

# Öğrenci Eğitimi Bağlamında Çatı Üstü PV Sistemlerinin Simülasyon Tabanlı Görselleştirilmesi ve Analizi

Özdemir DENİZ<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, OSB Meslek Yüksekokulu, Makine Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8168-9668), [ozdemirdeniz@isparta.edu.tr](mailto:ozdemirdeniz@isparta.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 31.05.2024 ve Kabul Tarihi 09.08.2024)

(DOI: 10.35354/tbed.1493102)

**ATIF/REFERENCE:** Deniz, Ö. (2024). Öğrenci Eğitimi Bağlamında Çatı Üstü PV Sistemlerinin Simülasyon Tabanlı Görselleştirilmesi ve Analizi. *Teknik Bilimler Dergisi*, 14 (2), 11-18.

## Öz

Bu çalışma, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi'nin Batı Kampüsü'nde bulunan E-12 ve E-14 bloklarının çatılarına kurulabilecek bir güneş panel sisteminin teorik verimliliğini ve üretimini detaylı bir şekilde incelemektedir. Bu analiz, PV\*SOL programı kullanılarak gerçekleştirilmiş olup, simülasyonun doğruluğu ve güvenilirliği sağlanmıştır. Çalışma öğrencilere verilen bir eğitim esnasında ortaya çıkmış olup, öğrencilerin kazanımlarını test etmek için çok uygun bir platformdur. Günümüzde enerji ihtiyacının hızla artmasıyla birlikte, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi ve ihtiyaç her zamankinden daha fazla hissedilmektedir. Fosil yakıtların sınırlı olması ve çevresel etkileri, güneş enerjisi gibi temiz ve sürdürülebilir kaynaklara olan talebi artırmaktadır. Bu bağlamda, güneş enerjisi panellerinin çatılara entegrasyonu, elektrik ihtiyacını karşılamak için çevre dostu bir seçenek olarak dikkat çekmektedir. PV\*SOL programı, güneş enerjisi sistemlerinin tasarımı, simülasyonu ve analizi için önde gelen yazılımlardan biridir. Bu program, güneş panellerinin çatılara entegrasyonu ve sistem performansının teorik olarak modellenmesi için kullanılan kapsamlı bir araçtır. Bu çalışmada, PV\*SOL'un sunduğu analiz ve simülasyon imkanlarından yararlanılarak, Isparta Üniversitesi Teknoloji Fakültesi çatılarına kurulacak güneş panel sisteminin teorik verimliliği ve enerji üretimi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu çalışma aynı zamanda bir eğitimin de parçasıdır. Öğrencilere güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisinin bir binanın harcamasının ne kadarına yeteceği tahmin ettirilmiş ve bulunan hesaplamalar kendileri ile paylaşılıp değerlendirilmiştir. Bu çalışma, güneş enerjisi sistemlerinin çatılara entegrasyonu ile ilgilenen araştırmacılar ve uygulayıcılar için değerli bir kaynak olabilir. Güneşin sonsuz enerji potansiyelinden en iyi şekilde faydalanmak, sürdürülebilir bir gelecek için önemli bir adımdır.

**Anahtar Kelimeler:** Fotovoltaik, Güneş Paneli, Yenilenebilir Enerji

## Simulation-Based Visualization and Analysis of Rooftop PV Systems in the Context of Student Training

### Abstract

This study thoroughly examines the theoretical efficiency and production of a solar panel system that could be installed on the roofs of the E-12 and E-14 blocks located at the Western Campus of the Faculty of Technology, Isparta University of Applied Sciences. The analysis was conducted using the PV\*SOL software, ensuring the accuracy and reliability of the simulation. The study emerged during a training session for students and serves as an excellent platform to test their learning outcomes. Today, with the rapid increase in energy needs, the interest and need for renewable energy sources is felt more than ever. The limited availability of fossil fuels and their environmental impacts increases the demand for clean and sustainable resources such as solar energy. In this context, the integration of solar energy panels on roofs attracts attention as an environmentally friendly option to meet electricity needs. PVSOL software is one of the leading tools for the design, simulation, and analysis of solar energy systems. This program is a comprehensive tool used for the integration of solar panels onto roofs and for theoretically modeling system performance. In this study, the analysis and simulation capabilities provided by PVSOL were utilized to thoroughly examine the theoretical efficiency and energy production of the solar panel system to be installed on the roofs of the Faculty of Technology at Isparta University. This study also forms part of an educational effort. Students were tasked with estimating how much of a building's energy consumption could be met by the electricity generated from solar energy, and the results of their calculations were shared and evaluated with them. This work can serve as a valuable resource for

researchers and practitioners interested in the integration of solar energy systems onto roofs. Making the best use of the infinite energy potential of the sun is a crucial step towards a sustainable future.

