karşılayabileceğini göstermişlerdir. Çalışmada ayrıca, yaşam döngüsü maliyet (LCC) analizi kullanılarak gerçekleştirdikleri ekonomik analizde, yaşam döngüsü maliyetinin (LCC), yıllık yaşam döngüsü maliyetinin (ALCC) ve elektrik maliyetinin (COE) sırasıyla 10.110,85 \$/kWh, 593.75 \$/kWh ve 0.18 \$/kWh olduğunu belirlemişlerdir. Bu modellemenin sonuçları ile elektrik üretimi için şebekeden bağımsız PV sisteminin hem teknik hem de ekonomik olarak uygulanabilirliğini göstermişlerdir [14].

Etcı ve Bilhan (2021) çalışmalarında, PVSyst ile Konya ilinde sabit ve çift eksenli güneş takip sistemlerinin modellenmesini yapmışlardır. PVSyst programı ile sabit veya çift eksenli güneş takip sistemlerinin kullanılması halinde Konya ilinin güneş enerjisi potansiyeline ait analizleri yapılmışlardır. PVSyst programı ile farklı tiplerdeki güneş takip sistemlerinin analizlerini karşılaştırılmışlardır [15].

Cura ve dig. (2022) çalışmalarında, Yunanistan'ın Kastoria kentinde 500 kW kurulu güce sahip, yere monte edilmiş ve Türkiye'nin Kocaeli şehrinde 110 kW kurulu güce sahip çatıya monte edilmiş iki farklı güneş santralinden alınan üretim değerlerini, PVSyst simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmışlardır. Elde edilen sonuçlardan Kastoria ve Kocaeli santralleri için performans oranları sırasıyla % 79 ve % 72,2, iç getiri oranı % 6,71 ve % 7,08, yapılan ekonomik analizlerde ise Net Bugünkü Değeri sırasıyla 821900 € ve 174072 € olarak elde etmişlerdir [16].

Garip ve dig. (2022) çalışmalarında, Milli Savunma Üniversitesi Deniz Harp Okulu Tuzla Kampüsü için sürdürülebilir, güvenli ve temiz enerji sağlamayı amaçlamışlardır. Tuzla Kampüsü için şebeke ve dizel jeneratörüne ek olarak güneş, rüzgâr, biyokütle kaynaklarının tümünü veya bir kısmını içeren teknik ve ekonomik olarak optimize edilmiş bir hibrit enerji sistemini tasarlamışlardır. Çalışmalarında güneş

radyasyonu, rüzgâr hızı, beklenen enflasyon, elektrik birim fiyatları gibi değişkenlerin sistem üzerindeki etkileri analiz edilmişlerdir. Çalışma, Homer yazılımı aracılığıyla yasal düzenlemelere dayalı iki farklı senaryo altında yürütülmüştür. Sonuç olarak, her iki senaryoda da optimum sistem, fotovoltaik ve rüzgar türbinlerinden oluşan şebekeye bağlı hibrit bir sistemdir. Sonuçlar, net mevcut enerji maliyetinde % 86,2 – % 90, birim enerji maliyetinde % 92,7 -% 95,8, işletme ve bakım maliyetlerinde 862.093 \$-933.695 \$, emisyonlarda % 79 -% 82 azalma olduğunu göstermiştir [17].

Ayousha ve Abdullah (2022) çalışmalarında, Suudi Arabistan Krallığı, Dammam, AL Juaimah’da on-grid bir fotovoltaik sistemin PVsyst simülasyon programı ile tasarımını ve ekonomik analizini yapmışlardır. 960 kWp kurulu gücüne sahip santral tasarımı için 1920 adet PV panel ve 8 adet evirici kullanarak, PVsyst simülasyon programından enerji üretimini 1616,9 MWh/yıl, performans oranının % 82,3, geri ödeme süresini 6,9 yıl ve CO2 azalımı ise 29878,2 tCO2 olarak bulmuşlardır [18].

3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmanın amacı, PVsyst simülasyon aracı kullanılarak tasarımı yapılan sistemin yıllık üreteceği enerji miktarının, performans oranının ve ekonomik analiz çalışmasıyla santralin amortisman süresinin belirlenmesidir. Çalışma kapsamında Tavşanlı yerleşkesinin 2022 yılı aylık elektrik tüketim miktarları incelenmiştir. Yerleşke Tavşanlı Uygulamalı Bilimler Fakültesi ve Tavşanlı Meslek Yüksekokulundan oluşmaktadır. Çizelge 1’de yerleşkenin aylara göre elektrik tüketimleri ve fatura miktarları verilmiştir.

Çizelge 1: 2022 yılına ait yerleşkenin elektrik tüketimi ve fatura miktarları [19]

Tavşanlı Uygulamalı Bilimler Fakültesi			Tavşanlı Meslek Yüksekokulu		
Ay	Elektrik Tüketim Verileri (kWh/ay)	Fatura Miktarı (TL/ay)	Ay	Elektrik Tüketim Verileri (kWh/ay)	Fatura Miktarı (TL/ay)
Ocak	8.620,17	22.412,44	Ocak	7.220,92	18.786,30
Şubat	6.648,15	17.152,22	Şubat	6.822,96	17.751,00
Mart	9.514,41	22.549,15	Mart	8.819,52	20.945,06
Nisan	8.268,27	21.497,50	Nisan	6.809,12	17.714,90
Mayıs	7.959,15	20.057,05	Mayıs	6.811,48	17.221,10
Haziran	5.147,40	16.729,05	Haziran	4.508,52	14.662,00
Temmuz	4.276,62	13.899,01	Temmuz	4.039,48	13.136,70
Ağustos	4.345,60	14.123,20	Ağustos	4.179,88	13.593,20
Eylül	4.734,78	20.017,10	Eylül	4.929,60	20.840,80
Ekim	7.622,43	32.225,30	Ekim	8.999,12	38.045,50
Kasım	6.983,32	29.523,38	Kasım	7.134,20	30.161,20
Aralık	9.324,68	39.421,94	Aralık	9.676,88	40.910,80
Toplam	83.444,98 (kWh/yıl)	269.607,34 (TL/yıl)	Toplam	79.951,68 (kWh/yıl)	263.768,56 (TL/yıl)

Çizelge 1’den görüldüğü üzere yerleşkede, yıllık 163.396,66 kWh elektrik tüketimine karşılık olarak 533.375,90 TL elektrik faturası ödendiği görülmektedir.

