

## Çatı Tipi Güneş Enerji Santrali Tasarımı, Ekonomik ve Çevresel Analizi (Hatay İli Örneği)

**\*Makale Bilgisi / Article Info**

Alındı/Received: 28.09.2024

Kabul/Accepted: 14.03.2025

Yayımlandı/Published: 04.08.2025

### Rooftop Solar Power Plant Design, Economic and Environmental Analysis (Hatay Province Example)

İsa KAMACI<sup>1\*</sup> , Ahmet YÖNETKEN<sup>2</sup> <sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı, Afyonkarahisar, Türkiye<sup>2</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

© 2025 The Authors | Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 (CC BY-NC) International License

#### Öz

Bu çalışma Hatay ilinin iklim şartları ve elektrik talepleri göz önünde bulundurularak çatı üstü güneş enerji santrali tasarımının ekonomik ve çevresel etkilerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. PVsyst programının 7.4 sürümü kullanılarak gerçekleştirilen simülasyonlarla, yatırım maliyeti, elektrik üretimi ve geri dönüş süresi gibi ekonomik unsurlar üzerinde odaklanılmıştır. Çevresel analizde ise güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümünün karbon emisyonu üzerindeki etkisi incelenmiştir. Tasarlanan sistemin ekonomik ömrü 25 yıl olarak varsayılmış ve simülasyon sonucunda yılda 352.043 kWh enerji üretimi, %81,20 performans oranı ve 4,2 yıl geri ödeme süresi elde edilmiştir. Sistemin ekonomik ömrü boyunca 3543,4 ton karbon emisyonunun önlenmesi ve ihtiyaç fazlası enerjinin şebekeye aktarılabilmesi de projenin çevresel ve ekonomik faydalarını ortaya koymaktadır. Ayrıca, bu çalışmanın sonuçları 2023 yılında gerçekleşen Kahramanmaraş depremleri sonrası yeniden yapılanma sürecinde olan bölgeler için güneş enerjisi projelerinin tasarımı ve uygulanmasında önemli bir rehber niteliği taşımakta olup yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının Hatay örneğinde incelenmesinin, sürdürülebilir yeniden yapılanma için benzer analizlerin diğer bölgeler için de yapılmasına ve benzer sistemlerin uygulanmasına öncülük edebileceği değerlendirilmektedir.

**Anahtar Kelimeler** Yenilenebilir Enerji; Çatı Güneş Enerji Santrali; İklim Değişikliği; PVsyst; Sıfır Emisyon.

#### Abstract

This study aims to evaluate the economic and environmental impacts of designing a rooftop solar power plant in Hatay, considering the region's climatic conditions and electricity demand. Simulations conducted using PVsyst software version 7.4 focused on economic factors such as investment cost, electricity generation, and payback period. In the environmental analysis, the impact of solar energy conversion on carbon emissions was examined. The designed system was assumed to have an economic life of 25 years, and the simulation results indicated an annual energy production of 352,043 kWh, a performance ratio of 81.20%, and a payback period of 4.2 years. Over its economic lifespan, the system is expected to prevent 3,543.4 tons of carbon emissions and enable the transfer of surplus energy to the grid, demonstrating its environmental and economic benefits. Additionally, the findings of this study serve as a significant guideline for the design and implementation of solar energy projects in regions undergoing reconstruction following the 2023 Kahramanmaraş earthquakes. The examination of renewable energy utilization through the Hatay case study suggests that similar analyses for other regions could contribute to sustainable reconstruction efforts and facilitate the adoption of comparable systems.

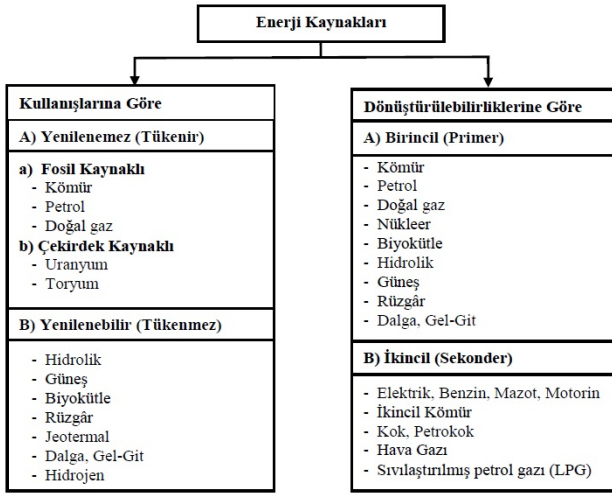
**Keywords** Renewable Energy; Rooftop Solar Power Plant; Climate Change; PVsyst; Zero Emission.

#### 1. Giriş

İnsanların yaşamına ve dünya ekonomisine yön veren temel sektörler tarım, sanayi ve hizmet sektörleridir (Özsağır ve Akın 2012). Bu sektörlerin ve bağlı alt sektörlerin sürdürülebilirliği, şüphesiz ki ihtiyaç duydukları enerjinin kesintisiz bir şekilde temin edilmesiyle mümkündür (Pala 2018). 18. yüzyılda Sanayi Devrimi'nin gerçekleşmesiyle birlikte, teknolojinin hızla ilerlemesi ve insan nüfusunun artması, bu sektörlerin enerjiye olan talebini sürekli artırmıştır (Öztürk vd. 2023).

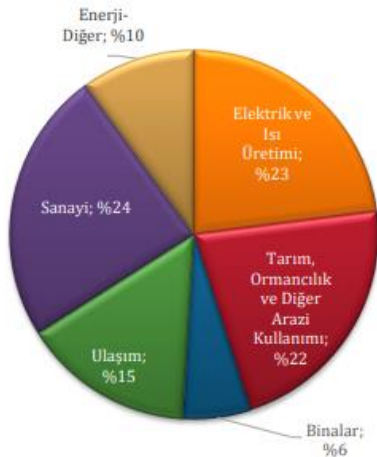
Bu sektörlerin enerji ihtiyacının büyük bir bölümü, kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil kaynaklı enerji türlerinin elektrik, mazot, benzin ve LPG gibi enerji kaynaklarına dönüştürülmesiyle karşılanmaktadır. Enerji, dönüşüm süreçleri bağlamında birincil ve ikincil enerji olarak; kullanım yöntemlerine göre ise yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları şeklinde sınıflandırılmaktadır (Koç ve Kaya 2015). Şekil 1'de enerji kaynaklarının sınıflandırılması gösterilmektedir. Yenilenemez enerji kaynaklarının dönüşüm süreçleri sonucunda çeşitli türlerde atıklar ortaya çıkmaktadır. Bu

atıklar çevre kirliliğine yol açmakta, dönüşüm sırasında atmosfere yayılan sera gazları ise sıcaklık tutucu özelliklerinden dolayı küresel ısınma ve iklim değişikliği sorunlarının başlıca nedenlerinden biri olmaktadır (Erdoğan 2020).



Şekil 1. Enerji Kaynaklarının sınıflandırılması (Koç ve Kaya 2015)

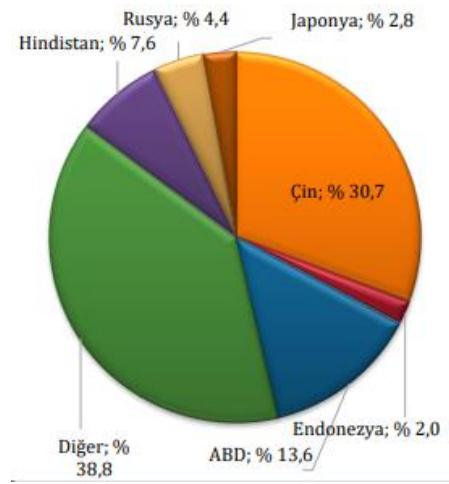
Sera gazları içerisinde en yüksek pay karbon emisyonlarına aittir (Kılınç ve Altıparmak 2020). Küresel sera gazı salımının %33'lük kısmı enerji sektöründen kaynaklanmaktadır. Bunun içinde elektrik ve ısı enerjisi üretiminin payı ise %23'tür (EÜAŞ 2023). Şekil 2'de ekonomik faaliyet alanlarına göre küresel sera gazı emisyonları gösterilmektedir.



Şekil 2. Ekonomik faaliyet alanlarına göre küresel sera gazı emisyonları (EÜAŞ 2023)

Ülkeler, fosil kaynaklı yakıtlardan kaynaklanan küresel ısınmayı önleme ve ekonomik büyümelerini sürdürebilme amacıyla ekonomik büyüme-karbon salımı ilişkisi üzerine politikalar geliştirmektedir (Cesur Durmaz ve Üçgöl 2024).

Şekil 3'te, 2022 yılı sonu itibarıyla fosil yakıtlar kaynaklı karbon emisyonları gösterilmektedir. Ülkemiz, 436 MtCO<sub>2</sub> değerine ulaşarak dünyada 14. sırada yer almaktadır (EÜAŞ 2023).



Şekil 3. Fosil yakıtlar kaynaklı karbon emisyonu (EÜAŞ 2023)

Birleşmiş Milletler, karbon emisyonlarının azaltılması ve iklim değişikliği ile mücadele amacıyla 1985 yılında "Ozon Tabakasının Korunmasına Dair Viyana Sözleşmesi"ni kabul ederek bu alanda ilk adımını atmıştır. Bu sözleşmenin ardından, 1994 yılında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) yürürlüğe girmiş ve iklim değişikliği ile mücadele daha güçlü bir zemine oturmuştur. Kyoto Protokolü (2020 yılına kadar) ve Paris Anlaşması (2020 yılından sonra) gibi ek anlaşmalar, karbon emisyonlarının sınırlandırılması amacıyla bu çerçeveyi desteklemiştir. Paris Anlaşması, Birleşmiş Milletler'in iklim değişikliği konusundaki en kapsamlı anlaşması olup, Türkiye'nin de aralarında bulunduğu 196 ülke ve Avrupa Birliği tarafından imzalanmıştır (Karakaya 2016, Birpınar 2022). Ekonomik büyümenin sürdürülebilir olması için karbon emisyonunun azaltılması gerektiği ve bu azaltımın da yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasıyla mümkün olacağı belirlenmiştir (Batmaz vd. 2019).