**Keywords:** Photovoltaic, Solar Panel, Renewable Energy

## 1. Giriş

Teknolojinin hızlı bir şekilde gelişimi ve dünyada giderek artan nüfus artışı elektrik enerjisi ihtiyacını günden güne arttırmaktadır. Elektrik enerjisi üretiminde gerekli olan doğalgaz, kömür gibi fosil yakıtlar hem giderek azalmakta hem de sera gazı salınımını artırıp çevreyi olumsuz olarak etkilemektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretiminde ilk zamanlar daha çok hidroelektrik santraller kullanılmaktayken teknolojinin gelişmesiyle birlikte günümüzde ise hidroelektrik santrallerin yanı sıra rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisi santralleri de popüleritesi artan elektrik enerjisi üretim kaynakları haline gelmiştir. Günümüzde teşvikler ağırlıklı olarak çatı tipi santral kurulumuna yönelik olmaktadır. Gelişen teknoloji ve malzeme teknolojisi yardımıyla yarı iletken olarak adlandırılan malzemelerin kullanılması sayesinde güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürerek alternatif enerji kaynağı üretimi yapılabilmektedir [1]. Yaygın olarak kullanılan PV hücre teknolojisi ile Fotovoltaik hücre, güneş ışığının taşıdığı enerjiyi iç fotoelektrik reaksiyondan faydalanarak doğrudan elektrik enerjisine dönüştürür. Bir proje kapsamında tasarlanacak güneş enerji santralinde yer ve donanım seçiminin önemli olması kadar, PV sistem kurulmadan önce, modelleme yoluyla bir ön çalışma yapılması, sistemin kurulacağı ortam şartlarında maksimum enerji üretiminin hangi koşullarda gerçekleşeceğini belirlenmesi de son derece önemlidir [2].

Solar enerji direkt olarak güneş ışınımı ile ilgilidir ve doğrudan güneş ışığından elde edilebildiğinden ulaşılması kolay, temiz, güvenilir bir enerji kaynağıdır. Fotovoltaik enerji üretim sistemlerinin şebekeyi güçlendirmek için artan kullanımı, dinamik analiz ve elektrik şebekesi çalışmaları için uygun ve etkili bir matematiksel model ile birlikte doğru simülasyon çalışması ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır [3]. Fotovoltaik sistemlerin binalara entegrasyonu sırasında modüllerin optimal olmayan yönelimleri ve gölgelenme sorunları gibi bazı faktörler elektrik enerjisi üretiminde kayıplara neden olabilir [4]. Güneş panellerinin çevresel faydalarının yanı sıra, sağlık açısından da yararlı olduğu düşünülmektedir. Kötü kalitede hava solmasının insan sağlığını etkilediği ve çeşitli hastalıklara yol açtığı bilinen bir gerçektir[5]. En yaygın hastalıklardan bazıları astım ve alerjiler, bronşit, zatürre, baş ağrısı, kalp krizi ve kanserdir. Fosil yakıtların kullanımıyla çevreye yayılan zararlı gazları engellemek için, alternatif olarak panel kullanılması ciddi sağlık sorunlarının birçoğunu önleyebilir. Örneğin, bir bölgedeki evlere 100 GW güneş enerjisi eklenmesi, her yıl ortalama 437 ölüm vakası, 717 kalp krizi vakası ve 300 solunum yolu hastalığı azaltma potansiyeline sahiptir [6][7].

Yanardağ, H.M. 2015 yılında yaptığı çalışmada farklı bina formlarında güneş pili uygulamalarının enerji ve maliyet etkinliği değerlendirilerek, güneş pili uygulamalarındaki en etkin bina formunun ve güneş pil uygulama seçeneğinin tanımlanmasına yönelik bir yaklaşım geliştirilmiştir. Çalışma beş bölüme ayrılmıştır. Analiz için PV\*Sol Yazılımından yararlanılmıştır [8]. Çalışmada, alternatif enerji kaynaklarından güneş enerjisinin önemi ve güneş enerjisi sisteminin aktif ve pasif sistemler olarak binalarda kullanılması açıklanmıştır. Ayrıca, aktif güneş enerjisi sistemlerinden binalarda kullanılabilen bir sistem olan

güneş pilleri tanımlanarak, güneş pili bileşenleri açıklanmıştır. Güneş pili sistemleri farklı özelliklerine göre sınıflandırılmıştır [9].

Orhan N. vd. 2022 yılında yayınladıkları çalışmada, artan elektrik ihtiyacını karşılamak için Konya’da, bir büyük baş hayvan çiftliğinde güneş enerjisinin uygulanabilirliği ve işletmeye ekonomik getirisinin hesaplanması amaçlanmıştır. İşletmenin çatısına kurulan ve Fotovoltaik panellerden oluşan güneş enerjisi sisteminin üreteceği elektrik hesaplamaları iki farklı yöntemle göre yapılmıştır [10].

Singh R. vd. 2015 yılında yaptıkları çalışmada Hint Solar Kaynak Haritaları, Yenilenebilir Enerji Bakanlığı Güneş Enerjisi Merkezi, Hindistan Hükümeti, 2013) verilerine göre, Hindistan'ın toplam alanının yaklaşık %62.5'i, yani yaklaşık 2.0 milyon kilometrekarelik bir alan, yıllık ortalama 5.0 kW h/m2/gün üzerinde doğrudan normal ışınım seviyesine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ülkenin büyük bir kısmı, düşük yükseklikte inşa edilen yapılarla kaplı olması ve daha fazla yatay yayılmaya yönlendirilmesi nedeniyle Hindistan'da çatı üstü güneş Fotovoltaik elektrik üretimi için önemli bir potansiyel olabileceğini savunmuşlardır [11].

Yadav vd. 2018 yılında yaptıkları çalışma ile 5 kWp çatı üstü Fotovoltaik (PV) santralinin performans analizi yapmış ve sıcaklığın etkisini incelemiştir. Yıllık ortalama günlük referans verimi, dizi verimi ve nihai verim sırasıyla 5.23 kWh/kWp/gün, 4.51 kWh/kWp/gün ve 3.99 kWh/kWp/gün olarak bulunmuştur. Yıllık ortalama günlük dizi verimliliği, invertör verimliliği ve sistem verimliliği sırasıyla %11.34, %88.38 ve %10.02 olarak belirlenmiştir. Yıllık ortalama günlük performans oranı ve kapasite kullanım faktörü ise %76.97 ve %16.39 olarak ölçülmüştür [12].