Şebeke bağlı sistemler (on-grid), üretilen enerjiyi uzak noktalara taşımadan en yakında bulunan dağıtım şebeke sistemine bağlanarak iletim, dağıtım kayıplarını en az oranda tutabilmektedir. Bu sistem, üretilen elektriğin, üretildiği anda ve üretildiği yerde hiçbir ilave depolama (akü, batarya v.b) birimi olmadan şebekeyi beslediği ve anında kullanıldığı sistemlerdir [20]. Son yıllarda on-grid sistemlerde, teknolojik gelişmelere bağlı olarak ilk yatırım ve bakım maliyetlerinde kayda değer bir düşüş söz konusu olduğundan tasarımı gerçekleştirdiğimiz santral şebeke bağlı (on-grid) bir güneş santralidir.

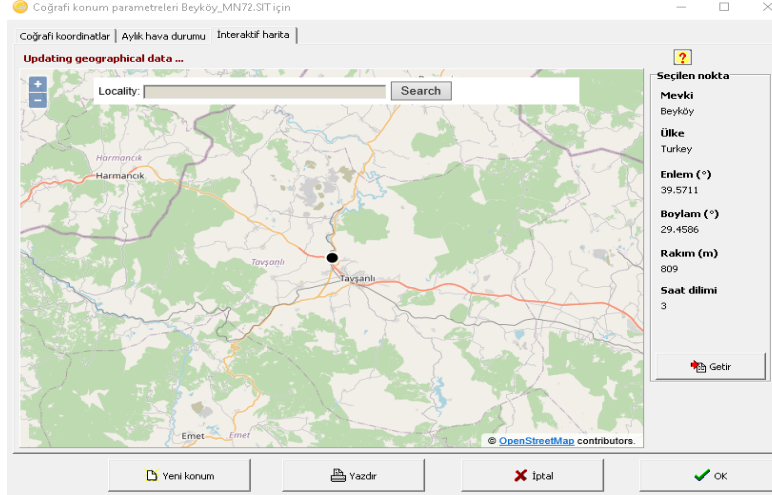
Tavşanlı ilçesinin Şekil 4.a’da verilen global radyasyon değerleri (kWh/m^2), Şekil 4.b’deki güneşlenme süreleri (saat) ve Çizelge 1’deki yerleşkenin elektrik tüketim verileri de göz önünde bulundurularak, lisansız olarak kurulumunu düşündüğümüz santralin gücünü, yerleşkenin ihtiyacı olan elektrik üretildikten sonra tüketim fazlası elektriğin kayıt altına alınarak mahsuplaştırılıp şebekeye satılarak yerleşkede bulunan okullar için gelir elde edilmesi düşünülebileceğinden 200 kWp olarak planlanmıştır. Güneş enerjisi santrali, Kütahya ili Tavşanlı ilçesine bağlı Beyköy mevkiinde $39^{\circ} 57' 11''$ Kuzey ve $29^{\circ} 45' 86''$ Doğu koordinatlarına kurulacaktır. Şekil 5’de santralin kurulacağı yerleşke görülmektedir.



Şekil 5: Tavşanlı yerleşkesi.

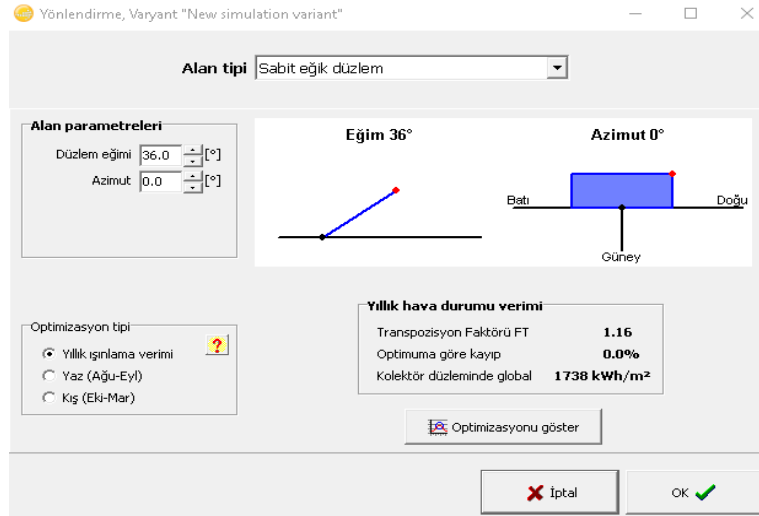
Şekil 5’den de görüldüğü gibi enerji santralinin kurulumu için yerleşkede, gölgelenme unsurlarının ve arazi eğiminin bulunmadığı, ulaşımın kolaylıkla sağlandığı ve enerji nakil hattına yakınlığı sebebiyle yaklaşık 40000 m^2 ’lik bir arazinin seçimi yapılmıştır. Hava sirkülasyonunun, panel verimlerine etkisi düşünüldüğünde, panellerin yerleştirileceği alanda rüzgârı kısıtlayan bir unsur bulunmamaktadır. Bu sayede rüzgâr, yaz aylarında panellerin sıcaklığının düşmesine yardımcı olacak ve sistemin verimini arttıracaktır.

Şekil 6’da görüldüğü üzere santralin coğrafi konumuna ait meteorolojik veriler, PVsyst simülasyon aracının Meteororm veri tabanından yapay ortamda elde edilmiştir.



Şekil 6: Çalışma alanına ait meteorolojik verilerin aktarılmasına ilişkin ekran alıntısı.