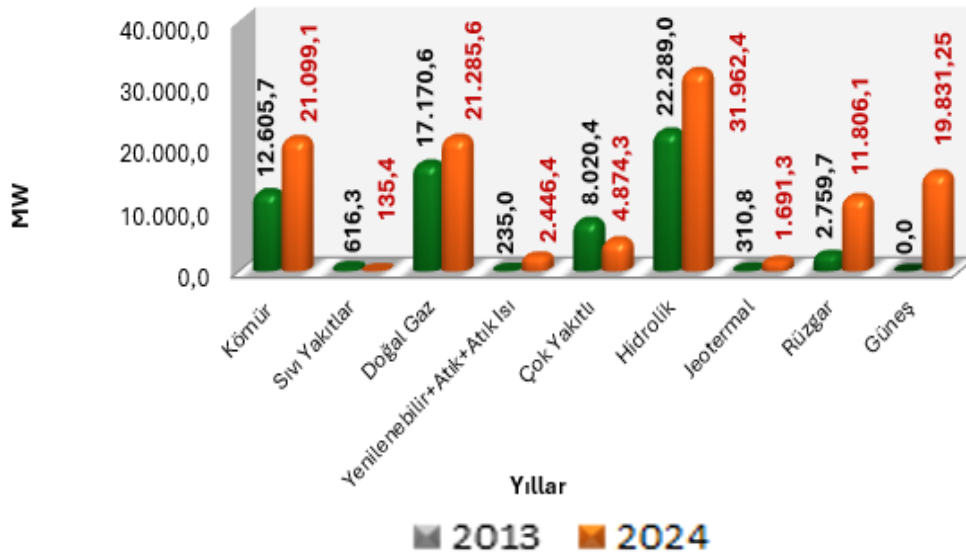
Ülkemizde, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında 2011-2023 yıllarını kapsayan İklim Değişikliği Uyum Eylem Planı hayata geçirilmiş olup, alınan kararlar ve sağlanan destekler neticesinde enerji sektöründe güneş ve rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı artmıştır (Gürtepe ve Birpınar 2023). 2024 yılı sonu itibarıyla üretilen elektrik enerjisinin %53,59'u fosil kaynaklı yakıtlarla karşılanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik enerjisi üretim oranı ise %46,41'dir (İnt.Kay.1). 2024 yılında güneş enerjisinden üretilen elektrik enerjisi 23.579.425,696 MWh olarak kaydedilmiştir (İnt.Kay. 2).

Güneş enerjisinin kullanımına ilişkin teşvikler ve artan farkındalık, güneş enerji santrallerinin kurulumu sırasında maliyetlerin düşmesini sağlamış ve yeşil dönüşümü daha ulaşılabilir hale getirmiştir (Akarslan ve Hocaoglu 2018).

Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği (2019) ile ülkemizde güneş enerjisi kaynaklı elektrik

enerjisi üretimi teşvik edilmeye devam etmektedir. Mesken aboneleri, 25 kW'a kadar olan güçle elektrik enerjisi üretebilmektedir. Yönetmelikte tanımlanan elektrik tüketimi yüksek olan aboneler ise, bağlantı anlaşmasındaki sözleşme gücünün iki katına kadar yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı lisanssız üretim tesisi kurarak elektrik ihtiyaçlarını karşılayabilmekte ve ihtiyaç fazlası elektrik enerjisini şebekeye verebilmektedir (Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği, 2019). Bu düzenlemeyle, lisanssız üretimin tüketime özgülenmiş üretim haline gelmesi amaçlanmaktadır. Lisanssız üretimin tüketime özgülenmesi modeli, ülkemizin 2053 net sıfır emisyon politikasında güneş enerjisinin potansiyelini ortaya koymaktadır.

2022 yılında gerçekleştirilen İklim Şurası'nda, enerji sektörü için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım alanlarının çeşitlendirilmesi ve daha fazla yenilenebilir enerji kapasitesinin enerji sistemine entegrasyonu adına sistem esnekliğinin artırılması gerektiği yönünde karar alınmıştır (Hamza Çelikyay ve Küçük Bayraktar 2023, İnt. Kyn. 3). Güneş enerji sistemleri, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla kurulum ve kullanım kolaylığı sunmaktadır. Gelişen teknoloji ve iyi işletilen teşvik mekanizmaları sayesinde kurulum maliyetlerinin düşmesi, güneş enerji sistemlerini daha cazip ve erişilebilir hale getirmiştir. Şekil 4'te yer verilen 2013-2024 yılları arasında güneş enerjisinin ülkemizdeki kurulu güce oranı ve 2024 Aralık ayı itibarıyla hizmette olan 31.491 adet güneş enerji santrali (lisanssız santraller dahil) bu durumu kanıtlar niteliktedir (TEİAŞ 2023, İnt. Kyn. 4).



Şekil 4. Birincil enerji kaynaklarına göre 2013-2024 yılları arası Türkiye kurulu gücü (TEİAŞ, 2023, İnt. Kyn. 4)

Bir güneş enerji santrali kurulumu, sürdürülebilir bir geleceğe yönelik uzun vadeli bir yatırımdır (Akcan vd. 2020). Ancak, bu yatırımdan en yüksek verimi alabilmek için dikkat edilmesi gereken birçok parametre bulunmaktadır. Bu parametreler arasında coğrafi konum, iklim koşulları (güneşlenme süresi, iklim, rüzgâr hızı), kurulum alanının özellikleri, teşvik mekanizmaları ve kullanılacak fotovoltaik sistem ekipmanlarının seçimi yer almaktadır (Kırnapçı ve Pamuk 2024).

Bu parametreleri değerlendirerek kurulum hakkında ön bilgi sağlayabilen Pv\*Sol, PVsyst, RETScreen, Homer gibi bilgisayar yazılımları mevcuttur. Bu yazılımlar sayesinde yapılan fizibilite çalışmaları, parametrelerin doğru bir şekilde uygulanmasıyla tasarlanan sistemin maliyet ve performans açısından en uygun hale gelmesini sağlamaktadır (Şahin 2024).

Literatürde, bu yazılımlar ile gerçekleştirilen güneş enerji sistemlerine dair birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar iki ana kategoriye ayrılabilir. İlk kategori, sistem tasarımı yaparak ekonomik ve çevresel analizler gerçekleştirir ve sistemin performansını değerlendirir. İkinci kategori ise faaliyette olan bir sistemi yeniden simüle ederek, üretim sonuçları ile simülasyon sonuçlarını karşılaştırır.

(Martin 2024) çalışmasında, PV\*Sol yazılımı kullanılarak bir meslek yüksekokulunun çatısına yönelik çatı üstü güneş enerji santrali tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarım, 148,5 kW kurulu güce sahip olup, yıllık olarak 105.867 kg karbon emisyonunun önlenmesini ve 225.459 kWh elektrik enerjisinin üretilmesini sağlayacak şekilde simülasyon sonucu belirlenmiştir. Sistemin, yatırım maliyetini 7,2 yıl içinde geri ödeyeceği ifade edilmiş ve bu

projenin hem üniversite hem de çevre açısından faydalı olacağı vurgulanmıştır.

(Yalılı Kılıç ve Kurtaran 2024) çalışmalarında, PVsyst programı ile bir iş yerine çatı üstü güneş enerji santrali tasarımı yapmışlardır. Tasarım sonucunda, sistemin performansı %81,69 ve kayıplarının oranı %18,31 olarak hesaplanmıştır. 11,06 kWp kurulu güce sahip sistemin yıllık olarak 14.602,63 kWh elektrik enerjisi üretebileceği, firmanın yıllık enerji ihtiyacı olan 1.920 kWh'lık tüketimi düşüldüğünde şebekeye 13.714 kWh enerji verebileceği belirtilmiştir. Çalışmalarında, tasarımın yapıldığı bölgenin güneş enerjisi sistemlerinin kurulumu için elverişli bir konumda olduğu ve bu bölgede bulunan diğer iş yerleri için de örnek teşkil edebileceğinden bahsedilmiştir. Ayrıca, tasarımın fosil kaynaklı elektrik enerjisine olan bağımlılığı azaltacağı vurgulanmıştır.

(İsmahane *et al.* 2023) çalışmasında, bir ilkokulda kullanılmak üzere PVsyst programı ile 20 adet 310 W'lık güneş paneli ve 6 kW'lık bir invertör kullanılarak, toplam yatırım tutarı 821.000 Cezayir dinarı olarak belirlenen ve ortalama geri ödeme süresi 8 yıl olan bir güneş enerji sistemi tasarımı yapılmıştır. İlkokul seçiminin, öğrencilerde yenilenebilir enerji konusunda farkındalık oluşturarak ülkenin geleceğini güvence altına almaya yardımcı olacağı belirtilmiştir. Çalışmalarında, devletlerinin yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapması durumunda petrol ve gaz yükünün azalacağı, elektrik sektöründe tasarruf sağlanacağı ve böylece dünya genelindeki diğer sanayileşmiş ülkelerle rekabet edilebileceği ifade edilmiştir.

(Çınaroğlu 2022) çalışmasında, şebekeden bağımsız 550 Wp kurulu güce sahip bir güneş enerji sistemini, 5 farklı takip sistemi (sabit, mevsimsel yatay ve dikey, çift eksen) ile PVsyst programının veri tabanını kullanarak maliyet ve performans açısından karşılaştırmıştır. Elde ettiği sonuçlara göre, çift eksen takipli güneş enerji sisteminin diğer takip sistemlerine göre en yüksek elektrik enerjisini (1.049,9 kWh) ürettiği ve 57,03 kWh ile en az elektrik enerji kaybına maruz kaldığını belirtmiştir. Sabit eksenli güneş enerji sisteminde ise 764,77 kWh ile en düşük elektrik enerjisinin üretildiği ve en fazla kayıp enerjinin 93,36 kWh olduğu ifade edilmiştir. Tasarladığı karşılaştırma sisteminde, kullanıcı ihtiyacı dışında oluşan fazla enerjinin de en yüksek miktarda çift eksen takipli güneş enerji sisteminde üretildiği, en düşük miktarda ise sabit eksenli güneş enerji sisteminde olduğu belirtilmiştir. Çalışmasında ayrıca şebekeye bağlı bir sistem tasarımı yapmış ve bu sistemin tekno-ekonomik değerlendirmesini gerçekleştirmiştir. Tasarlanan sistemin teknik analizinde yıllık 3,1 MWh elektrik enerjisi üretebileceği ve

performans oranının %83,7 olduğu belirtilmiş, ekonomik analizinde ise yatırım maliyetinin yaklaşık 12.000 TL olduğu ve bu maliyetin 5 yıl içinde amorti edileceği vurgulanmıştır.

(Mishra *et al.* 2024) çalışmalarında, 5 MWp kapasiteli bir güneş paneli sisteminin güç üretimi analizini, PVsyst programı ile tasarım ve simülasyon yaparak gerçekleştirmişler ve sonrasında, simülasyonun tahmin ettiği performans ile aynı kapasiteye sahip gerçek bir güneş paneli sisteminin üretimini karşılaştırmışlardır. Analiz, gerçek ve simülasyon sonuçları arasındaki farklar incelenerek PVsyst programının güvenilirliği ve uygunluğu test edilmiştir. Ayrıca, IEC 61724 standardına göre temel performans göstergeleri de değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonuçları, tahmini ve gerçek sistem verimleri arasında güçlü bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Gerçek sistemin performans oranı %81,02 olarak hesaplanırken, modellenen sistemin performans oranı %80,42 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar, PVsyst programının çatı üstü güneş enerji sistemlerini değerlendirmek ve iyileştirmek için güvenilir bir araç olduğunu, ayrıca güneş enerjisi alanındaki çalışmalar için gerçek değerlere daha yakın bilgiler sunduğunu göstermektedir.