Anang N. vd. 2021 yılında bir çalışma yayınlamışlardır. Bu çalışma, bir konut evindeki besleme tarifesi programı kapsamında gerçekleştirilen bir 7.8 kWp şebeke bağlantılı çatı üstü Fotovoltaik (PV) sistemin gerçek performansını sunmaktadır. PV sisteminin performans parametreleri, 2018-2019'da iki yıllık enerji üretimine dayalı olarak değerlendirilmiştir. PVsyst yazılımı, sistem performansını artırmak için seçilen alan için en iyi yönelim ve eğim açısını bulmak için kullanılmıştır. Daha sonra, Derating faktörü iki günlük veri toplama temelinde hesaplanmıştır. Bir güneş panelinin veya bir Fotovoltaik sistemin nominal gücünden (maksimum güç) daha az güç üretmesine neden olan çeşitli faktörlerin etkisini göz önünde bulunduran bir katsayı olan Derating faktörü, HOMER Pro kullanılarak sistem simülasyonunda kullanılmış ve 21 yıllık proje ömrü için ekonomik parametreler tahmin edilmiştir [13].

Belkhole P. vd. 2021 yılında yaptıkları çalışmada, güneş yükseltme kulesinde kullanılan çeşitli çatı toplayıcı malzemelerin performansını analiz etmişlerdir. Hindistan'ın Nagpur şehrinde 2018 yılında güneş yükseltme kulesi için bir deneysel kurulum geliştirilmiş ve kurulmuştur. Deneyler, cam, akrilik levha, polikarbonat levha ve kristalin levha gibi farklı çatı toplayıcı malzemeler kullanılarak 4.8 m ve 3.6 m yükseklikte bir baca üzerinde gerçekleştirilmiştir [14].

Milosavljević, D. vd. 2015 yılında yaptıkları çalışmada, Niş'teki Fen Bilimleri ve Matematik Fakültesi (FSM binası) üzerine kurulu 2 kW'lık (çatı üstü) bir güneş Fotovoltaik (PV) santralının temel verilerini ve gerçek iklim koşullarına bağlı olarak performansını ve enerji verimliliğini değerlendirmek için kullanılan ekipmanı (inverter, iletişim sistemi, otomatik meteoroloji istasyonu vb.) sunmaktadır. Makalenin amacı, elde edilen sonuçları Sırbistan'da ticari amaçlar için güneş PV santrallerinin iletim ağına entegrasyonunda uygulamaktır. Niş'teki FSM binasına kurulu güneş PV santralının enerji verimliliği ve diğer karakteristik parametrelerinin deneysel belirlenmesinden elde edilen sonuçlar, 1 Ocak 2013 ile 1 Ocak 2014 tarihleri arasındaki dönem için sunulmaktadır (global güneş enerjisi, ortam sıcaklığı, rüzgâr hızı, üretilen elektrik enerjisi vb.). 2013 yılında Niş'teki FSM binasındaki güneş PV santralının yıllık enerji verimliliğinin %10.07 olduğu ve ortam sıcaklığının artmasıyla azaldığı bulunmuştur. Güneş PV santralının yıllık performans oranı ortalaması %93.6, yıllık kapasite faktörü ise %12.88'dir ve bu yenilenebilir enerji üretiminin Niş'teki iletim ağına entegrasyonu 2013 yılında tatmin edici olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler, benzer iklimlere sahip diğer ülkelerde güneş PV santrallerinin uygulanmasına rehberlik etmek için kullanılabilir olduğunu göstermiştir [15].

Bu çalışmada ise Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesinin Batı Kampüsünde bulunan Teknoloji Fakültesi E-12 ve E-14 bloklarının çatılarına kurulabilecek bir güneş panel sisteminin verimliliği ve üretimi teorik olarak incelenmiş ve faydalılık analizleri yapılmıştır.

Bu çalışmada, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Batı Kampüsündeki Teknoloji Fakültesi E-12 ve E-14 bloklarının çatılarına kurulabilecek bir güneş panel sisteminin verimliliği ve üretimi PV\*SOL yazılımı kullanılarak teorik olarak incelenmiş ve maliyet analizi yapılmıştır. Önceki araştırmalar, farklı bina formlarında güneş pili uygulamalarının enerji ve maliyet etkinliğini, hayvan çiftliklerinde güneş enerjisinin ekonomik getirilerini, Hindistan gibi geniş coğrafi alanların güneş enerjisi potansiyelini ve çatı üstü PV sistemlerinin performans analizlerini ele almıştır. Ayrıca, konutlardaki çatı üstü PV sistemlerinin gerçek performansı, farklı çatı toplayıcı malzemelerin performansı ve çeşitli binalardaki PV santrallerinin enerji verimliliği üzerine de çalışmalar yapılmıştır. Bu araştırma, PV\*SOL yazılımıyla gerçekleştirilen detaylı simülasyonlar ve maliyet analizleri ile benzer çalışmalardan ayrılmaktadır. Özellikle, Isparta bölgesinin spesifik iklim koşullarında güneş panel sisteminin verimliliğinin belirlenmesi ve bu verimliliğin ekonomik analizlerle desteklenmesi, çalışmanın özgünlüğünü ve katkısını ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, bu çalışma bölgesel ölçekli güneş enerjisi projelerinin planlanması ve uygulanması için önemli bir referans niteliği taşımaktadır.

