



# Analysis of Electric Power Generation, Financial Assessments and Environmental Impacts of Rooftop Solar Energy Application of an Industrial Facility Using PVsyst Simulation: Example of Ankara

Ahmet ÇOŞGUN<sup>1,\*</sup>, Yasin ASLAN<sup>2</sup>, Afşin GÜNGÖR<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Bilim dalı Kampüsü, Antalya, Türkiye

<sup>2</sup> TRT Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye

<sup>3</sup> Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü Enerji Bilim Dalı, Kampüsü, Antalya, Türkiye

## ARTICLE INFO

2026, vol. 46, no.1, pp. 28-38  
©2026 TIBTD Online.  
doi: 10.47480/isibtbd.1645090

### Research Article

Received: 22 February 2025

Accepted: 04 April 2026

\* Corresponding Author

e-mail: [acoskun@akdeniz.edu.tr](mailto:acoskun@akdeniz.edu.tr)

### Keywords:

Solar energy  
Electric generation  
Financial analysis  
CO2 emission

### ORCID Numbers in author order:

0000-0002-0243-5476

009-0006-0844-2120

0000-0002-4245-7741

## ABSTRACT

The negative environmental and economic impacts of fossil fuels have made it essential to meet energy supply from renewable energy sources, especially in recent years. Among renewable energy sources, the popularity of solar energy is increasing day by day due to its ease of application and short payback periods. One of the common solar energy applications is rooftop solar energy systems. In this study, a grid-connected rooftop solar energy application was simulated using PVsyst software, utilizing the electricity consumption data of a textile manufacturing factory with a closed area of 5,000 m<sup>2</sup> in the Gaziosmanpaşa neighborhood of Ankara province and considering its geographical location. Taking into account array losses, DC cabling, and system losses, the performance ratio was found to be 77.73%. It has been calculated that 1,002,928 kWh/year of electricity can be generated with the system installed at the facility, which consumes a total of 674,099 kWh/year of electricity. Considering the inflation data of the last two years, with an annual inflation rate of 30% and taking electricity generation into account, it has been determined that the profit to be obtained from the system after 20 years will be 36,406,905 USD. As a result of the environmental impact analysis of the system, it has been calculated that a total of 12,362.1 tons of CO<sub>2</sub> emissions can be prevented during the 30-year operational period.

# Endüstriyel Bir Tesisin Çatı Güneş Enerjisi Uygulamasının Elektrik Enerjisi Üretimi, Finansal Değerlendirmeleri ve Çevresel Etkilerinin PVsyst Simülasyonu Kullanılarak Analiz Edilmesi: Ankara Örneği

## MAKALE BİLGİSİ

### Anahtar Kelimeler:

Güneş enerjisi  
Elektrik üretimi  
Finansal analiz  
CO2 emisyonu

## ÖZET

Fosil yakıtların çevresel ve ekonomik anlamda olumsuz etkileri, enerji arzının yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması özellikle son yıllarda zaruri hale getirmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde uygulama kolaylığı ve amortisman sürelerinin kısa olmasından kaynaklı güneş enerjisinin popülerliği günden güne artmaktadır. Yaygın güneş enerjisi uygulamalarından biri de çatı güneş enerji sistemleridir. Bu çalışmada, Ankara ili Gaziosmanpaşa mahallesinde tekstil üzerine imalat yapan 5.000 m<sup>2</sup> kapalı alana sahip bir fabrikanın elektrik tüketim verileri kullanılarak ve coğrafi konumu göz önünde bulundurularak PVsyst yazılımı ile şebekeye bağlı çatı güneş enerjisi uygulamasının simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Dizi, DC kablolu ve sistem kayıpları göz önünde bulundurulduğunda performans oranı %77,73 olarak bulunmuştur. Toplam 674.099 kWh/yıl elektrik tüketimi gerçekleştirilen tesiste kurulan sistemle beraber 1.002.928 kWh/yıl elektrik üretimi yapılabileceği hesaplanmıştır. Son iki yılın enflasyon verileri göz önünde bulundurularak yıllık %30 enflasyon ve elektrik üretimi göz önünde bulundurularak 20 yıl sonra sistemden elde edilecek karın 36.406.905 USD olacağı tespit edilmiştir. Sistemin çevresel etki analizi sonucunda, 30 yıllık işletme süresince toplam 12.362,1 ton CO<sub>2</sub> emisyonu önleyebileceği hesaplanmıştır.

## SEMBOLLER

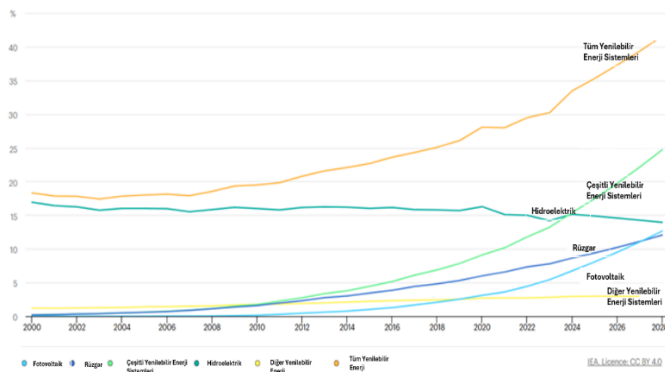
İt	t yılındaki yatırım maliyetleri
Mt	t yılındaki işletme-bakım maliyetleri
Ft	t yılındaki yakıt maliyetleri
Et	t yılındaki elektrik üretimi