Şekil 7’de fotovoltaik güneş panelleri için gerçekleştirilen eğim ve azimuth açı değerleri verilmektedir.



Şekil 7: Panellere ait eğim ve azimuth açı değerlerini gösteren ekran alıntısı.

Şekil 7 incelendiğinde, güneş panelleri sabit eğik sistemde 36° eğim ve 0° azimuth açısı ile konumlandırılmıştır. PVsyst simülasyon programında, planlanan kurulu güç ve PV modüllerin yerleştirileceği mevcut alan üzerinden gerekli hesaplamalar yapılarak panellere, inverterlere, seri ve paralel dizelere ait seçimler yapılmıştır. Şekil 8’de sistem bölümüne ait ekran görüntüsü görülmektedir.

Şebekeye bağlı sistem tanımlama, Varyant "New simulation variant"

Global sistem konfigürasyonu

Alt dizilerin tür sayısı: 1

Basit şema

Global sistem özeti

Modül sayısı	800	PV nominal gücü	200 kWp
Modül yüzeyi	1082 m ²	Maksimum PV gücü	196 kWdc
İnvertör sayısı	10	Nominal AC gücü	200 kWac

PV Array

Alt dizinin ismi ve yönü

Ad: PV Array

Yön: Sabit eğik düzlem

Eğim: 36°
Azimut: 0°

Ön boyutlandırma yardımı

Boyutlandırmasız: Planlanan gücü giriniz: 200.0 kWp

Boyutlandır: ... veya mevcut alan(modül): 1082 m²

PV modül seçimi

Mevcut: [Dropdown] | Filter: All PV modules | Gereken tahmini modül sayısı: 800

Canadian Solar Inc. | 250 Wp 23V Si-mono CS6V - 250MS | Since 2017 | Manufacturer 2017

Voltaj boyutlama: Vmpp (60°C) 23.1 V
Voc (-10°C) 36.7 V

Use Optimizer

İnvertörü seçiniz

Mevcut: [Dropdown] | Output voltage 400 V Tri 50Hz

AOTAI | 20 kW 250 - 950 V TL 50/60 Hz Aotai ASP-20KTLC | Since 2012

İnvertör sayısı: 10 | Çalışma voltajı: 250-950 V | İnvertör global gücü: 200 kWac
Maksimum giriş voltajı: 1000 V

Dizi boyutlandırması

Modül ve dizi sayısı

Seri mod. sayısı: 20 | 11 ile 27 arasında

Dizi sayısı: 40 | tek olanak 40

Aşırı yük kaybı: 0.0 % | Nom. güç oranı: 1.00

Modül sayısı: 800 | Yüzey: 1082 m²

İşletme koşulları

Vmpp (60°C): 462 V
Vmpp (20°C): 548 V
Voc (-10°C): 734 V

Yüzey ısınlama: 1000 W/m²

İmpp (STC): 374 A
İsc (STC): 393 A
İsc (STC lerde): 393 A

Maksimum işletme gücü: 180 kW
1000 W/m² için ve 50°C

Alan nominal gücü (STC de): 200 kWp

Sistem özeti | İptal | OK

Şekil 8: Tavşanlı yerleşkesi güneş santrali sistem bilgileri ekran alıntısı.

Çizelge 2’de seçimi yapılan panellerin katalog bilgileri görülmektedir. Tasarımda katalog değerleri verilen Canadian Solar Inc marka 250 Wp 23Vgücünde Si-mono CS6V-250 MS tipindeki panellerden 800 adet kullanılmıştır. Bu panellerin 20’şer adedi seri bağlanacak şekilde tasarlanarak 40 adet string, 4’er adet string paralel bağlanarak 10 adet array meydana getirilmiştir.

Çizelge 2: Canadian Solar Inc güneş paneli katalog bilgileri [21]

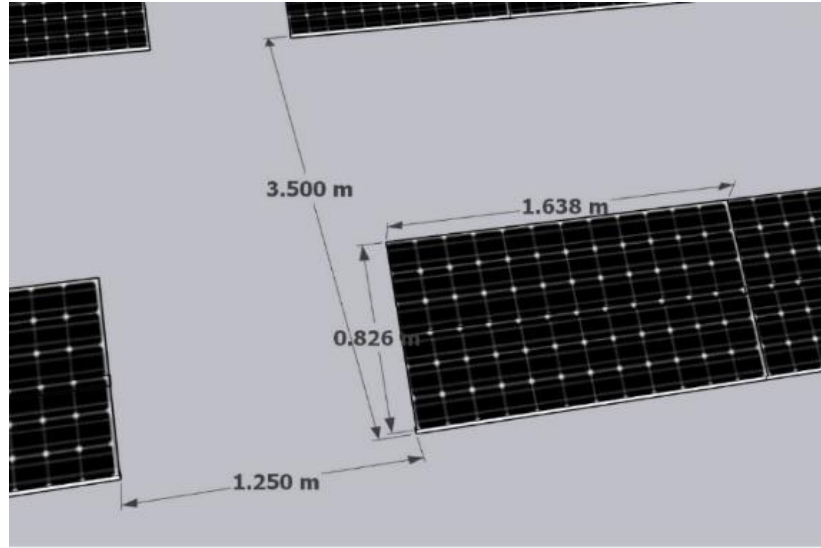
Elektriksel Özellikler		Mekaniksel Özellikler	
Nominal Güç (Pmax)	250 Wp	Hücre Teknolojisi	Si-mono
Açık Devre Gerilimi (Voc)	33.10 V	Hücre Sayısı	60 (6x10)
Kısa Devre Akımı (Isc)	9.83 A	Panel Uzunluğu	1638 mm
Nominal Gerilim (Vmpp)	27.00 V	Panel Genişliği	826mm
Nominal Akım (Imp)	9.26 A	Panel Kalınlığı	40 mm
Modül Verimi (%)	14.8	Ağırlık	16 kg

Çizelge 3'te katalog bilgileri verilen AOTAI ASP-20KTLC marka inverterlerden her array çıkışına 1 adet olmak üzere toplam 10 adet inverter kullanılmıştır. Montajı, bakımı ve sevkiyatının kolaylığı nedeniyle dizi inverter tercih edilmiştir.