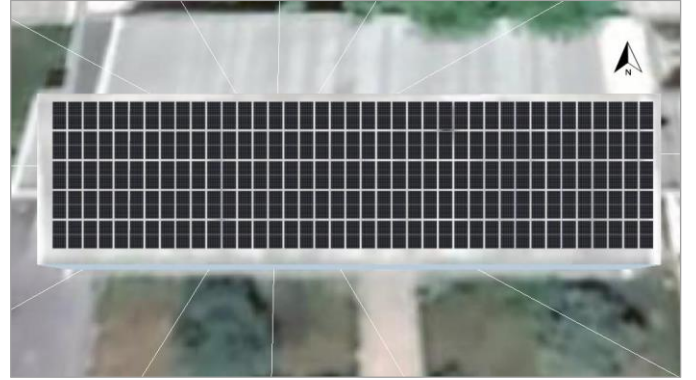
Ayrıca taranan literatüre göre bu çalışmanın özgün tarafı öğrencilere verilen bir eğitim esnasında yapılmış olması, öğrencilerin bu binaya yapılacak güneş panelleri ile ne kadarlık bir kazanç sağlayacaklarını tahmin etmesi ve sonuçlarla bu durumun karşılaştırılmasıdır. Karşılaştırma sonuçları tamamlandıktan sonra verilen eğitimle ilgili düzenleme ve yenileştirme süreçleri de yapılmıştır. Bu durum eğitimdeki eksik kısımları ortaya çıkarmada, daha fazla detaylandırılması gereken kısımların belirlenmesinde de eğitime faydalı olacaktır.

## 2. Materyal ve Metot

Teorik hesaplama yapılacak olan bina Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi E-14 bloğu çatısıdır. Bu çatının toplam alanı 503.7 m<sup>2</sup>'dir. PV\*SOL yazılımı ile oluşturulan bu bilgiler Tablo 1'de, bina çatısına yapılan simülasyon çizimi Şekil 1'de görülebilmektedir [8].

Tablo 1. Panel Genel Bilgileri

Isim	Building 01-Roof Area South
PV modülleri	195 x PS540M6- 24/TH (v2)
Üretici	
Eğim	15 °
Yerleşim Yönü	Güney 181 °
Montaj Türü	Çatı paraleli - iyi hava aldırır
PV jeneratör yüzeyi	503.7 m <sup>2</sup>

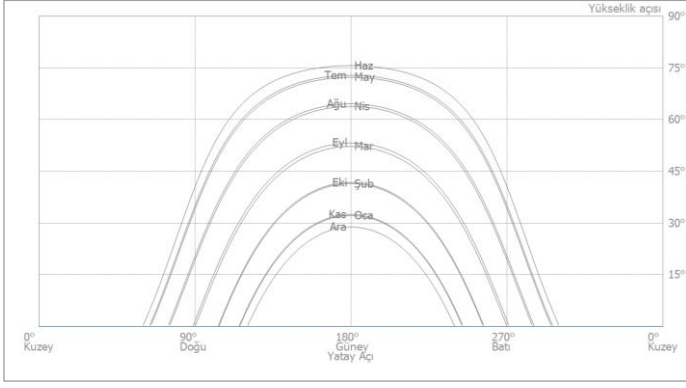


Şekil 1. Panellerin Bina Çatısına Temsili Olarak Yerleşimi

Simülasyonun yapıldığı yerleşke Isparta ili sınırları içerisinde bulunmaktadır. Bölgeye ait iklim verileri ve kullanılan simülasyon modelleri Tablo 2'de, güneş durumunu gösteren şehre ait ufuk çizgisi grafiği ise Şekil 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Isparta İli İklim Verileri ve Simülasyon Modelleri

Konum	Isparta, TUR (1991 - 2010)
Verilerin çözünürlüğü	1 h
Kullanılan simülasyon modelleri:	
- Yatayda difüz radyasyon	Hofmann
- Eğimli yüzeye düşen ışınım	Hay & Davies



Şekil 2. Isparta İline Ait Ufuk Çizgisi Grafiği

Sistemin PV\*SOL ile simülasyonu yapıldığı zaman 195 adet panel kullanma gereği ortaya çıkmıştır. Çatı bu 195 panel ile tamamen kapatılmıştır. Yazılımın bu paneller ile ilgili verdiği çıktı Tablo 3'te görülebilmektedir.

Tablo 3. PV Sistemi Panel ve Çıkış Verileri

İklim verileri	Isparta, TUR (1991 - 2010)
PV jeneratör çıkışı	105.3 kWp
PV jeneratör yüzeyi	503.7 m <sup>2</sup>
Sayı PV modülleri	195
Evirici Sayısı	2

Bu tabloda kullanılan Watt Peak veya kısaca Wp, Fotovoltaik sistemlerde enerji dönüşüm oranını değerlendirmek için kullanılan bir güç birimidir. Bu birim, güneş panellerinin standart sıcaklık ve gün ışığı koşullarında üretebileceği maksimum gücü ifade eder.

Watt peak değeri, solar panelin bulunduğu konumdan bağımsız olarak belirlenir. Bu değer, ölçüm yapılan yerin öğle vaktinde olduğu ve gölgesiz olduğu varsayılan optimum koşullarda elde edilebilecek maksimum gücü yansıtır. Ayrıca, güneş ışınlarının doğru açı ve yoğunlukta panele ulaştığı kabul edilir. Ölçüm, 25°C derece sıcaklık ve 1 kW/m<sup>2</sup> solar ışınımı şartlarında gerçekleştirilir [15].