## GİRİŞ

Enerji, insanlık var olduğundan beri toplumların ve uygarlıkların gelişimi adına oldukça önemli bir noktada yer almıştır. 20. yüzyılın ortalarındaki Dijital Devrim ve 1970'lerin başındaki petrol krizinden bu yana da, enerjiye yönelik küresel talepte sistematik bir artış yaşanmaktadır (Igliński vd., 2016). Enerji arzı petrol, kömür, doğal gaz gibi yenilenemeyen enerji kaynakları ya da güneş, rüzgar, jeotermal, biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynakları vasıtasıyla karşılanmaktadır. Ancak fosil yakıtlar olarak da adlandırılan yenilenemeyen enerji kaynaklarının doğada homojen bir formda bulunmaması, önümüzdeki 133 yıl içerisinde tüketilecek olması, her şeyden önce yüksek sera gazı emisyonu gibi çevresel boyutta tehlike arz etmelerinden ötürü yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmış ve bu alandaki teknolojinin hızlıca gelişimini tetiklemiştir (Abed vd., 2025). Öyle ki dünya genelinde 2023-2028 yılları arasında 3.700 GW yeni kapasite eklenerek ilk ticari yenilenebilir enerji santrali kurulumundan bu yana kurulan kapasiteden daha fazla kapasite kazandırılacağı öngörülmektedir.

Şekil 1.1'den de görüldüğü üzere 2028 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarının küresel enerjideki üretim oranı %42 seviyelerine çıkacaktır (IEA, 2024).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji piyasasındaki giderek yükselen pazar payına en yüksek katkıda bulunacak enerji kaynakları ise başlıca olarak rüzgar ve güneş enerjisidir. Bunun sebebi her iki kaynağın da yeryüzünde bol miktarda olması, kurulum maliyetlerinin gelişen teknolojiyle birlikte düşmesi ve buna bağlı amortisman sürelerinin kısalması, çevre dostu enerji kaynakları olması olarak sıralanabilir.



Şekil 1.1 Teknolojiye Göre Yenilenebilir Elektrik Üretim Payı, 2020-2028 (IEA, 2024)

Sürdürülebilir ve güvenli enerji sağlamanın yollarından biri olan güneş enerji sistemleri, teknolojik gelişmelerle desteklenerek uygulama alanlarını genişletmektedir. Güneş enerjisi uygulamaları ile ilgili literatürde oldukça fazla araştırma ve analiz gerçekleştirildiği görülmüştür.

İsviçre Cenevre Üniversitesi tarafından geliştirilip piyasaya sunulan, on-grid ve off-grid fotovoltaik sistem tasarımlarının yapılabildiği simüle edildiği ve bu sayede bazı

r	İskonto oranı (%8)
t	Zaman periyodu
İt	t yılındaki yatırım maliyetleri

analizlerin de gerçekleştirilebildiği PVsyst yazılımı ile ilgili pek çok bilimsel araştırma yapılmıştır. Son zamanlarda yapılan bu çalışmalardan bazıları Tablo 1.1'de verilmiştir.

Tablo 1.1 PVsyst İle İlgili Yapılmış Bazı Çalışmalar.

Çalışılan Konu	Temel Sonuçlar	Yazar
Türkiye'de güneş enerjisi potansiyelinin analizi	Güç kayıplarının başlıca nedeni yüksek sıcaklıktır. Türkiye'de PV sistemler için en makul bölgeler İç Anadolu ve Doğu Anadolu'dur.	Akyazı ve ark., 2024
Güneş enerjisi ile çalışan çim biçme makinesinin simüle edilmesi	Kompakt boyutta ve taşınabilir güneş enerjisiyle çalışan bir makine tasarlanmıştır. Yakıt maliyeti ortadan kalkmıştır.	Behera ve ark., 2022
Afganistan Daikundi'de on-grid 700KWp fotovoltaik sistemin tasarımı ve performans analizi	Sistem ömrü 1.266 Mwh/yıl ve performans oranı 0,79 olarak hesaplanmıştır. Sistem kayıpları 10 kWh/kWp/gün olarak bulunmuştur.	Baqir ve Channi, 2022
Cezayir'in M'sila bölgesinde bir apartmanın 12,6 kW'lık güneş enerji sisteminin tasarımı	Günlük elektrik tüketimi ve şebekeye verilen enerji miktarı hesaplanmıştır. Kayıpların büyük çoğunluğunun fotovoltaik alan kaybından ötürü olduğu tespit edilmiştir.	Salmi ve ark., 2022
50 MW şebeke bağlantılı PV+enerji depolama sisteminin simülasyon testi	Sistemin üçüncü işletme yılından sonra kar edebileceği ve 1.121.310,388 ton CO2 emisyonu azaltacağı hesaplanmıştır.	Wang ve ark., 2024
5 MWp'lik bir çatı PV santralinin güç üretim analizinin simülasyonu	Simüle edilen ve gerçek sistem verimleri arasında oldukça benzerlik olduğu tespit edilmiştir. Bu da PVsyst yazılımının güvenilirliğini ortaya koymuştur.	Mishra ve ark., 2024
Dammam'da şebeke bağlı bir PV sistemin tasarımı ve finansal analizi	%82,3 gibi yüksek performans oranı ile çalışan sistemin geri ödeme süresi yaklaşık 7 yıl olarak hesaplanmıştır. Sistemde toplam 1.920 adet panel kullanılmıştır.	Ayousha ve Abdullah, 2022
Gazni'de bir çatı PV sistemin tasarım ve ekonomik analizi	İlk sermaye maliyeti 5.213 ABD doları olarak tespit edilmiş olup sistemin geri ödemesi 6,3 yıl ve %457'lik yatırım getirisi olduğu hesaplanmıştır.	Serat ve ark., 2023
Kupang'da 4 MW'lık bir açığı ekonomik ve optimum GES	GES seviyesi, arazi mevcudiyeti ve şebeke yakınlığı için seçilen 28.360	Saputri ve ark., 2024