Çizelge 3: AOTAI ASP-20KTLC inverter katalog bilgileri [22]

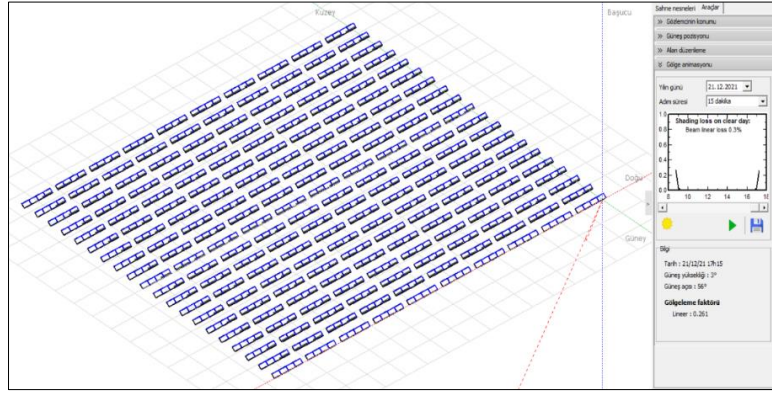
Giriş verileri		Çıkış verileri	
Maksimum DC giriş gücü	24 KW	Nominal çıkış gücü	20 KW
Maksimum DC giriş voltajı	1000 V	Maksimum çıkış gücü	22 KVA
Maksimum DC giriş akımı	22/22 A	Maksimum çıkış akımı	33 A
MPPT voltaj aralığı	250-950 V	Anma şebeke gerilimi	400 V
MPP çalışma gerilimi	650 V	Şebeke voltaj aralığı	310-480 Vac
MPPT sayısı	2	Nominal şebeke frekansı	50 Hz/60 Hz
Sistem verisi		Mekanik veri	
Verim	% 98.5	Boyut (ExBxY)	517x510x191 mm
Soğutma türü	Hava soğutma	Ağırlık	25 kg
Sıcaklık aralığı	-25~+60°C	Koruma sınıfı	IP65

Şekil 9'da görüldüğü gibi Pvsyst simülasyon programı ile PV panellerin 3 boyutlu modellenmesi yapılmış, panel yerleşiminin üç boyutlu çiziminde seri şekilde bağlı güneş panelleri arasındaki mesafe 3,5 m, paralel bağlanarak oluşturulan 10 adet array arası mesafe 1,25 m ve modüllerin toplam alanı ise 1082 m² olarak tasarlanmış ve sisteme aktarılmıştır.



Şekil 9: Panellerin 3 boyutlu modellenmesi.

Santralin kurulacağı bölgede, gölgelenme unsuru bulunmamasına rağmen panel yerleşimine bağlı olarak bir gölgelenme olabileceği düşüncesiyle, Şekil 10'da verilen gölgelenme analizi Pvsyst yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 10: Panellerin 3 boyutlu yerleşimi ve gölgelenme analizi ekran görüntüsü.

Şekil 10'daki gölgelenme analizi incelendiğinde, sabah saat 09:00 öncesi ve öğleden sonra saat 17:00 sonrası panel yerleşimine bağlı olarak % 0,3 oranında gölgelenme söz konusudur.

4. EKONOMİK ANALİZ

Çizelge 4'te verilen 16/11/2022 tarihli Merkez Bankasının kur verileri kullanılarak, Çizelge 5'te görülen santrale ait maliyet çizelgesi oluşturulmuştur. Pvsyst simülasyon programının ekonomik değerlendirme sekmesi kullanılarak, santralin öz sermaye ile kurulması incelenmiştir. Çalışma kapsamında CO2 emisyon değeri de tespit edilmiştir.

Çizelge 4: Kur değeri [23]

ABD Doları (\$) / TL
18,59

Çizelge 5: Maliyet çizelgesi

Maliyet kalemleri	Tutar (\$)
PV Modül (Mono kristal)	133444 \$
İnverter	23240 \$
Personel Binası	8760 \$
Kablolar AC-DC	13000 \$
Konstrüksiyon	17000 \$
Koruma Ekipmanları	5000 \$
Trafo, beton, köşk	7000 \$
İşçilik + Nakliye	8420 \$
Diğer (Arazi düzenleme, sigorta, projelendirme, onay bedeli, kamera, tel örgü, panolar, uzaktan izleme, beklenmeyen giderler v.s)	16000 \$
Personel Giderleri	10973,64 \$/ yıl
Bakım ve onarım	3500 \$/ yıl

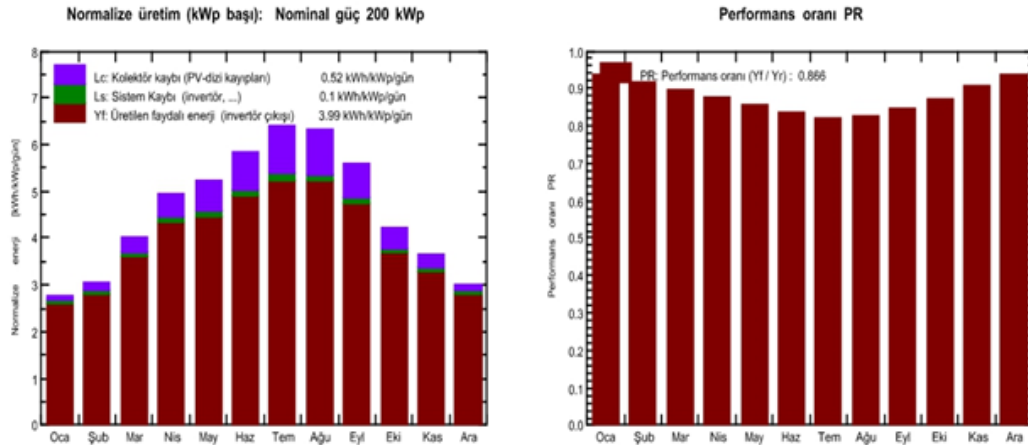
PVsyst simülasyon aracıyla yapılan ekonomik analiz için Çizelge 6'daki kabuller yapılmıştır.