Güneş paneli inverterlerinde boyutlandırma faktörü, sistemin güneş panellerinin maksimum güçlerinin toplamını, inverterin maksimum gücüne bölünerek hesaplanan bir yüzde değeridir. Bu faktör, güneş panellerinin nominal güçlerinin (Watt peak) toplamını inverterin maksimum gücünden daha düşük olması gerektiği durumları dikkate alarak belirlenir. Genellikle %80 ila %120 arasında değişen bir değer alır. Bu, sistemin verimliliğini artırmak ve güvenilirliğini sağlamak için tasarım aşamasında dikkate alınır. Örneğin, bir sistemde güneş panellerinin toplam gücü, inverterin maksimum gücünün %80'inden fazla olmamalıdır. Bu sayede inverter aşırı yüklenmeden korunur ve sistemin performansı optimize edilir. Bu faktörü de içeren yazılımda kullanılan inverter değerleri Tablo 4'de görülebilmektedir.

Tablo 4. İnverter Parametreleri

Modül Alanı	Building 01-Roof Area South
İnvertörler 1	
Model	SUN2000-50KTL-M3-380V (v2)
Üretici	
Sayı	1
Boyutlandırma faktörü	105.8 %
Konfigürasyon	MPP 1: 2 x 15 MPP 2: 2 x 15 MPP 3: 2 x 12 MPP 4: 1 x 14
İnvertörler 2	
Model	SUN2000-50KTL-M3-380V (v2)
Üretici	
Sayı	1
Boyutlandırma faktörü	104.8 %
Konfigürasyon	MPP 1: 2 x 15 MPP 2: 2 x 14 MPP 3: 2 x 12 MPP 4: 1 x 15

Bu tabloda karşımıza çıkan MPP (Maximum Power Point) konfigürasyonu, güneş paneli sistemlerinde kullanılan bir terimdir. Bu konfigürasyon, güneş panellerinin maksimum güç noktasına (MPP) en iyi şekilde uyum sağlayacak şekilde tasarlanmış bir inverter ve/veya kontrol cihazı tarafından sağlanır.

MPP konfigürasyonu, güneş panellerinin çıkış gerilimi ve akımını sürekli olarak izleyen ve panellerin MPP'sini belirleyen bir kontrol algoritması kullanır. Bu sayede güneş paneli sistemi, herhangi bir koşul altında en yüksek güç çıkışını elde edebilir. MPP konfigürasyonu genellikle PV (Fotovoltaik) sistemlerinde, özellikle de değişken güneş ışığı koşullarında maksimum verimlilik sağlamak için kullanılır.

MPP konfigürasyonu, sistem tasarımı sırasında dikkatlice seçilir ve uygulanır. İyi bir MPP konfigürasyonu, güneş paneli sisteminin performansını optimize eder, enerji üretimini artırır ve sistem verimliliğini en üst düzeye çıkarır. Bu da daha yüksek enerji verimliliği ve daha düşük maliyetler anlamına gelir.

Güneş enerjisinden elektrik üreten sistemin kullanım oranı (PR, Performance Ratio) PR oranı, gerçekleşen üretimin hesaplanan (beklenen) üretime oranıdır ve (1) numaralı denklemle tanımlanır. Bu çalışmada PR oranı 0.91 olarak alınmıştır.

$$PR = \frac{\text{Gerçekleşen Üretim}}{\text{Beklenen Üretim}} \quad (1)$$

Burada önemli olan panel seçimine göre beklenen üretimin nasıl hesaplandığıdır. PV\*SOL programı, Fotovoltaik (PV) sistemlerin beklenen üretimini hesaplamak için çeşitli faktörleri dikkate alır ve bir simülasyon yapar. Bu faktörler arasında güneş ışığı verileri, panel eğimi ve yönelimi, hava koşulları, bulut örtüsü, sıcaklık etkisi, gölgeleme etkisi ve sistem bileşenlerinin performansı bulunur. kurulmasıyla önlenilecek karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonlarını hesaplamak için genellikle bir standart emisyon faktörü kullanılır. Bu emisyon faktörü, bir birim elektrik enerjisi üretmek için geleneksel enerji kaynaklarına bağlı olarak atmosfere salınan ortalama CO<sub>2</sub> miktarını ifade eder.

Program aynı zamanda önlenen emisyonu da hesaplar. PV\*SOL programı, Fotovoltaik (PV) sistemlerin kurulmasıyla önlenebilecek karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonlarını hesaplamak için genellikle bir standart emisyon faktörü kullanır. Bu emisyon faktörü, bir birim elektrik enerjisi üretmek için geleneksel enerji kaynaklarına bağlı olarak atmosfere salınan ortalama CO<sub>2</sub> miktarını ifade eder.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Yazılım simülasyonu sonucunda elde edilen üretim ve emisyon tasarruf değerleri başta olmak üzere Tablo 5'teki verilere ulaşılmıştır.