konfigürasyonunun belirlenmesi	m <sup>2</sup> 'lik bir alanda istikrarlı gece elektriği sağlanabileceği ve 7.200 ton CO <sub>2</sub> emisyonu azaltılabileceği ölçülmüştür.	
Kurulu gücü 1.179 MWp olan bir santralin simülasyonunun gerçek değerlerle karşılaştırılması	Enerji üretim değerleri arasında %0,2 kadar sapma olduğu gözlemlenmiştir. Bu yakınlık PVsyst yazılımının yüksek doğrulukta sonuçlar ortaya koyduğunun göstergesidir.	Şahin, 2024
Kastoria ve Kocaeli'ndeki iki farklı çatı GES uygulamasının enerji üretiminin kıyaslanması	Kastoria'daki tesisin performans oranı %8 daha iyi ancak Kocaeli'deki tesisin iç getiri oranı %0,30 daha fazla hesaplanmıştır.	Cura ve ark., 2022
Babil şehrindeki bir okul için on-grid PV sisteminin tasarımı	198 m <sup>2</sup> 'lik bir alanda 90 panel ve 3 eviriciden oluşan bir sistemin 70,23 MWh'lik net çıkış enerjisi üreteceği ve 25 yıllık proje boyunca net 20.000 USD kar elde edileceği hesaplanmıştır.	Sarhan, 2024
Senegal'deki Bambey DIOP Üniversitesi'nin elektrik ihtiyacının karşılanması için 67,2 kWp'lik bir Si-poly PV sisteminin simülasyonu	111,287 MWh/yıl DC enerjisi üretileceği, bunun 108,980 MWh/yıl AC enerjisinin şebekeye verileceği ve performans oranının %81,5 olacağı bulunmuştur.	Toure ve ark., 2024
Afganistan'ın Ghorilinde 5 MW'lık on-grid güneş enerjisi sisteminin üç farklı yazılım aracı kullanılarak simüle edilmesi	PVsyst sonuçları PVGIS ve HOMER'den daha fazla güç üretimi olacağına işaret etmiştir. PVsyst ile HOMER arasında %2'lik fark tespit edilmiştir.	Mohammed ve Gezezin, 2022
Sabit eksenli veya çift eksenli takip sistemi kullanıldığında Konya'daki güneş enerjisi potansiyelinin analizi	Çift eksenli sistemin sabit eksenli sisteme nazaran %16,7 daha fazla elektrik üreteceği sonucuna varılmıştır.	Etc ve Kocalmış Bilhan, 2021
Güneş ışınımı, rüzgar hızı ve diğer meteorolojik verilere dayanarak 20 kW'lık on-grid PV sisteminin performans analizi	96 adet 355 Wp monokristal güneş paneli konumlandırılarak toplam 517 MWh/yıl enerji üretimi gerçekleştirileceği hesaplanmıştır.	Mahmood ve ark., 2023.
SAM, PVWatts, PVsyst ve PV*Sol yazılımlarının ölçülen verilerle doğrulanması	Tüm yazılımlar yıllık ±%8 hata payı içinde sonuç üretmiştir.	Freeman ve ark., 2014
Ibn Tofail Üniversitesi'ndeki 4 farklı PV sistemin gerçek verim ve PVsyst simülasyon karşılaştırması	Ibn Tofail Üniversitesi'ndeki 4 farklı PV sistemin gerçek verim ve PVsyst simülasyon karşılaştırması	Ait Omar ve ark., 2024
ABD Güneybatı'daki büyük ölçekli PV tesisi için enerji modeli doğrulaması	PVsyst yıllık bazda beklenen ölçüm hatası marjı içinde performans göstermiştir.	Cameron ve ark., 2014 (IEEE)

Literatür çalışmaları incelendiğinde, PVsyst yazılımının güneş enerjisi uygulamaları için güvenilir sonuçlar ürettiği çok sayıda doğrulama çalışmasıyla ortaya konmuştur. NREL (National Renewable Energy Laboratory) tarafından yayımlanan kapsamlı doğrulama çalışmasında, PVsyst dahil dört farklı yazılımın yıllık hata paylarının ±%8 içinde kaldığı tespit edilmiştir (Freeman vd., 2014). Benzer şekilde, simüle edilen ve gerçek sistem verimleri arasında yüksek benzerlik olduğu (Mishra vd., 2024), enerji üretim değerleri arasında yalnızca %0,2 sapma bulunduğu (Şahin, 2024) raporlanmıştır.

Ibn Tofail Üniversitesi'ndeki dört farklı PV sistemde yapılan karşılaştırmalı analizde de PVsyst sonuçlarının gerçek üretim değerleriyle tutarlı olduğu doğrulanmıştır (Ait Omar vd., 2024). Bu bulgular, PVsyst yazılımının endüstriyel ölçekli projelerde güvenilir bir tasarım aracı olarak kullanılabilmesini desteklemektedir.

**Tablo 2.2** Konut, Ticari ve Endüstriyel Çatı GES Uygulamalarının Karşılaştırması.

<i>Parametre</i>	<i>Konut (R)</i>	<i>Ticari (C)</i>	<i>Endüstriyel (I)</i>
Tipik Kurulu Kapasite	5–20 kW	100 kW–1 MW	1–10 MW
Tipik Çatı Alanı	20–50 m <sup>2</sup>	500–1.000 m <sup>2</sup>	1.000–22.000+ m <sup>2</sup>
Çatı Tipi	%92 eğimli	Düz/eğimli karma	%85+ düz
İç Getiri Oranı (IRR)	%9,9–15,9	%14,6–19,2	%14,6–19,2
İç Getiri Oranı (IRR)	8–16 yıl	6–11 yıl	6–11 yıl
Geri Ödeme Süresi (DPBP)	%30–50	%70–90	%70–90
Öz Tüketim Oranı	731 GW	154 GW	201 GW
Teknik Potansiyel (ABD)			1–10 MW

Tablo 2.2, çatı üstü güneş enerjisi sistemlerinin bina kullanım türüne göre temel teknik ve ekonomik farklılıklarını özetlemektedir. Konut tipi sistemler düşük kurulu güç kapasitesi (5–20 kW) ve sınırlı çatı alanı (20–50 m<sup>2</sup>) ile karakterize edilirken, öz tüketim oranlarının düşük kalması (%30–50) nedeniyle ekonomik performansları ticari ve endüstriyel sistemlere kıyasla daha zayıf kalmaktadır (Lang vd., 2016).