Çizelge 6: Kabuller

Maliyet Kalemleri	Tutar (\$)
YEKDEM'in alım garantili fiyatı (10 yıllık)	0,133 \$/kWh
Garantili alım sonunda satış fiyatı	% 40 düşüş öngörülmekte.
Elektrik satış oranı	% 100
Projenin faydalı ömrü	25 yıl
Yıllık üretimdeki düşüş	% 0,7
KDV	% 0

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yerleşke için tasarımını yaptığımız fotovoltaik santralin, enerji üretim değeri, enerji kayıp miktarı, aylık bazdaki performans oranları ve ekonomik analiz bulguları Pvsyst simülasyon programı ile elde edilmiştir. Şekil 11'de santrale ait üretim ve performans verileri görülmektedir.



Bilanço ve genel sonuçlar

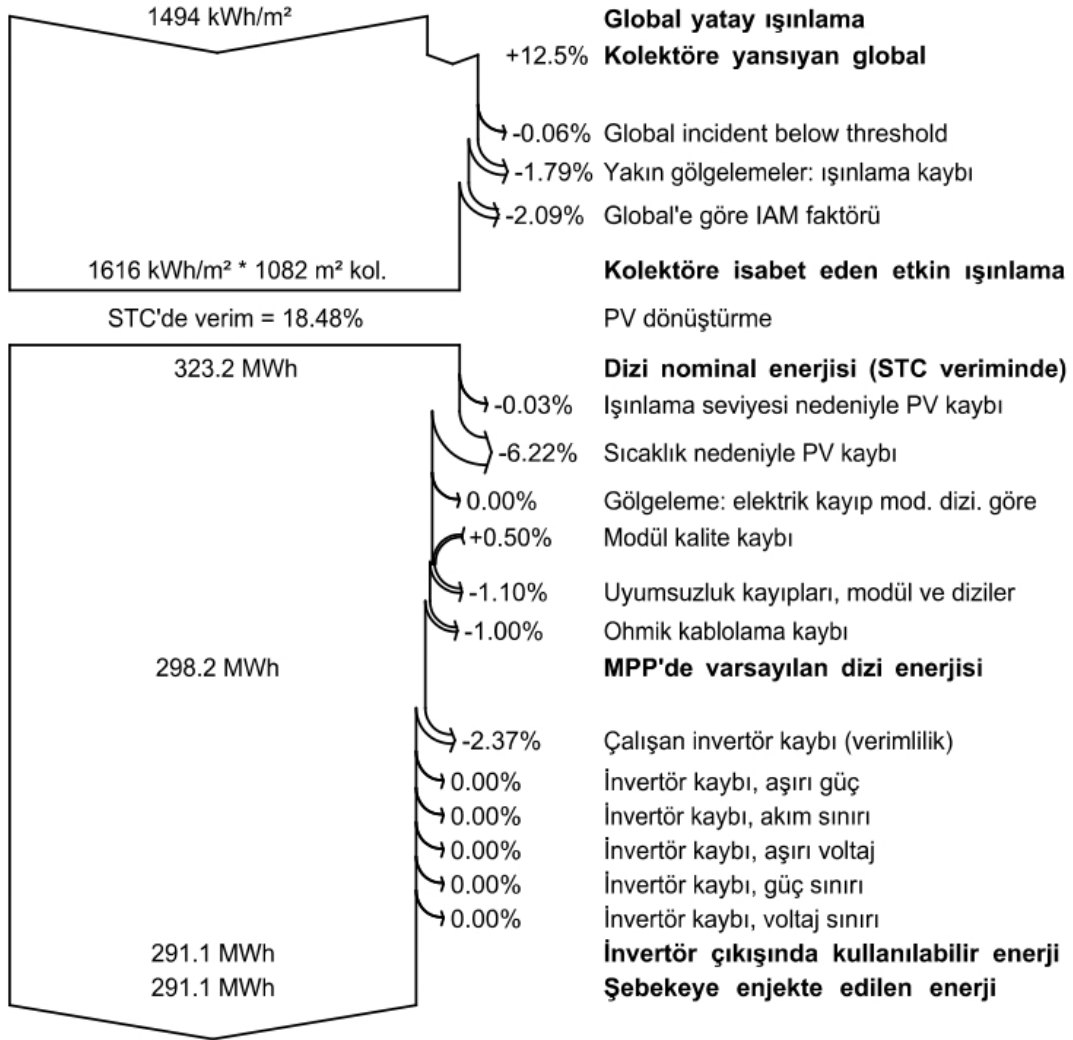
	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	
Ocak	53.3	25.00	0.57	86.4	83.9	16.58	16.16	0.936
Şubat	64.7	34.23	1.73	85.8	82.9	16.13	15.71	0.915
Mart	102.5	51.75	6.44	124.4	119.7	22.91	22.34	0.898
Nisan	140.2	66.20	10.54	148.9	142.7	26.75	26.12	0.877
Mayıs	171.3	81.74	15.86	162.4	154.8	28.47	27.78	0.855
Haziran	194.8	81.38	20.04	175.7	167.4	30.11	29.40	0.837
Temmuz	214.0	68.30	23.38	198.7	190.4	33.33	32.56	0.820
Ağustos	190.0	72.39	23.27	196.1	188.1	33.07	32.33	0.824
Eylül	142.8	52.49	17.79	168.2	162.0	29.10	28.45	0.846
Ekim	97.5	42.62	13.17	131.5	127.3	23.49	22.93	0.872
Kasım	69.1	32.44	6.85	109.5	106.2	20.33	19.85	0.907
Aralık	54.3	25.91	2.22	93.2	90.5	17.91	17.49	0.938
Yıl	1494.4	634.46	11.88	1680.6	1615.9	298.18	291.11	0.866

Açıklama: GlobHor Global yatay ışınlama
 DiffHor Yatay dfüz ışınlama
 T_Amb Ortam sıcak.
 GlobInc Kolektöre yansıyan global
 GlobEff IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global
 EArray Dizin çıkışında etkin enerji
 E_Grid Şebekeye enjekte edilen enerji
 PR Performans oranı

Şekil 11: Santrale ait üretim ve performans verileri.