Tablo 5. Sistem Simülasyonu Sonuçları

PV jeneratör çıkışı	105.3 kWp
Yıllık Özgül Kazanç	1,614.65 kWh/kWp
Sistem kullanım oranı (PR)	91.0 %
Gölgelemeden dolayı oluşan kazanç kaybı	0.0 %/Yıl
Şebeke beslemesi	170,071 kWh/Yıl
İlk yıl içindeki şebeke beslemesi (Modülün performans düşüşü dahil)	170,071 kWh/Yıl
Bekleme Konumundaki Tüketim (İnvertörler)	48 kWh/Yıl
Önlenen CO <sub>2</sub> emisyonu	79,911 kg/yıl

PV\*SOL yazılımının bize gerek panel maliyeti gerekse kullanılan malzemelerle beraber üretilen enerji üzerinden bir finansal analiz çıkarma özelliği bulunmaktadır. Kullanılan malzeme birim fiyatları üzerinden tasarlanan güneş paneli elektrik üretim sisteminin toplam maliyetinin hesaplanabilir ve elektrik

puant değeri üzerinden de üretilen enerjinin değerini bize iletebilir. Yazılımın bize verdiği finansal analiz Tablo 6'da görülebilmektedir.

Tablo 6. Finansal Analiz Çıktısı

<b>Sistem Bilgileri</b>	İlk yıl içindeki şebeke beslemesi (Modülün performans düşüşü dahil)	170,071 kWh/Yıl
	PV jeneratör çıkışı	105.3 kWp
	Sistemin devreye alınması	10.12.2022
	Değerlendirme Dönemi	20 Yıllar
	Anaparaya uygulanan faiz	1 %
<b>Ekonomik Parametreler</b>		
	Varlıkların Getirisi	10.61 %
	Biriktirilmiş nakit akışı (nakit dengesi)	204,667.99 ₺
	Amortisman süresi	8.6 Yıllar
	Elektrik üretim maliyeti	0.05 ₺/kWh
<b>Ödemelere Genel Bakış</b>		
	Belirli yatırım giderleri	1,500.00 ₺/kWp
	Yatırım Maliyetleri	157,950.00 ₺
	Tek Seferlik Ödemeler	0.00 ₺
	Gelen Sübvansiyonlar	0.00 ₺
	Yıllık giderler	0.00 ₺/Yıl
	Diğer Gelirler veya Tasarruflar	0.00 ₺/Yıl
<b>Ödemeler ve Tasarruflar</b>		
	Şebeke İşletmecisi tarafından ilk yılda yapılan toplam ödeme	18,379.52 ₺/Yıl
	EEG 2015 (Mai) - Gebäudeanlage	
	Geçerlilik	7.01.2023 - 31.12.2043
	Özel Besleme Ücreti	0.1133 ₺/kWh
	şebekeye beslemeden gelir	19,277.03 ₺/Yıl

Yazılım bize nakit akış tablosunu da simüle edebilmektedir. Bu tablo genellikle bir Fotovoltaik projenin ekonomik analizine ilişkin sonuçları içeren bir raporu ifade eder. Bu rapor, sistem kurulumu için gereken maliyetleri, projenin ömrü boyunca

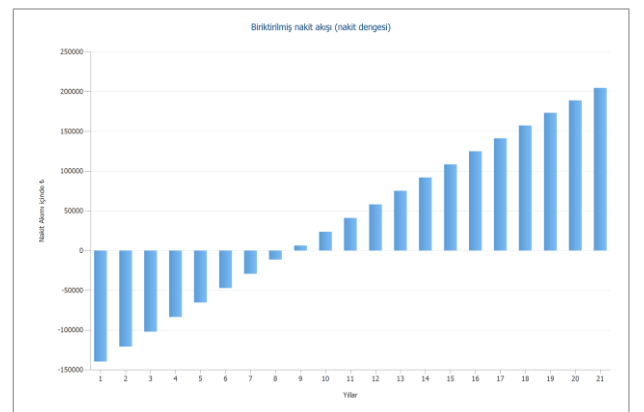
beklenen gelirleri ve geri ödeme süresi gibi önemli finansal göstergeleri içerir. PV\*SOL yazılımı nakit akışı çıktıları Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Nakit Akış Tablosu

	Yıl 1	Yıl 2	Yıl 3	Yıl 4	Yıl 5
Yatırımlar	-₺157.950,00	₺0,00	₺0,00	₺0,00	₺0,00
şebekeye beslemeden gelir	₺18.197,55	₺18.897,20	₺18.710,09	₺18.524,85	₺18.341,43
<b>Yıllık nakit akışı</b>	<b>-₺139.752,45</b>	<b>₺18.897,20</b>	<b>₺18.710,09</b>	<b>₺18.524,85</b>	<b>₺18.341,43</b>
Biriktirilmiş nakit akışı (nakit dengesi)	-₺139.752,45	-₺120.855,26	-₺102.145,16	-₺83.620,32	-₺65.278,88
	Yıl 6	Yıl 7	Yıl 8	Yıl 9	Yıl 10
Yatırımlar	₺0,00	₺0,00	₺0,00	₺0,00	₺0,00
şebekeye beslemeden gelir	₺18.159,83	₺17.980,03	₺17.802,01	₺17.625,76	₺17.451,24
<b>Yıllık nakit akışı</b>	<b>₺18.159,83</b>	<b>₺17.980,03</b>	<b>₺17.802,01</b>	<b>₺17.625,76</b>	<b>₺17.451,24</b>
Biriktirilmiş nakit akışı (nakit dengesi)	-₺47.119,05	-₺29.139,02	-₺11.337,01	₺6.288,75	₺23.739,99
	Yıl 11	Yıl 12	Yıl 13	Yıl 14	Yıl 15
Yatırımlar	₺0,00	₺0,00	₺0,00	₺0,00	₺0,00
şebekeye beslemeden gelir	₺17.278,46	₺17.107,38	₺16.938,00	₺16.770,30	₺16.604,26
<b>Yıllık nakit akışı</b>	<b>₺17.278,46</b>	<b>₺17.107,38</b>	<b>₺16.938,00</b>	<b>₺16.770,30</b>	<b>₺16.604,26</b>
Biriktirilmiş nakit akışı (nakit dengesi)	₺41.018,45	₺58.125,83	₺75.063,84	₺91.834,14	₺108.438,40
	Yıl 16	Yıl 17	Yıl 18	Yıl 19	Yıl 20
Yatırımlar	₺0,00	₺0,00	₺0,00	₺0,00	₺0,00
şebekeye beslemeden gelir	₺16.439,86	₺16.277,09	₺16.115,93	₺15.956,37	₺15.798,38
<b>Yıllık nakit akışı</b>	<b>₺16.439,86</b>	<b>₺16.277,09</b>	<b>₺16.115,93</b>	<b>₺15.956,37</b>	<b>₺15.798,38</b>
Biriktirilmiş nakit akışı (nakit dengesi)	₺124.878,26	₺141.155,35	₺157.271,28	₺173.227,64	₺189.026,03
	Yıl 21				
Yatırımlar	₺0,00				
şebekeye beslemeden gelir	₺15.641,96				
<b>Yıllık nakit akışı</b>	<b>₺15.641,96</b>				
Biriktirilmiş nakit akışı (nakit dengesi)	₺204.667,99				