(Şahin 2024) çalışmasında, Kahramanmaraş ilinde 1.179 kWp kurulu güce sahip bir santralin 2023 yılı üretim verileri ile PVsyst programı ile yapılan simülasyon sonuçlarını karşılaştırmıştır. 2023 yılında güneş enerji santrali 1.893.005 kWh elektrik enerjisi üretmiştir. PVsyst programı ile yapılan simülasyon sonucunda ise 1.896.851 kWh elektrik enerjisi üretebileceği tahmin edilmiştir. Çalışmada, bu iki veri arasındaki farkın 3.846 kWh olduğu belirlenmiştir. Bu farkın %0,203 olduğu ve bu küçük farkın, PVsyst programı ile simülasyon yapmanın güneş enerji sistemlerinin kurulmadan önce sayısal modellenmesinin önemini vurguladığı ifade edilmiştir.

(Sancar ve Altınkaynak 2021)'in çalışmalarında, farklı çatı tipleri (düz ve engebeli) ve eğim açıları (18°, 24°, 35°) dikkate alınarak toplamda 6 farklı senaryo incelenmiştir. Isparta'daki bir ev için 240 m<sup>2</sup> çatı alanına kurulacak 49,1 kW gücündeki şebeke bağlantılı fotovoltaik (PV) sistemlerin enerji üretim performansı PVsyst 7.2 simülasyon yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre en yüksek enerji üretimi 35° eğimli düz çatılarda, en düşük üretim ise engebeli çatılarda elde edilmiştir. Performans oranının düz çatılarda daha yüksek (%87,03), engebeli çatılarda ise daha düşük (%84,4) olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Gölgeleme ve sıcaklık kayıpları gibi parametreler değerlendirilmiş; düz çatılarda gölgeleme kaybı sıfır,

sıcaklık kaybı daha yüksek (%6,63) bulunmuştur. Çalışmalarında, çatı eğimi ve yöneliminin enerji üretimine etkisini vurgulayarak doğal soğutmayı destekleyecek çatı tasarımlarının önemini ortaya koymuşlardır.

(Sarı ve Özyiğit 2020)'in çalışmalarında, Sivas ilinin 5 ilçesinde, 10 MW gücünde monokristal ve polikristal panellerle güneş enerji santralleri tasarlanmış ve PVsyst programı ile analiz edilmiştir. Santrallerin kurulumu, banka kredisi kullanılmadan ve kredi olarak olmak üzere iki farklı senaryo ile değerlendirilmiştir. Polikristal panellerle kurulan santrallerin geri ödeme süreleri, monokristal panellere göre daha kısa bulunmuş, en kısa geri ödeme süresi 4,5 yıl ile Divriği ve Yıldızeli ilçelerinde gözlenmiştir. Monokristal panellerle kurulan santrallerin verimi daha yüksek olup, en yüksek performans oranı Merkez ve Yıldızeli ilçelerinde elde edilmiştir. En düşük birim maliyet, 0,04443 \$/kWh ile Divriği ilçesinde polikristal panellerle kredi alınmadan kurulan santralde tespit edilmiştir. Güneş enerjisi potansiyeli ve enerji üretimi açısından Gürün ilçesi en yüksek elektrik üretimi sağlarken, Zara ilçesi en düşük üretimi göstermektedir. Ekonomik analizde, monokristal paneller için en fazla kâr Divriği ilçesinde, polikristal paneller için ise Yıldızeli ilçesinde elde edilmiştir. Çalışma, Sivas ilindeki diğer ilçelerde de benzer çalışmalar yapılarak güneş enerjisi yatırımlarının arttırılabileceğini ve enerji iletim maliyetlerinin de göz önünde bulundurulmasının faydalı olacağını vurgulamaktadır.

(Çiftçi *et al.* 2020) çalışmalarında, Mardin iline bağlı bir eğitim kurumunun çatısına şebekeye bağlı 9,9 kWp güce sahip bir güneş enerji sistemi tasarlanmış ve bu sistemin teknik ve ekonomik analizini gerçekleştirmiştir. Çalışmada, sistemin yıllık 13,3 MWh elektrik enerjisi üretebileceği tahmin edilmiş ve bu üretimin %28,6'sının kurumun enerji tüketimini karşılayabileceği, yıllık 6,7 MWh'lık fazla enerjinin ise şebekeye aktarılacağı belirtilmiştir. Çalışmada, sistemin ilk yatırım maliyetlerinin geri dönüşü göz önünde bulundurularak bu tür sistemlerin diğer okullarda da uygulanabilirliğinin mümkün olduğu vurgulanmıştır.

(Bulut vd. 2018) çalışmalarında, Türkiye'de güneş enerjisi kullanım alanları ile Siirt ilinin güneş enerjisi potansiyelini değerlendirmişlerdir. Güneş enerjisinin kullanımının artmasına yönelik politikaların ve sunulan teşviklerin çeşitlendirilmesiyle elektrik enerjisine ulaşımın olmadığı alanlarda elektrik enerjisine erişimin sağlanacağını belirtmişlerdir.

Bu çalışma, güneş enerji sistemlerinin tasarım ve değerlendirme süreçlerine bölgesel bir perspektifle katkı sağlamayı amaçlayan özgün bir araştırma olarak öne

çıkılmaktadır. Özellikle Hatay ilinin coğrafi ve iklimsel koşullarına özgü bir enerji modelinin geliştirilmesi, bu çalışmayı mevcut literatürdeki genel enerji sistemleri çalışmalarından ayırmaktadır. Çalışma, PVsyst 7.4.5 yazılımıyla gerçekleştirilen simülasyon analizleri ve detaylı ekonomik değerlendirmeleri birleştirerek, bölgeye yönelik uygulanabilir bir yol haritası sunmaktadır.

Çalışmamız, yenilenebilir enerji kaynaklarının en üst düzeyde kullanılması ve kullanım alanlarının çeşitlendirilmesi amacıyla Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Kırkhan Meslek Yüksekokulu'na çatı tipi güneş enerji santrali kurulumunun modellemesini yaparak, kurumun güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretim potansiyelini ortaya çıkarmayı hedeflemektedir. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığının 2023 Kahramanmaraş ve Hatay Depremleri Raporu'nda belirtilen "2053 yılı net sıfır emisyon hedefine ulaşabilmek için önemli miktarda yeni güneş ve rüzgâr enerjisi kapasitesine ihtiyaç olduğu" ve bu doğrultuda 11 ile verilecek özel teşviklerle güneş ve rüzgâr enerjisi yatırımlarının bu illere yönlendirilebileceği vurgusu dikkate alınarak, çalışmamız bölgenin kalkınmasına ve ülkemizin 2053 yılı net sıfır emisyon hedefine ulaşmasına katkı sağlayacaktır. Literatürdeki pek çok araştırma, ya genel enerji sistemlerinin performansına odaklanmakta ya da belirli bir sistemin tek bir yönünü (örneğin çevresel etkiler veya ekonomik fizibilite) ele almaktadır. Ancak, bu çalışmada performans oranı, karbon emisyon azaltımı ve ekonomik kazanç gibi farklı parametreler bir arada incelenmiş; bu sayede kapsamlı bir analiz ortaya konmuştur.

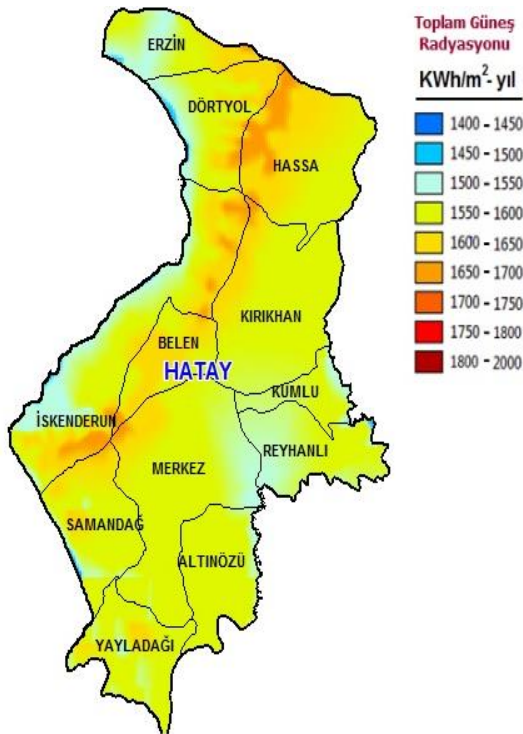
Çalışmanın bir diğer önemli katkısı, Hatay gibi yeniden yapılandırma sürecinde olan bir bölgeye özgü bir enerji çözümü sunmasıdır. Deprem sonrası enerji altyapısının sürdürülebilir bir şekilde inşa edilmesine yönelik bir model niteliği taşımaktadır. Bu çalışmanın literatüre sağladığı en önemli katkılardan biri, güneş enerji sistemlerinin bölgesel ihtiyaçları karşılama kapasitesini, ekonomik geri dönüşlerini ve çevresel faydalarını eş zamanlı olarak analiz etmesidir. Özellikle Türkiye'nin 2053 net sıfır emisyon hedefleri doğrultusunda, yenilenebilir enerji projelerinin yerel ölçekteki uygulanabilirliğini detaylandıran nadir çalışmalardan biri olarak literatürdeki boşluğu doldurmaktadır. Sonuç olarak, bu araştırma, Hatay özelinde geliştirilen model ile hem yerel yönetimler hem de enerji planlamacıları için önemli bir referans kaynağı olmayı hedeflemektedir. Bu yönüyle çalışma, yalnızca bölgesel değil, aynı zamanda küresel ölçekte sürdürülebilir enerji literatürüne de değerli bir katkı sunmaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

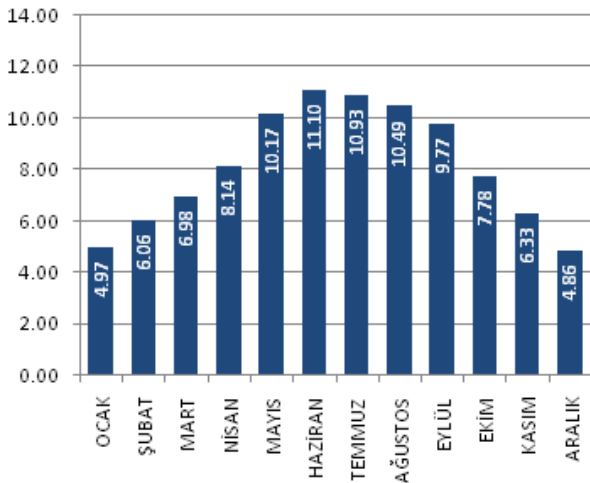
Çalışma, PVsyst programının 7.4.5 sürümü ile yapılmış olup, çatı güneş enerji sistemi tasarımı Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Kırıkhan Meslek Yüksekokulu binası için gerçekleştirilmiştir.