Ticari ve endüstriyel binalar ise geniş düz çatı alanları sayesinde daha yüksek kurulu güç kapasitelerine ulaşabilmekte, gündüz saatlerinde yoğunlaşan enerji tüketim profilleri ile öz tüketim oranlarını %70–90 seviyelerine çıkarabilmektedir. Bu durum, söz konusu bina türlerinde iç getiri oranının %14,6–19,2 aralığına yükselmesine ve geri ödeme süresinin 6–11 yıla kısalmasına olanak tanımaktadır (Fu vd., 2018). ABD genelinde yapılan teknik potansiyel değerlendirmesine göre, küçük ölçekli binalar toplam kurulu güç potansiyelinin %65'ini oluştururken, orta ve büyük ölçekli binalar sırasıyla %14 ve %18 pay almaktadır (Gagnon vd., 2016). Kentsel alanlarda ticari ve endüstriyel binaların uygun çatı alanlarının tipik olarak 500–1.000 m<sup>2</sup> arasında yoğunlaştığı ve önemli bir kısmının 1.000 m<sup>2</sup>'yi aştığı raporlanmıştır (Bódis vd., 2019).



sıra yüksek sıcaklık gibi verimin düşmesini tetikleyen durumlar Ankara'da olmadığından, düz arazi koşulları GES için uygun olduğundan Ankara'da güneş enerjisi uygulamalarının artması gayet olağan olacaktır.

## Sistem Girdileri ve PVsyst Simülasyonu

Sistem, Ankara'da tekstil imalatı yapan bir fabrikaya ait elektrik tüketiminin şebekeye bağlı çatı GES uygulaması ile karşılanması ve ilk 20 yıla ait finansal analiz gerçekleştirilmesini içermektedir. Fabrikanın tükettiği toplam enerji 674.099 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu noktada Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği, tüketilen enerji kadar elektrik üretim satışı yapılacağını beyan ettiğinden simülasyon hedefleri bu yönetmeliğe göre belirlenmiştir (ETKB, 2024).

Ankara ili Gaziosmanpaşa Mahallesi'nde 39.08°N enleminde, 32.56°E boylamında 781 m rakımlı alanda yapılan çalışmada hava durumu verileri Meteonorm'dan alınmıştır (Meteonorm, 2025). Yüzeyin yansıtma etkisi olan albedo oranı, çatı GES uygulaması için kritik bir parametredir. İncelenen endüstriyel tesisin çatı kaplaması trapez galvanizli çelik sac oluşmaktadır.

### Çatı Malzemesi Özellikleri:

- Malzeme: Trapez galvanizli çelik sac
- Yüzey işlemi: Çinko kaplama (Z275)
- Renk: Doğal galvaniz gri
- Yaş: Yaklaşık 15 yıl (2009 yapımı)

### Albedo Değer Belirlenmesi:

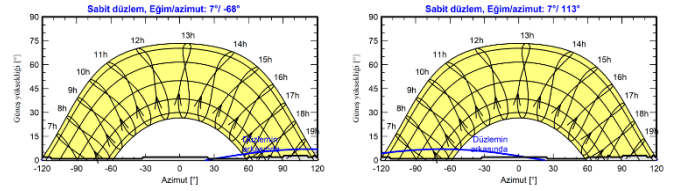
- Galvanizli çelik için literatür aralığı: 0,15-0,30
- Yaşlanma etkisi dikkate alındığında: 0,18-0,25 (Freeman vd., 2014)
- Seçilen değer: 0,20 (konservatif yaklaşım)
- Bifacial panel kullanılmadığından arka yüz albedo etkisi hesaplamalara dahil edilmemiştir.

### Panel Çalışma Sıcaklığı Hesaplama Metodolojisi:

- Referans sıcaklık: 25°C (STC - Standart Test Koşulları)
- Monokristal silikon paneller için sıcaklık katsayısı: -0,45%/°C -
- Ankara ortalama hava sıcaklığı: 12°C (1923-2023 MGM verileri)
- Hesaplanan ortalama panel çalışma sıcaklığı: 35°C

Kullanılan monokristal silikon panelin sıcaklık katsayısı üretici veri sayfasına göre -0,45%/°C'dir. Buna göre 10°C'lik sıcaklık artışı için %4,5 seviyesinde güç kaybı hesaplanmıştır.

Bu değer seçimi, çatı malzemesinin özelliklerine ve yaşına uygun olup, literatür referansları ile desteklenmektedir. Yüzeyin yansıtma etkisi olan albedo oranı, çatı GES uygulaması için paneller tek yüzlü olduğundan, sektörel tecrübelerle dayanarak 0.20 alınmıştır. Azimut açısı, panelin bulunduğu çatının dünyanın eksenine göre kuzeyde yaptığı açı anlamına gelmekte ve çatı GES uygulamaları için hem rüzgar yükü hem de optimum enerji verimliliği için oldukça önem arz etmektedir (Govindasamy ve Kumar, 2023a). Uygulama çift yönlü yapılacağından iki yönlü ufuk düzlemi belirlenmiştir. PV paneller konumu da hesaba katılarak Şekil 2.2'de gösterildiği üzere bir yönde 7°/-68° ve diğer yönde 7°/113° olacak şekilde optimize edilmiş ve konumlandırılmıştır.