Güneş enerji üretim analizlerinde önemli parametrelerden biri de biriktirilmiş nakit akışı yani nakit dengesi grafikleridir. Biriktirilmiş nakit akış grafiği (Cumulative Cash Flow Graph), belirli bir süre boyunca bir projenin veya yatırımın toplam nakit akışını görsel olarak gösteren bir grafikdir. Bu grafik, zaman içindeki net nakit akışlarının birikmiş toplamını gösterir ve genellikle projenin veya yatırımın finansal performansını değerlendirmek için kullanılır.

Biriktirilmiş nakit akış grafiği, projenin veya yatırımın geri ödeme süresini, nakit akışlarının zamanlamasını ve yatırımın toplam getirisini analiz etmek için kullanılır. Bu grafik, finansal performansı daha iyi anlamak ve karar vermek için önemli bir araçtır. Tasarlanan sistemin nakit akış grafiği Şekil 3'te görülebilmektedir.



Şekil 3. Biriktirilmiş nakit akışı (nakit dengesi)

Biriktirilmiş nakit akış grafiği, zamanın dikey eksenine ve toplam nakit akışının yatay eksenine yerleştirilmiştir. Grafik, proje veya yatırımın başlangıç noktasından itibaren zamanla nasıl birikim sağladığını gösterir. Eğer biriktirilmiş nakit akış grafiği yukarı doğru bir eğri gösteriyorsa, bu, projenin veya yatırımın

zamanla pozitif bir nakit akışı yarattığını gösterir. Yani, toplam nakit akışı artarak biriktirilir. Eğer grafiğin eğrisi aşağı doğru bir yönde ilerliyorsa, bu, projenin veya yatırımın zamanla negatif bir nakit akışı yarattığını gösterir. Bu durumda, toplam nakit akışı azalarak biriktirilir.

Bu tür bir durum, bir projenin veya yatırımın başlangıçta maliyetli olabileceğini, ancak zamanla karlı hale gelebileceğini gösterebilir. İlk yıllarda yapılan yatırımların, ilerleyen yıllarda artan gelirler veya getirilerle telafi edildiğini gösterir. Bu durum, uzun vadeli bir yatırım stratejisinin bir parçası olabilir ve projenin veya yatırımın uzun vadede karlı olabileceğini gösterir.

## 4. Sonuç

Bu çalışmada bir Fakülte binasının çatı alanının bir kısmının güneş enerjisi panelleri ile kaplanması durumunun enerji, çevre ve ekonomik analizi sunulmuştur. 2023 yılının başından itibaren faaliyete geçebileceği dikkate alınarak, sistemin geri ödeme süresi ve emisyon tasarrufu belirlenmiştir. Yıllık 170 MWh gibi enerji üretiminin, 503 m2 genişliğindeki çatı alanından sağlanabileceği gösterilmiştir. Dünya genelinde yaşanan büyük küresel krizler (sağlık, bölgesel çatışmalar vb.) sebebiyle enerji fiyatlarında hızlı yükselişler görülebilmektedir. Bu durumda yapılan mali analizlerin çok daha hızlı geri ödeme sürelerine yol açabildiği, geçtiğimiz yıllarda gözlenen bir olgudur. Ayrıca kamu binalarındaki uygun çatılarda, ülkemizin yeşil kalkınma ve sürdürülebilir enerji arzı hedeflerine katkı sağlayabilecek önemli enerji arz rakamlarının elde edilebileceği görülmüştür. Güncel şartlarda azalan panel ilk yatırım bedelleri dikkate alındığında, geri ödeme sürelerinde azalma elde edilebilecek fırsatların değerlendirilebileceği ifade edilebilir. Ayrıca bu çalışmanın devamı şeklinde olabilecek başka bir çalışmada, binanın karbon ayak izi hakkında detaylı bilgilendirme ve fosil yakıt tüketimi ile karşılaştırma yapılması gerektiği anlaşılmıştır. Bu doğrultuda, öncelikle binanın yıllık enerji tüketim verileri toplanacaktır. Elektrik ve doğalgaz tüketimi gibi veriler detaylandırılacak ve bunlara ek olarak inşaat sürecinde kullanılan malzemelerin karbon emisyon verileri belirlenecektir. Bu veriler kullanılarak, ilgili emisyon faktörleri ile toplam karbon ayak izi hesaplanacaktır. Ayrıca, benzer özelliklere sahip fosil yakıt kullanan bir bina için de enerji tüketim ve emisyon verileri toplanacak ve karşılaştırma yapılacaktır. Yapılacak bu çalışma, projenin sürdürülebilirlik hedeflerine olan katkısını somut verilerle ortaya koyacak ve binanın fosil yakıt kullanımına kıyasla daha çevreci bir alternatif olduğunu kanıtlayacaktır. Bu analiz ve karşılaştırmalar, projenin çevresel etkilerini daha kapsamlı bir şekilde değerlendirmemize olanak tanıyacaktır.