### 2.1 Hatay İli İklimsel Verileri

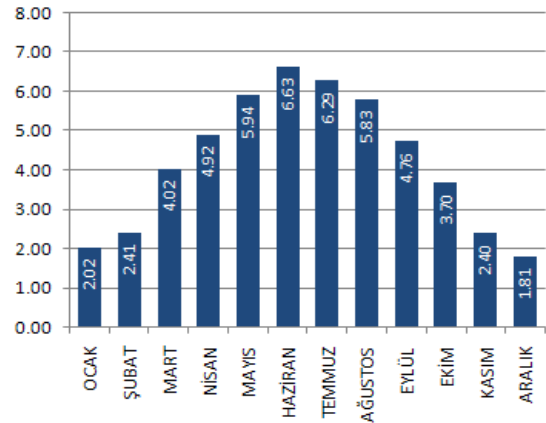
Hatay ili, diğer illere göre güneşlenme süresi ve ışınlam miktarı baz alındığında ortalamanın üzerinde bir değere sahip olmakla birlikte, güneş radyasyon miktarı 1450-1750 kWh/m<sup>2</sup>-yıldır. Şekil 5'te, Hatay ili güneş radyasyonu haritası gösterilmiştir. Bina Kırıkhan ilçesinde bulunduğu için, Kırıkhan ilçesinin güneşlenme süreleri ve güneş global radyasyon değerleri, Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 5. Hatay ili güneş radyasyonu haritası (İnt. Kyn. 5).

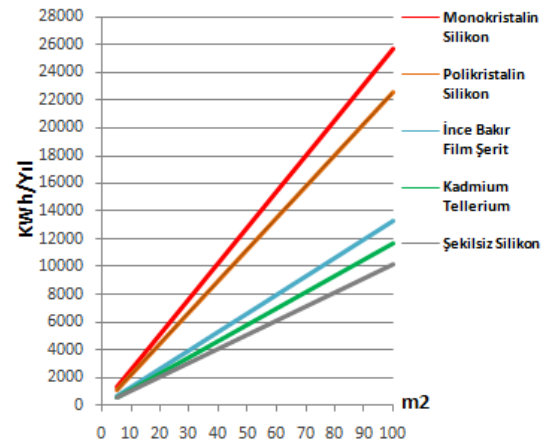


Şekil 6. Kırıkhan ilçesi güneşlenme süreleri (Saat) (İnt. Kyn. 5).



Şekil 7. Kırıkhan ilçesi Global Radyasyon Değerleri (kWh/m<sup>2</sup>-Gün) (İnt. Kay. 5).

Enerji İşleri Genel Müdürlüğü'nün hazırlamış olduğu Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası'nda, fotovoltaik panel çeşitlerine göre üretilebilecek enerji miktarı bilgilerine yer verilmiş olup Kırıkhan ilçesi için en uygun olan panel çeşidinin monokristal silikon panel olduğu değerlendirilmiştir. Kırıkhan ilçesi için fotovoltaik panel tiplerine göre, metrekare başına üretilebilecek enerji, Şekil 8'de kWh/yıl cinsinden verilmiştir.



Şekil 8. Kırıkhan ilçesi Fotovoltaik Panel Tipi-Alan üretilebilecek enerji (kWh-yıl) (İnt. Kay. 5).

### 2.2 Binanın Fiziki Bilgileri ve Enerji Tüketim Verileri

Tasarımın yapılacağı bina, Kırıkhan Meslek Yüksekokulu Müdürlüğü'ne ait, 2537 m<sup>2</sup> çatı alanına sahip, birbirine bitişik 3 bloktan oluşan bir kamu kurumu binasıdır. Bina çatı yüksekliği 13,5 metredir. Bina çatısına tasarlanan sistem, doğal gölgelenme etkisi altında olmayacaktır. Ancak binaya ait iklimlendirme sistemi dış üniteleri ve bina blok havalandırma bacaları, sistemde gölge etkisi yaratacaktır.

Binanın enerji tüketim verileri, 2022 yılı baz alınarak hesaplanmıştır. 2021 yılında yaşanan pandemi, 2023 yılında yaşanan deprem ve alınan uzaktan eğitim kararı 2024 yılında da devam ettiğinden, binanın tam kapasite ile enerji tükettiği yıl 2022 yılıdır. Bu kapsamda elektrik enerjisi tüketim verileri Çizelge 1'de gösterilmiştir.



Şekil 9. Kırıkkhan Meslek Yüksekokulu uydu görüntüsü (İnt.Kay. 6).

### 2.3 Sistemin Tasarlanması

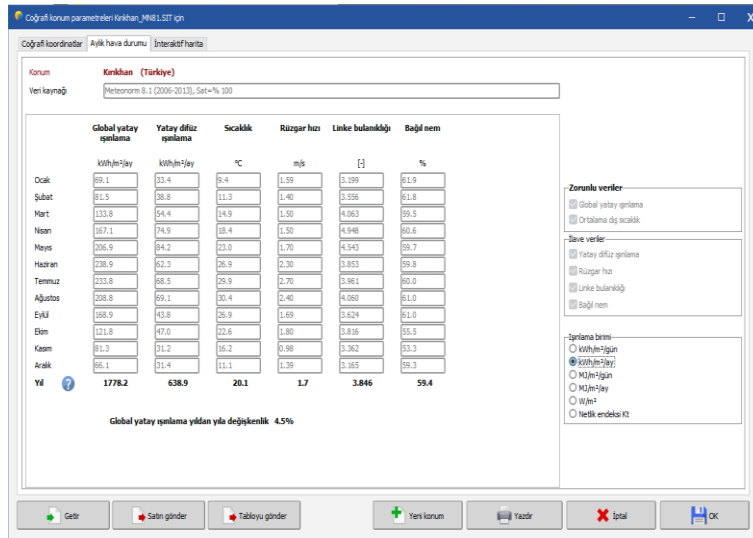
Güneş enerji santrali, üretilen ihtiyaç fazlası enerjinin şebekeye verilerek satışının yapılması düşünülerek şebekeye bağlı tip olarak belirlenmiş ve seçimi PVsyst programının arayüzü üzerinden yapılmıştır. Sistemde kullanılan hava durumu verileri, Meteonorm 8.1, NASA-SSE, PVGIS gibi veri tabanları arasından interaktif harita arayüzü kullanılarak konum seçimi yapılması ve

Meteonorm 8.1 veri tabanından faydalanılması suretiyle sentetik olarak üretilmiştir.

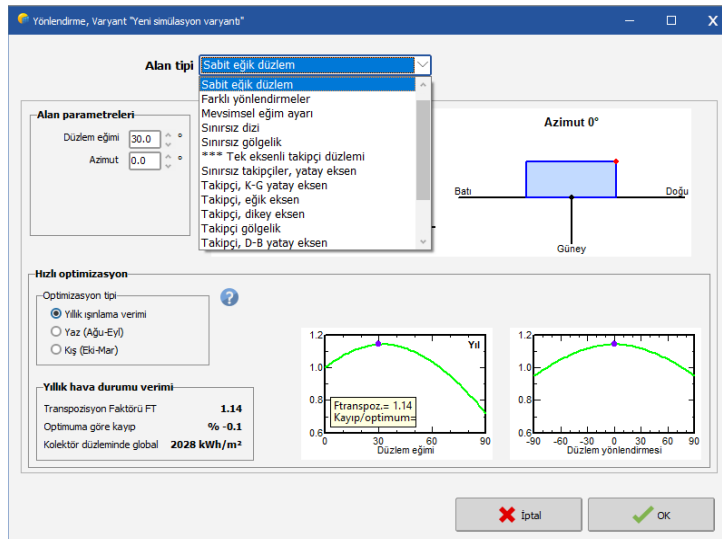
Çizelge 1. 2022 yılı elektrik tüketim verileri

| 2022 Yılı     | Aylık (kWh)      | Günlük (kWh) |
|---------------|------------------|--------------|
| Ocak          | 36906,66         | 1191         |
| Şubat         | 24856,02         | 888          |
| Mart          | 32751,18         | 1056         |
| Nisan         | 13951,98         | 465          |
| Mayıs         | 12453,84         | 402          |
| Haziran       | 15062,04         | 502          |
| Temmuz        | 10788,12         | 348          |
| Ağustos       | 12380,76         | 399          |
| Eylül         | 17152,38         | 572          |
| Ekim          | 18062,1          | 583          |
| Kasım         | 18809,28         | 627          |
| Aralık        | 28410,48         | 917          |
| <b>TOPLAM</b> | <b>241584,84</b> |              |

Hava durumu verileri oluşturulduktan sonra, sistemin ana parametrelerinden biri olan güneş panellerinin, program arayüzündeki ana parametreler kısmından yönlendirilmesi yapılmıştır.



Şekil 10. Sentetik olarak oluşturulan aylık hava durum verileri



Şekil 11. Panel yönlendirmesinin yapılması

Sistem yönlendirmesi tamamlandıktan sonra, güneş enerji sisteminde kullanılacak olan panel ve invertörlerin seçimi ana parametreler kısmından yapılmıştır. Sistemde kullanılan güneş panelleri monokristal tip olarak seçilmiştir. PVsyst programının veri tabanında bulunan ve yerli üretim olan CW Enerji M12 670 Wp güce sahip Half-Cut Multi Busbar paneller, yüksek dönüşüm verimliliği, kendi kendini temizleyen ve yansımayı azaltan cam, düşük ışınmada yüksek verimlilik sunması sebebiyle tercih edilmiştir. Çizelge 2’de bir adet güneş panelinin özellikleri verilmiştir.

**Çizelge 2.** Güneş panelinin elektriksel ve mekanik özellikleri  
CW Enerji-CWT670-132PM12 670 Wp

| <b>Elektriksel Özellikler</b> |              |
|-------------------------------|--------------|
| Maksimum Güç (Pmax)           | 670 Wp       |
| Modül Verimi (%)              | 21.57        |
| Kısa Devre Akımı (Isc)        | 18.51        |
| Maksimum Güç Gerilimi (Vmp)   | 38.30        |
| Maksimum Güç Akımı (Imp)      | 17.50        |
| Açık Devre Gerilimi (Voc)     | 46.00        |
| Kısa Devre Akımı (Isc)        | 18.51        |
| <b>Mekanik Özellikler</b>     |              |
| Hücre Boyutu(mm)              | 210x105      |
| Ağırlık(kg)                   | 34.5         |
| Panel Boyutu(mm)              | 2384x1303x35 |
| Hücre Sayısı(adet)            | 132 (6x22)   |

Sistemin tasarımı gerçek ölçülerine uygun şekilde modellenen binanın çatısına panellerin optimum seviyede yerleştirilmesi suretiyle yapılmış, 323 adet güneş paneli kullanılmış ve 216 kWp değerinde kurulu güç elde edilmiştir. Sistem tasarımında 100 kW güce sahip 2 adet Huawei sun2000-100ktl-m1 inverter seçimi yapılmıştır. Çizelge 3’te invertöre ait teknik özellikler verilmiştir.