Şekil 11 incelendiğinde, ortam sıcaklığının artış gösterdiği aylarda enerji üretiminde de artış yaşandığı, yaz aylarında sıcaklık artışı nedeniyle PV hücrelerinin verimindeki azalmadan dolayı sistemin yaz aylarındaki performansının düştüğü, kış aylarında yükseldiği, ortalama performans oranının ise % 86,6 olduğu görülmektedir. Şekil 12’de PVsyst’den elde edilen sisteme ait yıllık kayıp diyagramı görülmektedir.

Yıl boyu kayıplar diyagramı



Şekil 12: Simülasyon aracından alınan sisteme ait yıllık kayıp diyagramı.

Şekil 12’de görüldüğü üzere santralin kurulacağı yerde yatay düzleme gelen küresel ışınım miktarı 1494 kWh/ m²-yıl olarak bulunmuştur. Verim değeri % 18,48 olan fotovoltaik paneller 36°lik eğim açısıyla

güneye bakacak şekilde konumlandırıldıklarından, panel yüzeyine düşen ışım miktarı % 12,5 artmaktadır. Eşik altı küresel kayıplar % 0,06, gölgelenme kayıpları % 1,79, yansıma kayıpları % 2,09 olarak ölçülmüş olup söz konusu kayıplar nedeniyle panele düşen ışım miktarı yıllık 1616 kWh/m² dir. Tasarımı gerçekleştirilen sistemde % 7,85'lik dize kaybı, % 2,37 inverter kaybı bulunmaktadır. Bahsi geçen kayıplar dikkate alındığında santralden yılda 291,1 MWh enerjinin şebekeye verileceği hesaplanmıştır. Şekil 13'te öz sermaye ile kurulumu düşünülen santral için simülasyon yazılımından alınan uzun vadeli maliyet analizi gösterilmiştir.

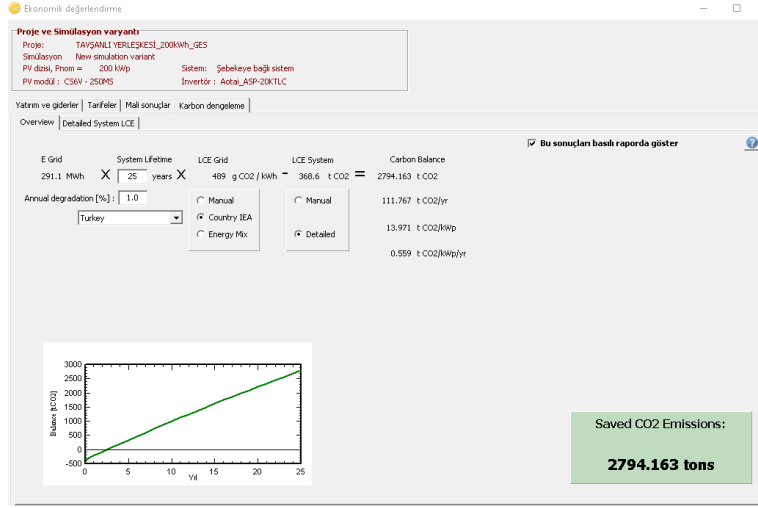
Detaylı ekonomik sonuçlar (USD)

Yıl	Satılan enerji	İşletme gider.	Amortis. payı	Vergi. tabi gelir	Vergi %0.00	Net kâr	Birikmiş kâr	% itfa
2024	38'718	14'474	9'275	14'970	0	24'244	24'244	%10.5
2025	38'447	14'474	9'275	14'699	0	23'973	48'218	%20.8
2026	38'176	14'474	9'275	14'428	0	23'702	71'920	%31.0
2027	37'905	14'474	9'275	14'157	0	23'431	95'351	%41.1
2028	37'634	14'474	9'275	13'886	0	23'160	118'511	%51.1
2029	37'363	14'474	9'275	13'615	0	22'889	141'400	%61.0
2030	37'092	14'474	9'275	13'344	0	22'618	164'019	%70.7
2031	36'821	14'474	9'275	13'073	0	22'347	186'366	%80.4
2032	36'550	14'474	9'275	12'802	0	22'076	208'442	%89.9
2033	36'279	14'474	9'275	12'531	0	21'805	230'247	%99.3
2034	21'605	14'474	9'275	0	0	7'131	237'378	%102.4
2035	21'442	14'474	9'275	0	0	6'968	244'346	%105.4
2036	21'279	14'474	9'275	0	0	6'806	251'152	%108.3
2037	21'117	14'474	9'275	0	0	6'643	257'795	%111.2
2038	20'954	14'474	9'275	0	0	6'481	264'275	%114.0
2039	20'792	14'474	9'275	0	0	6'318	270'593	%116.7
2040	20'629	14'474	9'275	0	0	6'155	276'749	%119.4
2041	20'466	14'474	9'275	0	0	5'993	282'741	%121.9
2042	20'304	14'474	9'275	0	0	5'830	288'571	%124.5
2043	20'141	14'474	9'275	0	0	5'667	294'239	%126.9
2044	19'978	14'474	9'275	0	0	5'505	299'744	%129.3
2045	19'816	14'474	9'275	0	0	5'342	305'086	%131.6
2046	19'653	14'474	9'275	0	0	5'180	310'265	%133.8
2047	19'491	14'474	9'275	0	0	5'017	315'282	%136.0
2048	19'328	14'474	9'275	0	0	4'854	320'137	%138.1
Toplam	681'978	361'841	231'864	137'501	0	320'137	320'137	%138.1

Şekil 13: Simülasyon aracından alınan sisteme ait yıllık kayıp diyagramı.