Şekil 2.2. Güneş Yörüngesi (Yükseklik/Azimut) Diyagramı

Panel seçimi yapılırken performans oranının düşmemesi adına potansiyel kaynaklı bozulmalara dirençli anti-PID özellikli panel olmasına dikkat edilmiştir. İlgili bölgede şebeke bağlantı kapasitesi 550 kWac ile sınırlandırılmıştır. DC akımı AC akıma çeviren invertör (evirici) seçimi tasarım için oldukça önemli bir rol oynamaktadır (Govindasamy ve Kumar, 2023a).

Şebeke bağlantılı bir sistem olması, seçilen panellere uygunluğu, bağlantı modeli ve maksimum verim parametreleri göz önünde bulundurulduğunda birim gücü 100 kWac olan 6 adet Huawei Technologies marka SUN2000-100KTL-M1-400Vac model invertör kullanılmasına karar verilmiştir (Huawei Technologies, 2025).

Piyasada mevcut standart evirici boyutları dikkate alındığında, 550 kWac şebeke sınırını tam karşılayan pratik bir kombinasyon bulunmadığından toplam 600 kWac evirici kapasitesi tercih edilmiş olup, şebeke çıkış sınırına uyum evirici yazılım ayarları aracılığıyla sağlanmaktadır. Sistemin minimum 20 yıl kullanılacağı hedeflendiğinden satın alınacak panelin en az 15 yıl ürün ve 25 yıl lineer performans garantisi sunması beklenerek tercih parametrelerine eklenmiştir.

## Panel Teknolojisi Maliyet-Fayda Analizi

Monokristal panel seçiminin ekonomik gerekçelendirilmesi için, literatürde raporlanan ortalama değerler ve 2024 yılı küresel piyasa verileri kullanılarak kapsamlı bir teknoloji karşılaştırması yapılmıştır:

Tablo 2.1. Maliyet-Fayda Analizi

Teknoloji	Birim Fiyat	Verim	25 Yıl Üretim	Toplam Maliyet
Monokristal Si	0,25 USD/Wp	%22	25.200 kWh	385.000 USD
Polikristal Si	0,22 USD/Wp	%20	22.800 kWh	339.000 USD
Thin-film CdTe	0,20 USD/Wp	%18	20.500 kWh	308.000 USD

Not: Verimlilik ve maliyet değerleri genel literatür ortalamalarına dayanmaktadır [IRENA Renewable Cost Database, 2024]. Tablodaki 0,25 USD/Wp değeri küresel ortalama üretici fiyatını temsil etmektedir. Ancak bu çalışmadaki finansal analizde, Türkiye'ye özgü ithalat, gümrük, nakliye ve yerel tedarik maliyetleri dahil edilerek 550 Wp panel için birim maliyet 200 USD (0,36 USD/Wp) olarak alınmıştır. Lokasyona özgü üretim değerleri PVsyst simülasyonu ile ayrıca hesaplanmıştır.

### Seçim Kriterleri ve Değerlendirme

- Alan Kısıtı: 5.000 m<sup>2</sup> sınırlı çatı alanında maksimum güç yoğunluğu
- Uzun Vadeli Verimlilik: %22 verim ile maksimum enerji hasadı
- Degrasyon Oranı: Monokristal Si için %0,4/yıl (en düşük)
- Garanti Koşulları: 25 yıl lineer performans garantisi

## Ekonomik Karar Kriterleri

- NBD Analizi (20 yıl): Monokristal seçimi %8 daha fazla karlılık
- Geri Ödeme Süresi: 4,1 yıl (tüm teknolojiler benzer)
- Alan Verimliliği: 154 Wp/m<sup>2</sup> (en yüksek güç yoğunluğu)

Sınırlı çatı alanı koşullarında monokristal teknoloji, yüksek birim maliyetine rağmen toplam sistem ekonomisi açısından optimal seçimdir.

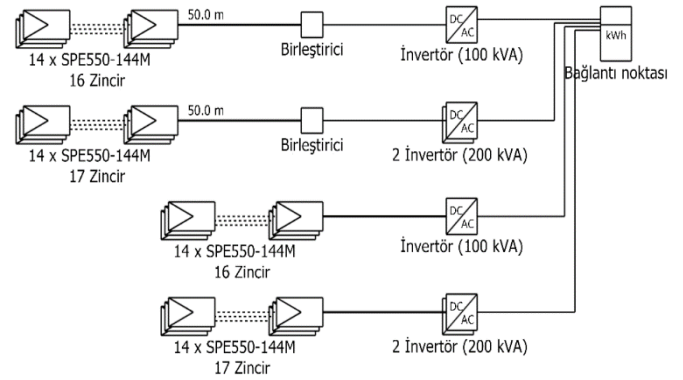
Panel teknolojisi seçiminde dikkate alınan temel kriterler aşağıdaki gibidir. İlk olarak, 5.000 m<sup>2</sup> sınırlı çatı alanında maksimum güç yoğunluğu elde etmek amacıyla alan kısıtı değerlendirilmiştir. İkinci olarak, %22 verim ile maksimum enerji hasadı sağlayacak uzun vadeli verimlilik kriteri benimsenmiştir. Üçüncü olarak, monokristal silikon için %0,4/yıl değerinde olan degradasyon oranının en düşük seviyede olması göz önünde bulundurulmuştur. Son olarak, 25 yıl lineer performans garantisi sunulması garanti koşulları kapsamında değerlendirilmiştir.