Panel ve invertör seçim işleminden sonra sisteme ait kayıplar, ana parametreler kısmından tanımlanmıştır. Binaya ait 2022 yılı elektrik enerjisi tüketim verileri ana parametreler kısmındaki öz tüketim butonu aracılığıyla programa entegre edilmiştir.

Ufuk tanımlaması butonu ile Meteonorm web servisinden konuma ait panel eğim açıları ve azimut değerlerine göre ufuk tanımlaması elde edilmiştir. Bu tanımlama, sistemin güneşin hareketine göre daha doğru ve gerçeğe yakın değerler elde etmesine yardımcı olur.

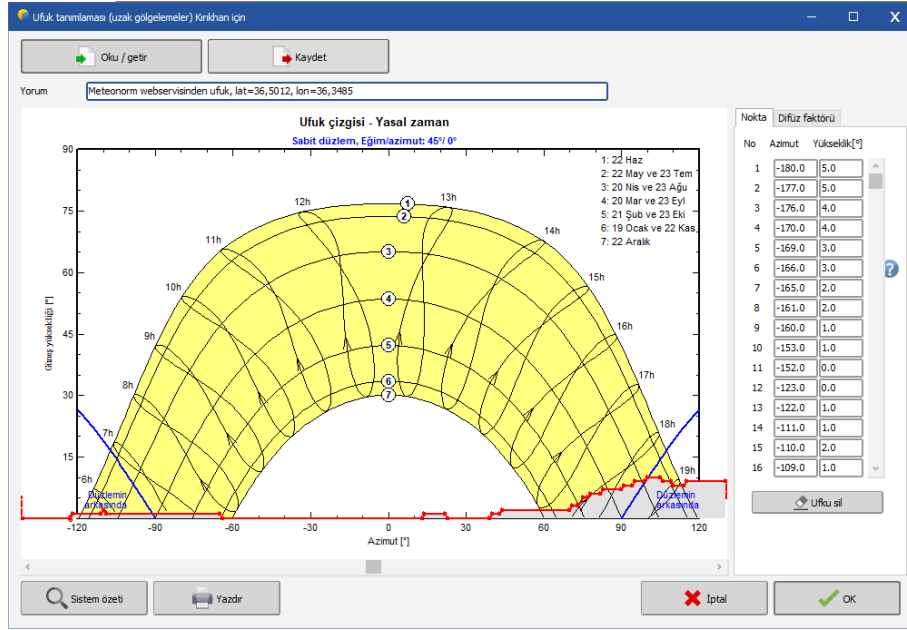
Tasarlanan güneş enerji sistemi, binanın çatısında doğal gölgelenme etkisine maruz kalmamaktadır. Ancak, binanın iklimlendirme sisteminin dış üniteleri ve havalandırma bacaları, sistemde gölge etkisi oluşturacaktır. Bu

gölgelenme etkisi, binanın 3 boyutlu görseli hazırlanarak ve yakın gölgelenmeler butonu aracılığıyla sisteme entegre edilmiştir. Bu işlem, ilgili alanın ölçümleri alınarak gerçekleştirilmiştir.

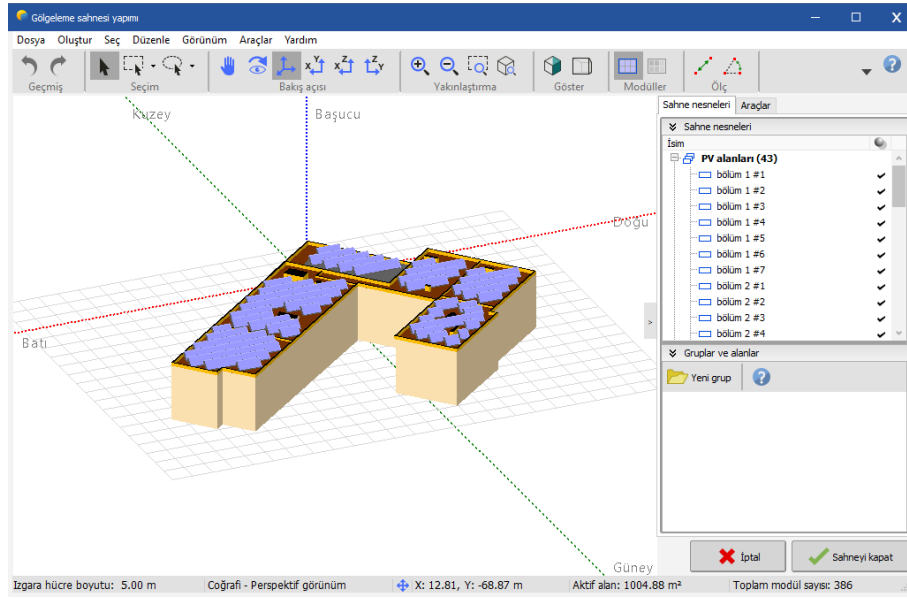
**Çizelge 3.** Invertör özellikleri

| <b>Huawei sun2000-100ktl-m1</b> |                                                |
|---------------------------------|------------------------------------------------|
| <b>Teknik Özellikler</b>        |                                                |
| Maks. Verimlilik                | %98,8 @480 V                                   |
| <b>Giriş</b>                    |                                                |
| Maks. Giriş Gerilimi            | 1.100 V                                        |
| MPPT Başına Maks. Giriş Akımı   | 26 A                                           |
| MPPT Başına Maks. Kısa Devre    | 40 A                                           |
| Akım                            |                                                |
| Başlangıç Gerilimi              | 200 V                                          |
| MPPT Çalışma Gerilimi Aralığı 2 | 200 V ~ 1.000 V                                |
| Nominal Giriş Gerilimi          | 720 V @480 Vac, 600 V @400 Vac, 570 V @380 Vac |
| MPPT Adedi                      | 10                                             |
| <b>Çıkış</b>                    |                                                |
| Nominal AC Aktif Güç            | 100.000 W                                      |
| Maks. AC Görünür Güç            | 110.000 VA                                     |
| Maks. AC Aktif Güç (cosφ=1)     | 110.000 W                                      |
| Nominal Çıkış Gerilimi          | 480 V/ 400 V/ 380 V, 3W+(N)+PE                 |
| Nominal AC Şebeke Gerilimi      | 50 Hz / 60 Hz                                  |
| Nominal Çıkış Akımı             | 120,3 A @480 V, 144,4 A @400 V, 152,0 A @380 V |
| Maks. Çıkış Akımı               | 133,7 A @480 V, 160,4 A @400 V, 168,8 A @380 V |
| <b>Genel Bilgiler</b>           |                                                |
| Boyutlar (E x Y x D)            | 1,035 x 700 x 365 mm                           |
| Ağırlık (Askı aparatı ile)      | 90 kg                                          |
| Çalışma Sıcaklığı Aralığı       | -25°C ~ 60°C                                   |
| Soğutma                         | Akıllı Havalı Soğutma                          |

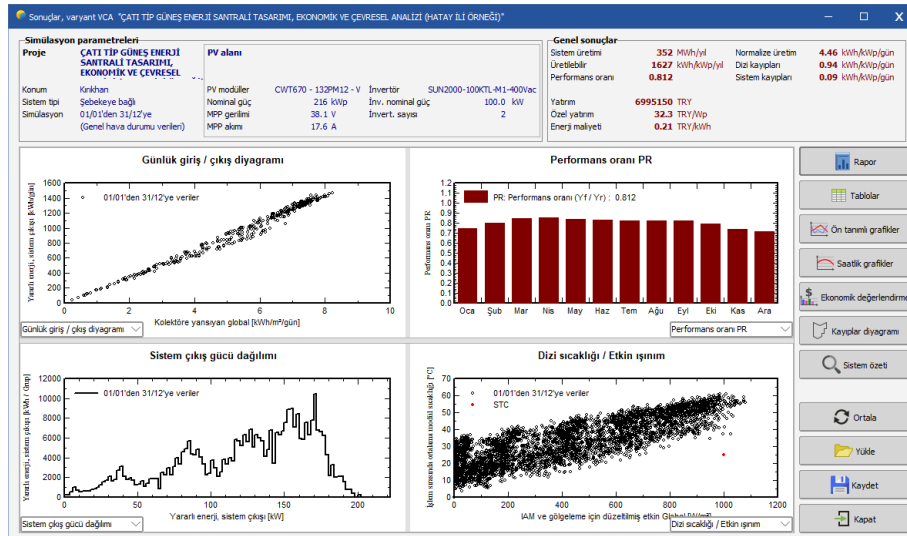
Sistemin PVsyst içerisinde tanımlamaları yapıldıktan sonra simülasyon aşamasına geçilmiştir. Simülasyon kısmında, 'Simülasyonu Yürüt' butonuyla simülasyon başlatılmakta ve ardından sistemin raporunun alınabildiği, ekonomik değerlendirmenin yapılabildiği arayüz ekranı görüntülenmektedir.