Şekil 13 incelendiğinde, santralin yatırım maliyeti 231.864 \$, YEKDEM'in 10 yıl süre ile sabit alım garantili fiyatı olan 0,133 \$ /kWh tarifesiinden sonra % 40'lık bir azalma ile şebekeye satılan enerjiden 681.978 \$ gelir elde edileceği hesaplanmıştır. Ekonomik analizin bilanço hesabında, 2034 senesinde 237.378 \$ kazancıyla, 231.864 \$ olan tesisin yatırım maliyeti 10,2 yılda geri ödeme süresine ulaşmıştır. Sistemden üretilen enerji maliyet değeri 0,082 \$/kWh, sistemin kullanım ömrü süresince net kârı 88.272,67 \$, yatırımın

getiri oranı ise % 38,1 olacak şekilde hesaplanmıştır. Önümüzdeki yıllarda fotovoltaik sistem kurulum maliyetlerinin yerli üretim teşvikler ile daha da aşağılara düşeceği öngörüsüyle 10,2 yıl olarak hesaplanan geri ödeme süresinin düşeceği düşünülmektedir. Şekil 14'te Pvsyst simülasyon programından elde edilen CO2 emisyon değeri görülmektedir.



Şekil 14: PVsyst'den elde edilmiş CO2 emisyon değeri.

Şekil 14 incelendiğinde 291,1 MWh elektrik üretiminin gerçekleşmesi durumunda 2794,163 tCO₂ sera gazının atmosfere salınımı azaltılabilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Tavşanlı Yerleşkesinde kurulumu önerilen 200 kWp kurulu güce sahip şebeke bağı güneş santralinin Pvsyst simülasyon yazılımı aracılığıyla tasarımı, performansı ve ekonomik analizleri yapılmıştır.

Tasarımı yapılan sistemden panel verimi, sıcaklık ve inverter kayıpları göz önüne alındığında, yıllık 291,1 MWh elektrik enerjisinin üretilebileceği hesaplanmıştır. Üretim ve performans verileri dikkate alındığında, ortam sıcaklığının artış gösterdiği aylarda enerji üretiminde arttığı gözlemlenmiştir. Şebeke hattına en fazla 32,56 MWh ile Temmuz ayında, en az 15,71 MWh ile Şubat ayında elektrik enerjisi aktarılmıştır. Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında ortam sıcaklığının yükselmesi dolayısıyla, PV hücrelerinin verimlerdeki düşüşe bağı olarak, sistemin yaz aylarındaki performansı azalmakta, kış aylarındaki performansı ise artmaktadır. En düşük performans oranının % 82 ile Temmuz ayında, en yüksek performans oranının ise % 93,8 ile Aralık ayında gerçekleştiği görülmektedir. Sisteme ait ortalama performans oranı % 86,6 tır.

Çalışmanın ekonomik analizinde, santralin kurulum maliyeti 10,2 yılda geri ödeme süresine ulaşmaktadır. Sistemden üretilen enerji maliyeti 0,082 \$/kWh, santralin kullanım ömrü süresince net kârı 88.272,67 \$, yatırımın getiri oranı ise % 38,1 olarak belirlenmiştir. Yıllık 291,1 MW elektrik üretiminin gerçekleşmesi durumunda, 2794,163 tCO₂ sera gazı emisyon miktarı azaltılabilir ve sera gazı azalım geliri elde edilebilir. 5346 sayılı yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretim amaçlı kullanımına ilişkin kanunda, yapılan yatırımın cinsine göre yerli üretim desteği 0,067 \$/kWh, toplam en yüksek değer ise 0,2 \$/kWh olarak görülmektedir. Yukarıda belirtilen 0,133 \$/kWh alım fiyatı, yerli üretim teşviklerinden faydalanılarak kurulan ve şebekeye bağlanan bir fotovoltaik sistem için 0,2 \$/kWh alım fiyatı olarak ortaya çıkmaktadır. Bu durumda sisteme yerli üretim teşvikleri dahil edilerek, kurulumu önerilen santralin öz sermaye ile kurulması halinde geri ödeme süresinin 5,2 yıla düşeceği yapılan hesaplamalar ile saptanmıştır.

GES'ler için ayrılan teşvikler YEKDEM bazında tüm yenilenebilir enerji teknolojilerinin üstünde olsa da diğer ülkeler ile kıyaslandığında ülkemizin teşvik sisteminin birim fiyat değeri olarak daha aşağılarda olması yatırımcıların çekingen davranışlar sergilemesine neden olmaktadır. GES sektöründe öne çıkan bir diğer konu ise kamu alım garantisidir.

Çizelge 1'deki yerleşkeye ait 2022 yılı Ocak-Aralık arasındaki elektrik tüketim değerlerine göre yerleşkede 163.396,66 kWh (163,396 MWh) elektrik enerjisi tüketilmiştir. Kurulumu önerilen sistem ile yerleşkenin elektrik tüketim miktarı üretildikten sonra yaklaşık 127,704 MWh enerji fazlalığı öngörülmektedir. Mahsuplaştırma yöntemiyle elektrik alışverişi kayıt altına alınmak suretiyle, kullanım fazlası elektrik miktarının şebekeye satılarak yerleşkede bulunan okullar için gelir elde edilmesi planlanabilir. Bu bilgiler ışığında PV sistemden elektrik üretimi, yerleşke için iyi bir seçenek olarak ön plana çıktığı görülmektedir. Tavşanlı yerleşkesinde kurulumu önerilen sistem, lisans ve önlisans eğitimi alan öğrenciler için enerji alanında eğitim laboratuvarı özelliğinde olacağından dolayı, bu alanda istihdama da katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Santralin kurulum aşamasında, PV modül ve inverter sayısını belirlemesi için saatlik ortalama yük talebine göre HOMER, HYBRID2, RETScreen gibi yazılımları kullanılarak analizler gerçekleştirilebilir ve karar vericiler için geleneksel güneş enerjisi santrali kurma yöntemlerinin geliştirilmesine fayda sağlayacağı düşünülebilir.