Panel seçiminde ekonomik analizler de belirleyici rol oynamıştır. 20 yıllık Net Bugünkü Değer (NBD) analizi sonucunda, monokristal teknolojinin %8 daha fazla karlılık sağladığı hesaplanmıştır. Geri ödeme süresi açısından ise tüm teknolojiler benzer performans göstererek 4,1 yıl olarak tespit edilmiştir. Alan verimliliği değerlendirmesinde ise monokristal teknolojinin 154 Wp/m<sup>2</sup> ile en yüksek güç yoğunluğu sağladığı belirlenmiştir. Monokristal güneş panellerinin diğer güneş panellerine göre daha fazla verim elde etmesi nedeniyle monokristal güneş paneli seçilmiştir (Pereira ve Silva, 2024).

Tüm bu tasarım kriterlerine göre filtreleme yapıldığında en uygun panel üreticisi Schmid Pekintaş olan SPE550-144M model panel kullanılmasına karar verilmiştir. Modeldeki SPE ifadesi Schmid Pekintaş markasını, 550 maksimum güç çıktısını, 72 yarı hücre (half-cell) konfigürasyonunu ve M ifadesi de monokristal güneş paneli olduğunu ifade etmektedir (Schmid Pekintaş, 2025). Modern yarı hücre teknolojisi, geleneksel tam hücre yapısına göre daha düşük direnç kayıpları ve daha iyi gölgelenme toleransı sağlamaktadır. İlgili tesisin toplam çatı alanı 5.000 m<sup>2</sup>'dir. Panel ölçüleri ise 2.278mm x 1.134mm x 35mm'dir. Bir panelin kaplayacağı toplam alan yaklaşık 2,58 m<sup>2</sup>'dir. Panel bağlantıları, panel dizinleri arasındaki mesafe ve alanla ilişkili diğer kayıplar göz önünde bulundurulduğunda 1.400 adet panel konumlandırılabilceği tespit edilmiştir.

DC akımı AC akıma çeviren invertör (evirici) seçimi tasarım için oldukça önemli bir rol oynamaktadır (Govindasamy ve Kumar, 2023a).

Şebeke bağlantılı bir sistem olması, seçilen panellere uygunluğu, bağlantı modeli ve maksimum verim parametreleri göz önünde bulundurulduğunda birim gücü 100 kWac olan 6 adet Huawei Technologies marka SUN2000-100KTL-M1-400Vac model (invertör) evirici kullanılmasına karar verilmiştir (Huawei Technologies, 2025). Sisteme ait tek hat şeması Şekil 2.3'de sunulmuştur.

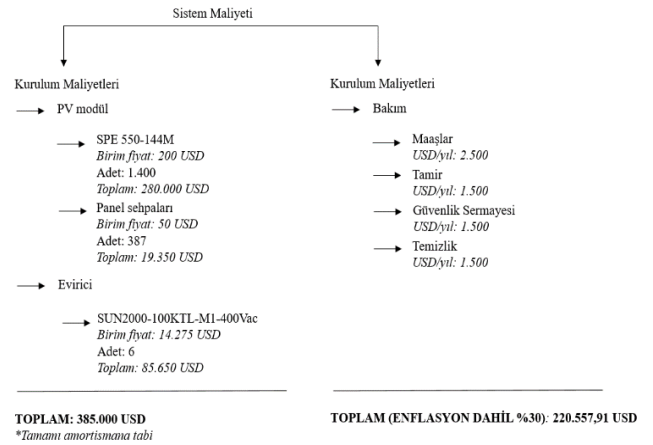


Şekil 2.3. Tek Hat Şeması

## Maliyet Girdileri

Sistem için toplam maliyet sistem maliyetleri ve işletme maliyetleri olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Kurulum maliyetleri amortismanına tabi olacak şekilde hesaplanmış olup hurda değerleri hesaba dahil edilmemiştir. İşletme maliyetleri ise enflasyon baz alınarak hesaplanmıştır. Türkiye'de 2023 yılı enflasyon oranı %64,77'dir. 2024 yılında Kasım ayı sonlandığında toplam enflasyon %47,09 olarak açıklanmıştır (TCMB, 2023).

Suriye'deki iç karışıklıkların sonlanması sonucu mülteci nüfusunun azalması, işsizlik oranının giderek düşmesi sonucu istihdam ve üretimin artması ve alınan ekonomik tedbirlerle beraber önümüzdeki 20 yıl için ortalama %30 enflasyon oranı sabit tutularak işletme maliyetleri ve diğer tüm finansal analizler gerçekleştirilmiştir. Maliyetlere ilişkin detaylı bilgi Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4. Sistem Maliyetleri

Finansal analiz için Levelized Cost of Energy (LCOE) metodolojisi kullanılmıştır:

$$LCOE = \frac{\sum(I_t + M_t + F_t)/(1+r)^t}{\sum(E_t)/(1+r)^t}$$

Burada;  $I_t$ : yatırım maliyetleri,  $M_t$ : işletme-bakım maliyetleri,  $F_t$ : yakıt maliyetleri,  $E_t$ : elektrik üretimi,  $r$ : iskonto oranı (%8),  $t$ : zaman (yıl)