Şekil 12. Ufuk tanımlaması



Şekil 13. Üç boyutlu gölgeleme sahnesi



Şekil 14. Sistem raporunun alındığı arayüz

### 3. Bulgular

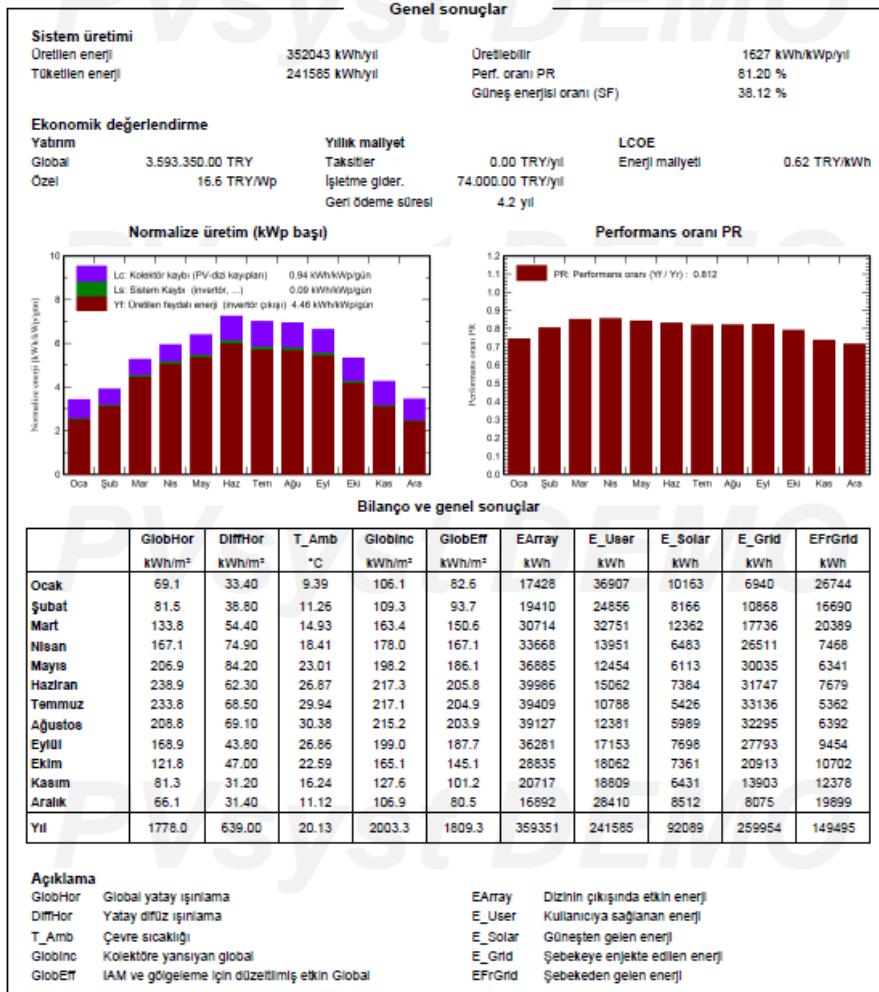
Çalışmanın yapıldığı konum Hatay ili olup, tasarımın gerçekleştirildiği konuma ait hava durumu verileri ve güneş ışınım verileri, Meteonorm veri tabanı kullanılarak sentetik olarak oluşturulmuştur. Bu veriler ışığında, sistemin panel eğim açısı 33° olarak belirlenmiş ve gerçekleştirilen simülasyon sonucunda yıllık üretilen enerji 352 MWh, performans oranı ise %81,2 olarak bulunmuştur. Tasarıma ait proje özet bilgileri Şekil 15'te sunulmuştur. Tasarımda kullanılmış olan fotovoltaik güneş panellerinin ve invertörlerin teknik bilgileri ile kolektör alanı özellikleri Şekil 16'da sunulmuştur. Sistemin normalize üretimi, performans oranı ve bilançosunun belirtildiği genel sonuçlar, Şekil 17'de gösterilmektedir. Tasarımın ışınlam kayıpları, dizi kayıpları ve sistem kayıplarını detaylandıran kayıplar diyagramına Şekil 18'de yer verilmiştir.

| Proje özet                                                                       |                |                                 |                    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------------------|--------------------|
| Coğrafi konum<br>Kırkhan<br>Türkiye                                              | Konum          | Enlem                           | 36.50 °N           |
|                                                                                  |                | Boylam                          | 36.35 °E           |
|                                                                                  |                | Rakım                           | 227 m              |
|                                                                                  |                | Saat dilimi                     | UTC+3              |
| Hava durumu verileri<br>Kırkhan<br>Meteonorm 8.1 (2006-2013), Sat=100 - Sentetik |                |                                 |                    |
| Sistem özet                                                                      |                |                                 |                    |
| Şebekeye bağlı sistem                                                            |                | Bina üzerinde                   | Kullanıcı ihtiyacı |
| Kolektör düzleminin yönlendirilmesi                                              |                | Yakın gölgeler                  | Aylık değerler     |
| Sabit düzlem                                                                     |                | Lineer gölgeler - Hızlı (tablo) |                    |
| Eğim/Azım                                                                        |                | 33 / 0 °                        |                    |
| Sistem bilgisi                                                                   |                | Invertör                        |                    |
| PV alanı                                                                         |                | Öge sayısı                      | 2 adet             |
| Panel sayısı                                                                     |                | Toplam nom. güç                 | 200 kWac           |
| Toplam nom. güç                                                                  |                | Nom. güç oranı                  | 1.082              |
| Sonuçların özet                                                                  |                |                                 |                    |
| Üretilen enerji                                                                  | 352042 kWh/yıl | Üretilebilir                    | 1627 kWh/kWp/yıl   |
| Tüketilen enerji                                                                 | 241585 kWh/yıl | Perf. oranı PR                  | 81.20 %            |
|                                                                                  |                | Güneş enerjisi oranı (SF)       | 38.12 %            |

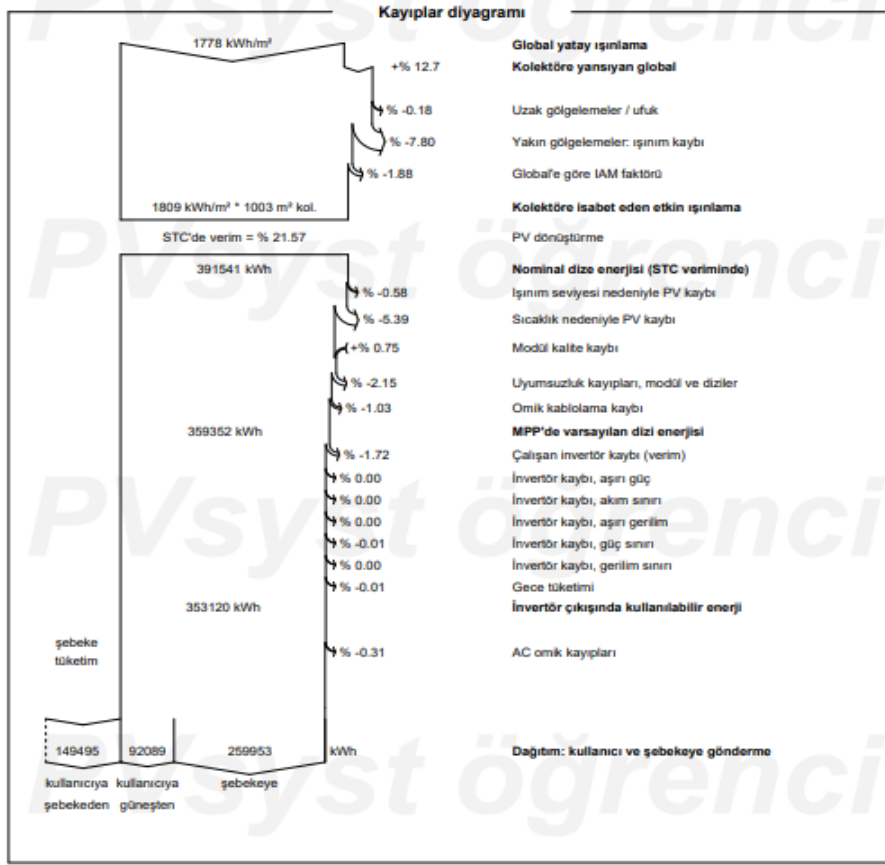
Şekil 15. Proje özet verileri

| Kolektör alanının özellikleri     |                      |                             |                          |
|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------|--------------------------|
| <b>PV modül</b>                   |                      | <b>Invertör</b>             |                          |
| Üretilen                          | Generic              | Üretilen                    | Generic                  |
| Model                             | CWT670 - 132PM12 - V | Model                       | SUN2000-100KTL-M1-400Vac |
| (Orjinal PVsyst veritabanı)       |                      | (Orjinal PVsyst veritabanı) |                          |
| Birim gücü                        | 670 Wp               | Birim gücü                  | 100 kWac                 |
| PV modül sayısı                   | 323 adet             | Invertör sayısı             | 2 adet                   |
| Nominal (STC)                     | 216 kWp              | Toplam güç                  | 200 kWac                 |
| Modül                             | 19 zincir x 17 Seri  | Çalışma gerilimi            | 200-1000 V               |
| <b>İşletme şartlarında (50°C)</b> |                      | Maks güç (>=33°C)           | 110 kWac                 |
| Prmp                              | 198 kWp              | Nom. güç oranı (DC-AC)      | 1.08                     |
| U mpp                             | 592 V                |                             |                          |
| I mpp                             | 334 A                |                             |                          |
| <b>Total PV gücü</b>              |                      | <b>Invertör toplam gücü</b> |                          |
| Nominal (STC)                     | 216 kWp              | Toplam güç                  | 200 kWac                 |
| Toplam                            | 323 modül            | Maks güç                    | 220 kWac                 |
| Panel yüzeyi                      | 1003 m²              | Invertör sayısı             | 2 adet                   |
| Hücre yüzeyi                      | 940 m²               | Nom. güç oranı              | 1.08                     |

Şekil 16. Kolektör alanı özellikleri



Şekil 17. Tasarıma ilişkin genel sonuçlar



Şekil 18. Kayıplar diyagramı

### 3.1 Ekonomik Analiz

Bir güneş enerji santralinin ekonomik olarak analizi ve yatırım kararının alınabilmesi için statik (paranın zaman değerini dikkate almayan) veya dinamik (paranın zaman değerini dikkate alan) yöntemler kullanılabilir (Yalılı 2021). Tasarlanan sistemin ekonomik analizinde statik yöntemlerden geri ödeme süresi (GÖS) yöntemi kullanılmıştır. Tasarlanan sistemin geri ödeme süresi ilk yatırım tutarının yıllık toplam net kârlarının eşitlendiği ve net kâr elde etmeye başlanılan yıl olarak (1) numaralı formül ile hesaplanır (Yıldırım ve Aksu 2021).

$$GÖS = \frac{\text{Yatırım Tutarı}}{\text{Yıllık Ortalama Net Kâr}} \quad (1)$$

Sistemde dinamik değerlendirme yöntemlerinden net bugünkü değer (NBD) yöntemi kullanılmıştır. Net bugünkü değer yöntemi, bir yatırımın ekonomik ömrü boyunca sağlayacağı nakit girişlerinin, belirlenen iskonto oranı (beklenen asgari getiri oranı) kullanılarak bugünkü değerine dönüştürülmüş toplamı ile yatırım için yapılan nakit çıkışlarının aynı iskonto oranıyla bugüne indirgenmiş toplamı arasındaki fark olarak tanımlanır. Bu yöntem, bir yatırımın maliyetine kıyasla yaratacağı değeri ölçmek için (2) numaralı formül ile ifade edilir (Gündüz 2019).

$$NBD = \left[ \sum_{t=0}^n \frac{A}{(1+r)^t} \right] - C \quad (2)$$

Bu formülde geçen, “t” yatırımın süresi içindeki takvim yılını, “n” yatırım ömrünü, “A” yatırımdan sağlanacak net nakit akışlarını, “r” iskonto oranını, “C” başlangıçtaki yatırım miktarını ifade etmektedir.