Fotovoltaik sistemlerin tasarım aşamalarının oldukça karmaşık olması, çok sayıda değişken parametre içermesi ve tasarımı gerçekleştirecek kişilerin yeterli bilgi ve tecrübeye sahip olmaması gibi nedenlerden dolayı simülasyon destekli çalışmaların yapılması yüksek kurulum maliyeti gerektiren bu sistemlerin uygulama aşamasında hata oranını azaltacaktır. Doğru şekilde yapılacak tasarımlar ile yatırımcılara üretim, performans ve ekonomik analiz değerleri açısından optimum destek sağlanmış olacaktır.

Çalışmadan elde edilen bulguların, Tavşanlı Yerleşkesine kurulması muhtemel bir fotovoltaik güneş enerjisi santraline referans olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Arslan, O., Ozgur, M. A., Kose, R. and Tugcu, A. (2004). Exergoeconomic evaluation on the optimum heating circuit system of Simav geothermal district heating system, *Energy and Buildings*, 41(12), 1325-1333.
- [2] ETBK, T. C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>. Erişim tarihi: 21.12.2022
- [3] EİGM. Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA), <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator>. Erişim tarihi: 21.12.2022
- [4] TEİAŞ. Türkiye Elektrik İletim A.Ş., Kurulu Güç Raporları (2022 Ekim Basın Bülteni), Erişim Adresi: <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/kurulu-guc-raporlari>. Erişim tarihi: 21.12.2022
- [5] EİGM. Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Kütahya İli Güneş Enerjisi Potansiyeli Haritası, <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/43.aspx>. Erişim tarihi: 21.12.2022
- [6] Haydaroğlu, C. ve Gümüş, B. (2016). Dicle Üniversitesi Güneş Enerjisi Santralının PVsyst ile Simülasyonu ve Performans Parametrelerinin Değerlendirilmesi, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, C 7(3), S 491-500.
- [7] Srivastava, R. and Giri, K.V. (2017). Design of Grid Connected PV System Using Pvsyst, *African Journal of Basic & Applied Sciences*, 9(2), 92-96.
- [8] Kumar, M., N., Kumar, R., M., Rejoice, R., P. and Mathew, M. (2017). Performance analysis of 100 kWp grid connected Si-poly photovoltaic system using PVsyst simulation tool, *Energy Procedia*, 2017, 117, 180-189.
- [9] Özcan, O. ve Ersöz, F. (2019). Project and cost-based evaluation of solar energy performance in three different geographical regions of Turkey: Investment analysis application, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22(4), 1098-1106.
- [10] Rawat, M.,R., Chaudhary, V., Dubey, M.,H. and Pandit, M. (2019). Performance Evaluation of 30.5 kWp On-Grid Solar System Using PVsyst, *International Conference on Sustainable and Innovative Solutions for Current Challenges in Engineering & Technology (ICSISCET 2019)*, 376-378.
- [11] Ramadan, A. and Elistratov, V. (2019). Techno-Economic Evaluation of a Grid-Connected Solar PV Plant in Syria, *Applied Solar Energy*, 55, 174-188.
- [12] Demiryürek, H.K., Arifoğlu U. ve Bolat, M. (2020). Lebit Enerji Güneş Santralinin Pvsyst Programı ile Analizi, *BEU Journal of Science C* 9(3), S 1351-1363.
- [13] Al-Shagea, E., Sezen, S. ve Özdemir, E. (2021). Lisanssız Elektrik Üretiminde Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Sistemlerin Performans Analizi, *International Marmara Sciences Congress (Spring)*, s:209-217.
- [14] Akinsipe, C.O., Moya, D. and Kaparaju, P. (2021). Design and economic analysis of off-grid solar PV system in Jos-Nigeria, *Journal of Cleaner Production*, Volume 287.
- [15] Etcı, A. ve Bilhan, K. A. (2021). PVSyst ile Konya İlinde Sabit ve Çift Eksenli Güneş Takip Sisteminin Modellenmesi, *European Journal of Science and Technology Special Issue C* 32, S 142-147.
- [16] Cura, D., Yılmaz, M., Koten, H., Senthilraja, S. and Awad, M. M. (2022). Evaluation of the technical and economic aspects of solar photovoltaic plants under different climate conditions and feed-in tariff. *Sustainable Cities and Society*, 80, 103804.
- [17] Garip, M., Sulukan, E. and Celiktas, M. S. (2022). Optimization of a grid-connected hybrid energy system: Techno-economic and environmental assessment. *Cleaner Energy Systems*, 3, 100042.

- [18] Ayousha E.F.A. and Abdullah, N.M. (2022). Design and Economic Analysis of a Grid-Connected Photovoltaic System in Saudi Arabia using PVsyst Software, Journal of Electronic Voltage and Application, Volume 3 No: 1, 54-68.
- [19] ZOREN (2022). Zorlu Enerji Elektrik, Osmangazi Elektrik Perakende Satış A.Ş, Tavşanlı Yerleşkesinin 2022 Yılı Elektrik Tüketim Miktarları ve Fatura Tutarları, Eskişehir.
- [20] Erkut, S., Özdemir, E., Koç İ.M., Aktaş, A. ve Erhan K., (2015). Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Elektrik Üretim Sistemlerinin Güç Kalitesine Etkileri ve Performans Analizi. VI. Enerji Verimliliği, Kalitesi Sempozyumu & Sergisi. 4-6 Haziran 2015, Sakarya.
- [21] CSIQ, Canadian Solar, <https://www.csisolar.com/module>. Erişim tarihi: 16.10.2022
- [22] AOTAI, <http://www.aotaiwelding.com/products/inverter>. Erişim tarihi: 16.10.2022
- [23] TCMB, <https://www.tcmb.gov.tr/Istatistikler/Doviz+Kurlari>. Erişim tarihi: 16.11.2022