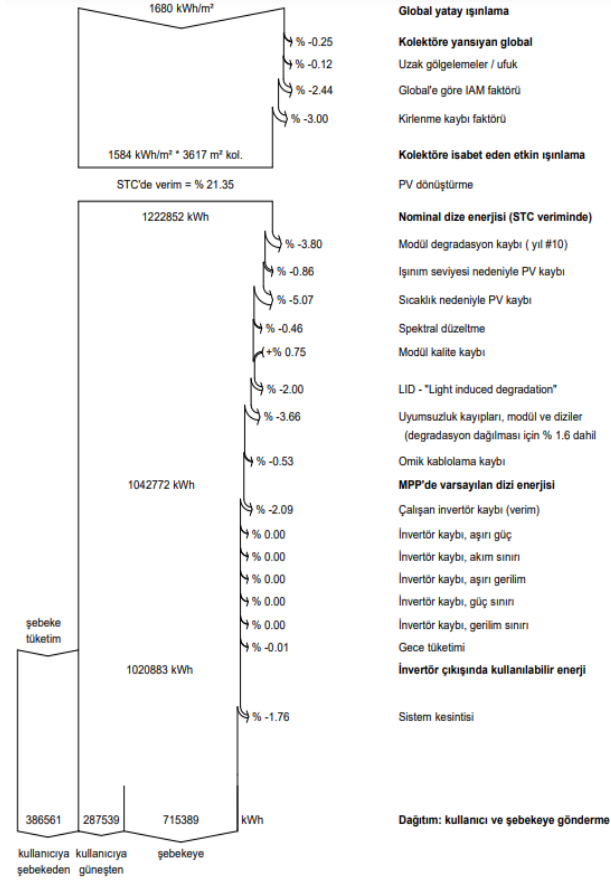
- LCOE Hesaplama Parametreleri:
- İlk yatırım: 385.000 USD
- 20 yıllık O&M maliyetleri NBD: 142.000 USD
- İskonto oranı: %8 (Türkiye için ortalama reel faiz oranı).

## BULGULAR

Sistem ve maliyet girdileri programa girildikten sonra PVsyst yazılımı çalıştırılmış ve bulgular elde edilmiştir.

## Kayıplar

Fabrikanın tükettiği toplam enerji 674.099 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Sistem kayıpları, yıllık degradasyon ve meteorolojik belirsizlikler göz önünde bulundurularak, 20 yıllık proje ömrü boyunca tüketimin karşılanabilmesi için nominal üretim kapasitesi tüketimin yaklaşık iki katı (1.348.198 kWh/yıl) olarak hedeflenmiştir. Söz konusu kayıplara ilişkin diyagram Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Kayıplar Diyagramı

Ankara'da yıllık yağış miktarı ortalaması 392,4 mm'dir (MGM, 2024). Artan nüfus ve şehirleşmeden kaynaklı şehir içi trafiğin artması, sanayileşmenin gelişmesi ve enerji tüketiminin artmasından kaynaklı hava kirliliği de giderek artmaktadır (Bostancı ve Aliefendioğlu, 2024). Tüm bu durumların alan kirliliğine neden olduğu hesaba katılacak olursa kirlenme kaybı faktörü %3 olarak hesaplanmıştır.

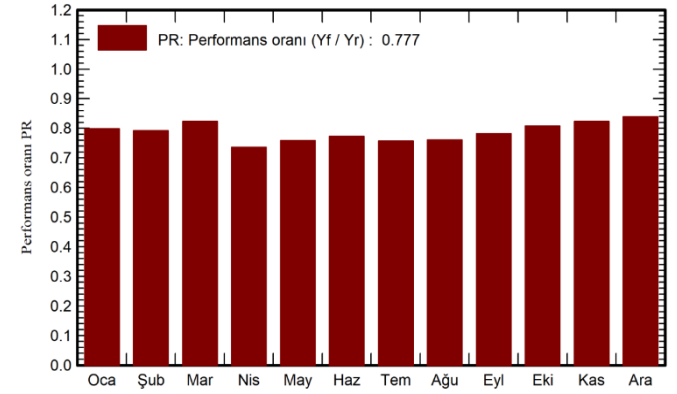
Panel veriminin yıldan yıla düştüğü bir gerçektir. Bundan ötürü modül ortalama degradasyon oranının %0,4/yıl olacağı belirlenmiştir (Kim vd., 2024).

Yüksek sıcaklık panel verimini düşürmektedir. Ankara'da 1923-2023 yılları arasında yapılan ölçümler neticesinde ortalama sıcaklığın 12°C ve en yüksek sıcaklığın yıl içinde 41°C olduğu tespit edilmiştir (MGM, 2024). Su ve hava soğutma, faz değişim malzemeleri ve çeşitli yaklaşımlar da dahil olmak üzere hem aktif hem de pasif soğutma teknolojileri geliştirilmiş olsa da bu teknolojilerin sistem maliyetini artırması ve kullanım zorluğundan ötürü bu simülasyonda tercih edilmemiştir. Ankara'da bölge bölge değişimle beraber yılda ortalama 7,3 gün elektrik kesintisi yaşanmaktadır (Başkent EDAŞ, 2024). Sistem şebekeye bağlı bir sistem olarak tasarlandığından elektrik kesildiğinde çalışmayacaktır. Dolayısıyla 7,3 gün elektrik kesintisi sistemde %2 kadar kayba neden olmaktadır.

Panellerden eviricilere bağlanan kablo kaybı, ışığın soğutma ve yansıtma kaybına bağlı kayıp ve diğer kayıplar ise PVsyst yazılımı aralıklarına göre ortalama değerleri belirlenerek girilmiştir.

## Üretime Dair Genel Bulgular

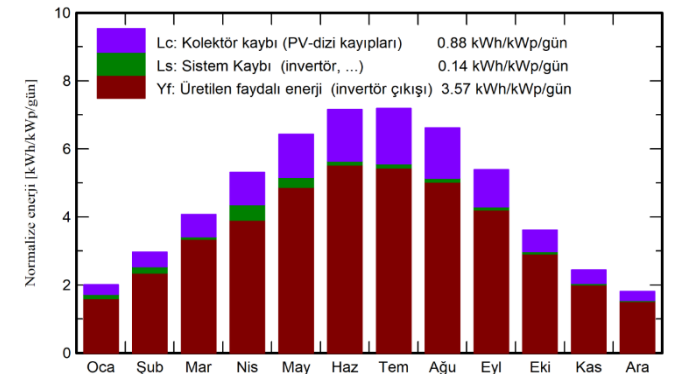
Simülasyon çalıştırdıktan sonra sistemin performans oranı Şekil 3.2'de de sunulduğu üzere %77,73 olarak hesaplanmıştır. Sistem performans oranı ay bazında birbirine yakın sonuçlar verse de en yüksek performans oranının Mart ayında, en düşük performans oranının ise Nisan ayında olacağı gözlemlenmiştir. Performans oranı kayıplar, ekipman verimliliği ve azimut açısı gibi pek çok faktöre bağlıdır. Genel olarak uygulamada %75-%85 arası verim olduğundan sistemin performans oranının kabul edilebilir bir seviyede olduğu söylenebilir.