Sistemde dinamik değerlendirme yöntemlerinden olan İç Kârlılık Oranı (İKO) yöntemi kullanılmıştır. İç kârlılık oranı yöntemi, net bugünkü değer yöntemine oldukça benzerdir; aralarındaki temel fark, iskonto oranının ele alınış biçimidir. İç kârlılık oranı, bir projenin nakit girişi ve çıkışlarını dengeleyen iskonto oranı olarak tanımlanır. Başka bir deyişle, bu yöntem, bir yatırım projesi boyunca elde edilen toplam nakit girişlerinin bugünkü değerini, aynı dönemde gerçekleşen nakit çıkışlarının bugünkü değerine eşitleyen iskonto oranını belirlemeyi amaçlar. Bu oran, net bugünkü değer sıfır olduğu noktayı ifade eder ve (3) numaralı formül ile ifade edilir (Aytekin 2005).

$$İKO = \left[ \sum_{t=0}^n \frac{A}{(1+r)^t} \right] - C = 0 \quad (3)$$

Sistemin ekonomik analizinde kullanılan bir diğer yöntem de yatırımın geri dönüşü (ROI) parametresidir. Bir yatırımın getirisi ile maliyeti arasındaki ilişkiyi yüzdesel olarak ifade etmekte olup (4) numaralı formül ile ifade edilir.

$$ROI = \frac{\text{Yatırım Getirisi} - \text{Yatırım Maliyeti}}{\text{Yatırım Maliyeti}} \times 100 \quad (4)$$

Sistemde kullanılan ekipmanlara ve kurulum maliyetlerine ilişkin varsayımlar Çizelge 4'teki belirtilen oranlarda kabul edilmiştir (İnt. Kyn. 7).

**Çizelge 4.** Kurulum maliyetleri

| Öge                                           | Miktar | Birim Maliyeti | Tutar TL     |
|-----------------------------------------------|--------|----------------|--------------|
| <b>PV Modül</b><br>(CWT670-132PM12-V)         | 323    | 6.600,00       | 2.131.800,00 |
| Panel                                         | 323    | 1.000,00       | 323.000,00   |
| Sehpaları                                     |        |                |              |
| <b>İnvertör</b><br>(SUN2000-100KTL-M1-400Vac) | 2      | 170.000,00     | 340.000,00   |
| <b>Diğer Parçalar</b>                         |        |                |              |
| Donatılar,                                    | 300    | 16,00          | 4.800,00     |
| Bağlantılar,                                  |        |                |              |
| vidalar                                       |        |                |              |
| Kablolama                                     | 60     | 65             | 3900         |
| Birleştirici Kutu                             | 19     | 1.000,00       | 19000        |
| İzleme Sistemi                                | 1      | 25.000,00      | 25.000,00    |
| Parafudr                                      | 1      | 3.000,00       | 3.000,00     |
| <b>Etüt ve Analizler</b>                      |        |                |              |
| Mühendislik                                   | 1      | 20.000,00      | 20.000,00    |
| Ruhsat ve İdari                               | 1      | 20.850,00      | 20.850,00    |
| Ücretler                                      |        |                |              |
| Ekonomik                                      | 1      | 20.000,00      | 20.000,00    |
| Analiz                                        |        |                |              |
| <b>Kurulum</b>                                |        |                |              |
| Modül Başına                                  | 323    | 2.000,00       | 646.000,00   |
| Kurulum                                       |        |                |              |
| İnvertör Başına                               | 2      | 2.000,00       | 4.000,00     |
| Kurulum                                       |        |                |              |
| Sevkiyat                                      | 1      | 32.000,00      | 32.000,00    |

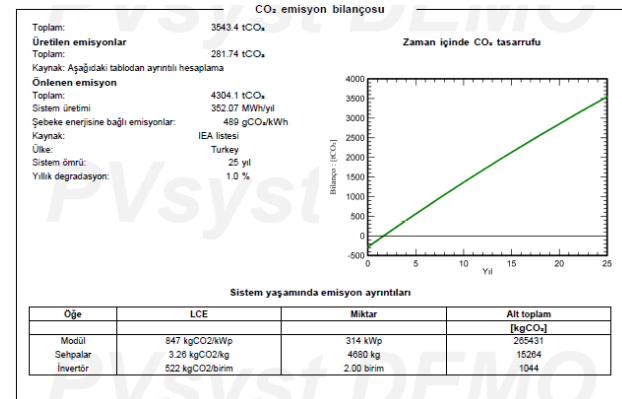
Sistemde kullanılan ekipmanlara panel ve panel sehpaları için 2.454.800 TL, invertörler için 340.000 TL, izleme sistemi, bağlantı ve kablolama işlemleri için ise 55.700 TL maliyet belirlenmiş ve programa tanımlanmıştır. Kurulum maliyeti 682.000 TL olarak hesaplanmış ve sisteme eklenmiştir. Etüt ve analiz giderleri (mühendislik, ruhsat ve idari ücretler dahil) için 60.850 TL tanımlanmıştır. Yıllık bakım maliyeti kapsamında yalnızca panel temizlik gideri için 10.000 TL öngörülmüş, diğer bakım giderleri öngörülmediği için sisteme dahil edilmemiştir. Kurulumun kurum çatısında yapılması planlandığından arazi masrafı oluşmamış ve bu kalem programa eklenmemiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda, sistemin toplam kurulum maliyeti 3.593.350 TL olarak hesaplanmıştır.

Kurulum maliyetinin öz sermaye ile karşılandığı ve simülasyonu yapılan sistemin 2025 yılında hayata geçeceği varsayılmıştır. Sistemin lisanssız elektrik üretim modeli

kapsamında gerçekleştirileceği ve 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun kapsamında sistemde üretilen ihtiyaç fazlası elektrik enerjisinin dağıtım sistemine verilmesi suretiyle söz konusu Kanuna ekli I sayılı cetvelde belirtilen fiyatlar üzerinden 10 yıl süreyle görevli tedarik şirketi aracılığıyla satın alınacağı, bu minvalde ihtiyaç fazlası elektrik enerjisinden de ilave gelir elde edileceği varsayılmıştır (Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun, 2005).

### 3.2 Çevresel Analiz

Şekil 19'da sunulan CO<sub>2</sub> emisyon bilançosu, yılda 352,07 MWh enerji üreten bir fotovoltaik (FV) sistemin, 25 yıllık ömrü boyunca Türkiye'deki şebeke enerjisine (489 g CO<sub>2</sub>/kWh emisyon faktörü) kıyasla toplamda 3543,4 ton CO<sub>2</sub> emisyonunu önlediğini göstermektedir. Sistem, üretim, kurulum ve işletim aşamalarında toplam 281,74 ton CO<sub>2</sub> emisyonu üretmekte olup, zaman içinde doğrusal bir şekilde artan CO<sub>2</sub> tasarrufu sağlamaktadır.



**Şekil 19.** CO<sub>2</sub> emisyon bilançosu

Sistemin yaşam döngüsü emisyonları (LCE) bileşen bazında incelendiğinde, modüllerin 265.431 kg CO<sub>2</sub>, sehpa için 15.264 kgCO<sub>2</sub> ve invertörlerin 1.044 kgCO<sub>2</sub> emisyonu neden olduğu görülmektedir. Bu bulgular, toplam emisyonların %93'ten fazlasının modüllerin üretim aşamasından kaynaklandığını ortaya koymaktadır. Yıllık %1'lik degradasyon göz önüne alındığında, sistem, Türkiye'nin 2053 yılına kadar net sıfır emisyon hedefine ulaşma çabalarına anlamlı bir katkı sunmaktadır. Önlenen 3543,4 ton CO<sub>2</sub> emisyonu, ortalama bir otomobilin yıllık 2-3 ton CO<sub>2</sub> emisyonu ürettiği varsayımıyla yaklaşık 1477 otomobilin yıllık emisyonuna eşdeğer bir tasarruf sağlamaktadır. Bu miktar, Türkiye'nin enerji sektörünün dekarbonizasyonu, emisyon azaltım hedeflerine ulaşılması, sürdürülebilir kalkınmanın desteklenmesi ve teknolojik inovasyonun teşvik edilmesi bağlamında kritik bir rol oynamaktadır. Sonuç olarak, bu tür projelerin yaygınlaştırılması, Türkiye'nin iklim değişikliğiyle mücadele ve sürdürülebilir bir gelecek inşa etme

hedeflerine ulaşması açısından stratejik bir öneme sahiptir.

#### 4. Sonuçlar ve Tartışma

Hatay ili Kırıkhan ilçesinde bulunan bir kamu kurumu binası için çatı tipi güneş enerji santrali (GES) tasarımı, PVsyst 7.4.5 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan sistem, 216 kWp nominal güce sahip olup, toplamda yılda 352.043 kWh enerji üretimi öngörmektedir. Sistem performans oranı (PR), bir güneş enerji sisteminin gerçek çıktısının teorik potansiyeline kıyasla ne kadar verimli çalıştığını gösteren bir ölçüttür. Bu çalışmada, sistemin performans oranı %81,2 olarak hesaplanmıştır. Bu oran, sistemin optimum performans seviyesine yakın bir şekilde çalıştığını ve enerji üretiminde verimli bir performans sergilediğini göstermektedir. Tasarlanan sistemin çevresel etkileri incelendiğinde, üretilen enerjinin, 489 gCO<sub>2</sub>/kWh emisyon faktörüne sahip şebeke enerjisine alternatif olarak kullanılmasıyla, 25 yıllık ömrü boyunca 3543,4 ton CO<sub>2</sub> emisyonunun önlemediği tespit edilmiştir. Bununla birlikte, sistemin üretim, kurulum ve işletim aşamalarından kaynaklanan toplam CO<sub>2</sub> emisyonu 281,74 ton olarak hesaplanmıştır. Yaşam döngüsü emisyonlarının bileşen bazlı analizi, modüllerin 265.431 kgCO<sub>2</sub>, sehpaların 15.264 kgCO<sub>2</sub> ve invertörlerin 1.044 kgCO<sub>2</sub> emisyonu neden olduğunu göstermiştir. Modüllerin toplam emisyonlardaki %93'lük payı, çevresel iyileştirme çalışmalarında odak noktasının bu bileşene yönelik olması gerektiğini ortaya koymaktadır. Sistem, 2022 yılında bina tarafından tüketilen toplam 241.585 kWh elektrik enerjisinin %145,7 oranında fazlasını üreterek, büyük çapta kendi ihtiyacını karşılayabildiğini ve fazla enerjinin şebekeye aktarılabilceğini göstermiştir. Simülasyon sonuçlarına göre, sistem tasarımı hem mevcut enerji ihtiyacını karşılayabilecek düzeydedir hem de ihtiyaç fazlası elektrik üretimiyle ekonomik bir kazanç sağlamaktadır. Yıllık %1'lik degradasyon oranı dikkate alındığında bile, sistemin uzun vadede bina enerji ihtiyacını karşılama kapasitesini koruduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, sistemin bina ölçeğinde sürdürülebilir bir enerji çözümü sunduğunu doğrulamaktadır. Ekonomik analizler, sistemin toplam kurulum maliyetinin 3.593.350 TL olduğunu ortaya koymuştur.