Ayrıca çalışmanın yapıldığı bölge olan Isparta, Türkiye'nin Akdeniz iklimine sahip bir bölgesi olarak, güneş enerjisi potansiyeli yüksek bir alanda bulunmaktadır. Bu durum, PV sistemlerinin enerji üretiminde yüksek verimlilik sağlamasını mümkün kılmaktadır. Isparta'nın bol güneş alan gün sayısı, PV sistemlerinin üstünlüklerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Ancak, bölgenin iklim koşulları göz önünde bulundurulduğunda, kış aylarında yaşanan yoğun yağışlar ve nadiren de olsa görülen dolu yağışları PV panelleri için risk oluşturabilmektedir. Bu nedenle, PV sistemlerinin kurulumu sırasında, panellerin zarar görmesini önlemek amacıyla uygun koruyucu önlemler alınmalıdır. Aynı zamanda, PV sistemlerinin verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için düzenli bakım ve temizlik faaliyetleri de büyük önem taşımaktadır. Isparta'nın iklim ve hava koşulları dikkate alınarak yapılacak bu değerlendirmeler, PV sistemlerinin avantajlarını ve potansiyel risklerini daha iyi anlamamıza

yardımcı olacak ve projenin sürdürülebilir enerji hedeflerine katkısını artıracaktır.

## Kaynakça

- [1] DOĞANAY, M. M. (2021). Mardin bölgesi güneş (fotovoltaik) enerjisi potansiyel analizi. Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 3(1), 86-117.
- [2] Özcan, Ö., & İzgi, E. (2020). ŞEBEKEYE BAĞLI FOTOVOLTAİK ÇATI SİSTEMİNİN KARŞILAŞTIRMALI PERFORMANS ANALİZİ. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(3), 127-140.
- [3] TURAN, O. (1). 1 MWp Kapasiteli Çatı Tipi Dağıtık Güneş Enerji Santralinin Tasarımı ve Simülasyon Uygulaması. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 34(2), 609-626.
- [4] ŞAHİN, Z. R., DİNÇER, F., & YILMAZ, A. S. (2022). 4 KİŞİLİK BİR AİLENİN ELEKTRİK ENERJİSİ İHTİYACI İÇİN ŞEBEKE BAĞLANTILI GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİ TASARIMI VE SİMÜLYASYONU. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 25(Özel Sayı), 46-56.
- [5] Dinçer, F. (10). kW Kurulu Güce Sahip Güneş Enerjisi Santrali Çatı Tasarımı ve Maliyet Analizi. Recent Advances in Science and Technology, 237.
- [6] Taşkın, O., & Vardar, A. (2019). Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Amfi Çatısının Güneş Elektrik Potansiyelinin Tahminlenmesi. Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 33(1), 45-51.
- [7] Uçar, S., & Kokulu, N. (2018). Antalya bölgesinde yeni tasarlanacak binalarda güneş panellerinin kullanım potansiyelinin incelenmesi. 4. Ulusal Yapı Kongresi ve Sergisi, 377-386.
- [8] PV\*SOL Software Demo Version 2021 (R8).
- [9] Yanardağ, H. M. (2015). Farklı Bina Formlarında Güneş Pili Uygulamalarının Enerji ve Maliyet Etkinliği Açısından Değerlendirilmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [10] ORHAN, N., & ŞAHİN, S. (2022). Bir besi çiftliğinde güneş enerjisi sisteminin uygulanması ve ekonomik analizi. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 9(1), 33-40.
- [11] Singh, R., & Banerjee, R. (2015). Estimation of rooftop solar photovoltaic potential of a city. Solar Energy, 115, 589-602.
- [12] Yadav, S. K., & Bajpai, U. (2018). Performance evaluation of a rooftop solar photovoltaic power plant in Northern India. Energy for sustainable development, 43, 130-138.
- [13] Anang, N., Azman, S. S. N., Muda, W. M. W., Dagang, A. N., & Daud, M. Z. (2021). Performance analysis of a grid-connected rooftop solar PV system in Kuala Terengganu, Malaysia. Energy and Buildings, 248, 111182.
- [14] Belkhode, P. N., Shelare, S. D., Sakhale, C. N., Kumar, R., Shanmugan, S., Soudagar, M. E. M., & Muftaba, M. A. (2021). Performance analysis of roof collector used in the solar updraft tower. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 48, 101619.

- [15] Milosavljević, D. D., Pavlović, T. M., & Piršl, D. S. (2015). Performance analysis of A grid-connected solar PV plant in Niš, republic of Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 423-435.
- [16] Wikipedia. (2024, Nisan 30). Watt peak. Erişildiği tarih: 2024, Nisan 30, [https://tr.wikipedia.org/wiki/Watt\\_peak#bodyContent](https://tr.wikipedia.org/wiki/Watt_peak#bodyContent)