Tasarlanan sistemin ekonomik analizine göre, yatırımın geri ödeme süresi 4,2 yıl olup, bu süre makul bir yatırım geri dönüş süresi olarak değerlendirilebilir. Net Bugünkü Değerin (NBD) 17.898.103 TL olması, yatırımın finansal açıdan kârlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca, %23,81'lik İç Karlılık Oranı (İKO), yatırımın iskonto oranından daha yüksek bir getiri sunduğunu ortaya koymaktadır.

%498,1'lik Yatırımın Geri Dönüşü (ROI) ise yatırımın oldukça verimli olduğunu ve yüksek kârlılık sunduğunu göstermektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde, bu ekonomik göstergeler, yatırımın finansal açıdan avantajlı ve uygulanabilir olduğunu desteklemektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma ile Hatay ilindeki iklim şartları ve enerji ihtiyacına uygun bir çatı üstü güneş enerji sistemi tasarımı başarıyla gerçekleştirilmiştir. Sistemin hem ekonomik hem de çevresel performansı, bölge özelinde diğer yapılara uygulanabilecek bir model sunmaktadır. Simülasyon sonuçları, tasarımın ilgili binanın enerji ihtiyacını karşılama konusunda oldukça uygun olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, benzer projelerin ülke genelinde yaygınlaştırılması, sürdürülebilir enerjiye geçişi hızlandıracak ve Türkiye'nin yenilenebilir enerji hedeflerine ulaşmasında önemli bir adım olacaktır.

#### Etik Standartlar Bildirgesi

Bu çalışma Doç.Dr. Ahmet YÖNETKEN danışmanlığında 30.01.2025 tarihinde sunduğumuz Çatı Tipi Güneş Enerji Santrali Tasarımı, Ekonomik ve Çevresel Analizi (Hatay İli Örneği) başlıklı yüksek lisans tezi esas alınarak hazırlanmıştır

Bu çalışmanın hazırlanma sürecinde bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan olunur.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

#### Yazarlık Katkı Beyanı

Yazar 1: Kaynaklar, Araştırma, Deney, Yazma – orijinal taslak  
Görselleştirme, Yazma – orijinal taslak

Yazar 2: Kaynaklar, Araştırma, Deneyleme, Biçimsel analiz, Doğrulama, Metodoloji, Görselleştirme, Yazma – orijinal taslak

#### Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

#### 5. Kaynaklar

Akarslan, E., ve Hocaoglu, F. O., 2018. Bir Fotovoltaik Güç Sisteminin Üretiminden Çok Boyutlu Tahmin Filtreleri ile Modellenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, **18(2)**, 516-522.

Akcan, E., Kuncan, M., ve Minaz, M. R. 2020. PVsyst Yazılımı ile 30 kW Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemin Modellenmesi ve Simülasyonu. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi (**18**), 248-261.  
<https://doi.org/10.31590/ejosat.685909>

Aytekin, A., 2005. Yatırım Projelerinin Bilgisayar Paket Programı ile Değerlendirilmesi. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, **7(7)**, 62-71.

Batmaz, T., Bayraç, H. N., ve Güllü, M., 2019. Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Büyüme ve Karbon

- Emisyonu ilişkisi. Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, **6(3)**, 645-658.
- Birpınar, M. E., 2022. Küresel Sorun: İklim Değişikliği "Gelişimi, Uluslararası Müzakereler ve Türkiye. Çevre Şehir ve İklim Dergisi, **1(1)**, 20-36.
- Bulut, N., Kuncan, M. ve Horoz, S., 2018. Türkiye'de güneş enerjisinin kullanım alanları ve Siirt güneş enerji potansiyeli. Ahtamara 1. Uluslararası Multidisipliner Çalışmalar Kongresi. Gevaş, Van, 1315-1319.
- Cesur Durmaz, B., ve Üçgül, İ., 2024. Türkiye Kıyı Bölgelerinde Yenilenebilir Enerji Santrali Uygulamaları İçin: Hibrit Yüzer Modüler Tasarım Önerileri. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, **24(4)**, 866-883. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.1404846>
- Çınaroğlu, H., 2023. Bağımsız Bir Fotovoltaik Sistemin Pvsyst Yazılımı Kullanılarak Tasarımı ve Simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilecik, 99.
- Çiftçi, S., Solak, M., and Kuncan, M., 2020. Powered by the sun: designing and analyzing technical and economic aspects of a school sustained by photovoltaics. Journal of Mechatronics and Artificial Intelligence in Engineering, **1(1)**, 21-32.
- Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği, 2019, T.C Resmî Gazete, 12.05.2019,30772.
- Erdoğan, S., 2020. Enerji, Çevre ve Sera Gazları. Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, **10(1)**, 277-303. <https://doi.org/10.18074/ckuiibfd.670673>
- EÜAŞ, 2023. Elektrik Üretimi ve Ticareti Sektör Raporu 2023, Ankara.
- Gündüz, M.S., 2019. Bir Fotovoltaik Güneş Enerji Santralinin Tekno-Ekonomik Analizi; Kütahya-Simav Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 109.
- Gürtepe, E., ve Birpınar, M. E., 2023. Türkiye Yüzyılında Sürdürülebilir Çevre. Çevre Şehir ve İklim Dergisi, **2(3)**, 1-22.
- Hamza Çelikyay, H., ve Küçük Bayraktar, H., 2023. İklim Politika Belgelerinde İklim Dostu Kentler ve Dirençlilik Stratejileri. Humanitas-Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi, **11(İNCOSOS VIII Özel Sayısı)**, 87-107. <https://doi.org/10.20304/humanitas.1272124>
- Ismahane, S. Z., Zohra, A. F., Mouhoub, B., Mahammedi, N. A., and Bechouat, M., 2023. Sizing And Techno-Economic Analysis of a Photovoltaic Solar System for a Primary School Using PVSYST. In 2023 2nd International Conference on Electronics, Energy and Measurement (IC2EM) Vol. 1, pp. 1-6. IEEE. <https://doi.org/10.1109/IC2EM59347.2023.10419605>.
- Karakaya, E., 2016. Paris İklim Paylaşımı: İçeriği ve Türkiye Üzerine Bir Değerlendirme. Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, **3(1)**, 1-12. <https://doi.org/10.30803/adusobed.188842>
- Kılınç, E. C., ve Altıparmak, H., 2020. Çevre Vergilerinin CO<sub>2</sub> Emisyonu Üzerindeki Etkisi Üzerine Bir Uygulama. Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi, **10(1)**, 217-227.
- Kırnapçı, S. ve Pamuk, N., 2024. Hanönü (Kastamonu) Güneş Enerjisi Santralinin Farklı Simülasyon Programları ile Tasarımı ve Elektrik Enerjisi Üretim Sonuçlarının Değerlendirilmesi. Karadeniz Mühendislik ve Bilim Dergisi, **7(3)**, 529-538. <https://doi.org/10.34248/bsengineering.1460518>
- Koç, E., ve Kaya, K., 2015. Enerji Kaynakları-Yenilenebilir Enerji Durumu. Mühendis ve Makina, **56(668)**, 36-47.
- Martin, K., 2024. Elbistan Meslek Yüksekokulu Çatı Üstü Güneş Enerjisi Santrali Kurulum Simülasyonu: Performans Analizi. KİÜ Fen, Mühendislik ve Teknoloji Dergisi, **1(1)**, 33-42.
- Mishra, P. R., Rathore, S., and Jain, V., 2024. Pvsyst Enabled Real Time Evaluation of Grid Connected Solar Photovoltaic System, International Journal of Information Technology, **16(2)**, 745-752. <https://doi.org/10.1007/s41870-023-01677-x>
- Öztürk, B., Akyazı, Ö., Şahin, M. ve Yılmaz, G., 2023. Şebeke Bağlantılı Güneş Enerji Santrali'nin Modellenmesi ve Simülasyon Analizi: Ağrı/Çukurçayır Köyü 999 kW Güneş Enerjisi Santrali Örneği. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, **13(4)**, 1623-1647. <https://doi.org/10.31466/kfbd.1327312>
- Pala, A., 2018. Gelişmekte Olan Ülkelerde Enerji Tüketimi, Karbon Emisyonu ve Ekonomik Büyüme İlişkisinin ARDL Yaklaşımı ile İncelenmesi. Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi, **14**, 1-29.
- Sancar, M. R., ve Altınkaynak, M., 2021. Isparta İli İçin Farklı Çatı Tiplerinde Tasarlanan Fotovoltaik Sistemlerin Karşılaştırılması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi **(32)**, 1024-1028. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1047453>
- Sarı, V., ve Özyiğit, F. Y., 2020. Sivas İlinin Farklı İlçelerinde Şebeke Bağlantılı Güneş Enerji Santrallerinin Tasarımı ve Analizi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi **(20)**, 425-437. <https://doi.org/10.31590/ejosat.797434>
- Şahin, Z. R., 2024. Gerçekten Sanala: 1 Mwp Güneş Santralinin Pvsyst Simülasyon Programıyla Performans Analizi. Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, **11(23)**, 203-215. <https://doi.org/10.54365/adyumbd.1471211>

TEİAŞ 2023, Türkiye Elektrik Üretim-İletim İstatistikleri 2023, Ankara.

Yalılı Kılıç, M. ve Kurtaran, M., 2024. Sürdürülebilir Enerji Üretimi İçin Fotovoltaik Sistem Tasarımı ve PVsyst Programı ile Simülasyonu: Bursa İli Örneği. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, **11(1)**, 239-248. <https://doi.org/10.30910/turkjans.1333711>

Yalılı, M., 2021. Lisanslı fotovoltaik güneş enerji santrali yatırımının finansal analizi: Van ili örneği. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, **10(3)**, 1055-1074.

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun, 2005, T.C Resmî Gazete, 18.05.2005,25819.

Yıldırım, H. H., ve Aksu, M., 2021. Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Santral Yatırımlarının Ekonomik Performanslarının Değerlendirilmesi. Uluslararası Bankacılık Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi, **4(1)**, 53-75. <https://doi.org/10.52736/ubeyad.933756>

### **5.1 İnternet Kaynakları**

- 1- [https://ytbsbilgi.teias.gov.tr/ytbsbilgi/frm\\_istatistikler.jsf](https://ytbsbilgi.teias.gov.tr/ytbsbilgi/frm_istatistikler.jsf) (18.01.2025)
- 2- <https://seffaflik.epias.com.tr/electricity/renewables-support-mechanism/licensed-generation-amount/real-time-generation> (19.01.2025)
- 3- İklim Şurası Sonuç Bildirgesi, <https://iklimsurasi.gov.tr/sayfa/sonuc-bildirgesi>, (20.09.2024)
- 4- <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik> (19.01.2025)
- 5- Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA), <https://gepa.enerji.gov.tr/pages/31.aspx>, (25.09.2024)
- 6- Kırıkkhan Meslek Yüksekokulu uydu görüntüsü, Google Maps, (25.08.2024)
- 7- <https://solaravm.com/> (19.01.2025)