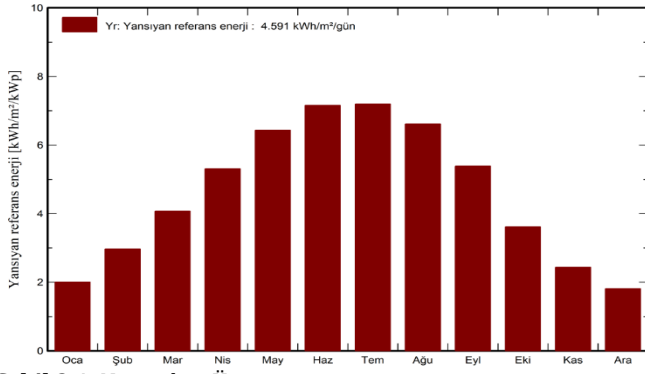
Şekil 3.2. Performans Oranı

kWp başı normalize üretim grafiği ise Şekil 3.3'te sunulmuştur. Enerji üretiminin Temmuz ayına kadar arttığı, Temmuz ayından sonra ise azaldığı görülmektedir. Bunun en tabii nedeni Şekil 3.4'te de görüldüğü üzere kolektör düzlemine yansıyan enerjinin Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında en yüksek olmasıdır. Üretimi etkileyen en ciddi faktör kayıplardır. Kayıpların %84'ünü ise kolektör kayıpları oluşturmaktadır.

Çevre dostu yalıtım malzemelerinin kullanılması, hava boşluğu basıncının optimum seviyelere düşürülmesi gibi kayıpları azaltıcı çalışmalarla elektrik üretim oranı artırılabilir (Pereira ve Silva, 2024). Büyük ölçekli sistemlerde dikkat edilmesi gereken bir husus, sistem içindeki potansiyel performans farklılıklarıdır. PVsyst simülasyonunda, 1.400 panellik sistemde farklı string konfigürasyonları ve kablo mesafelerinden kaynaklanan voltaj düşüşü farklılıkları hesaplanmıştır.



Şekil 3.3. Normalize Üretim



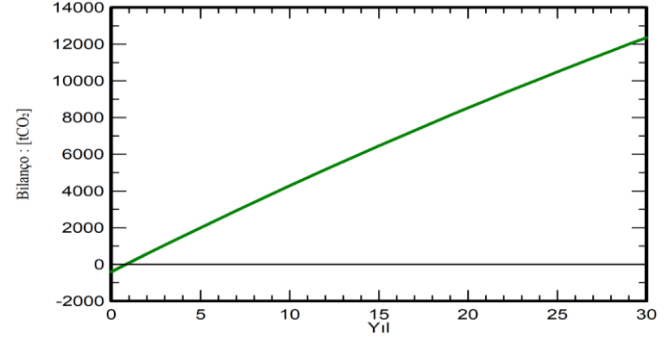
Şekil 3.4. Normalize Üretim

### CO2 Emisyon Bilançosu

Sistemin zaman içindeki CO<sub>2</sub> tasarrufu Şekil 3.5'de gösterilmiştir. CO<sub>2</sub> emisyon bilançosu hesaplamasında, monokristal silikon paneller için literatürde raporlanan ortalama yaşam döngüsü emisyon değeri kullanılmıştır. IEA PVPS Task 12 raporuna göre monokristal silikon panellerin üretim aşaması karbon ayak izi yaklaşık 1.200-1.500 kg CO<sub>2</sub>/kWp aralığındadır.

Bu çalışmada 770 kWp kurulu güç için başlangıç emisyon yükü yaklaşık 1.000 ton CO<sub>2</sub> olarak hesaplanmıştır. Bu değer, sistemin ilk 2-3 yılında negatif CO<sub>2</sub> bilançosuna neden olmaktadır. CO<sub>2</sub> emisyon bilançosu hesaplamasında, sistem performansındaki tüm kayıpları (degradasyon, kirlenme, ekipman yaşlanması) kapsayacak şekilde konservatif bir yaklaşımla toplam %1/yıl performans düşüşü varsayılmıştır. Bu değer, salt panel degradasyonu (%0,4/yıl) ile diğer sistem bileşenlerinin yaşlanma etkilerini birlikte içermektedir. Yıllık

degradasyonun %1 olarak hesaplandığı sistemde CO<sub>2</sub> tasarrufu artarak artan bir grafik sergilemekte ve 30 yıl sonunda 12.362,1 ton CO<sub>2</sub> tasarrufu sağlanmaktadır. Şekil 3.5'te görüldüğü üzere, sistemin ilk 2-3 yılında CO<sub>2</sub> bilançosu negatif değerler göstermektedir. Bu durum, güneş panellerinin üretim aşamasında, taşıma ve kurulum süreçlerinde harcanan enerjinin geri kazanımı ile ilgilidir ve literatürde 'karbon geri ödeme süresi' (carbon payback period) olarak adlandırılır. Üçüncü yıldan itibaren sistem net pozitif CO<sub>2</sub> tasarrufu sağlamaya başlamakta ve grafikte de görüldüğü üzere artan bir eğilim sergilemektedir.



Şekil 3.5. CO2 Tasarrufu

### Finansal Bulgular

Sistemde fotovoltaik modül ve evirici maliyetlerinin öz kaynak ile karşılandığı hesaplanmıştır. Yıllık %30 enflasyon baz alınmıştır. Tüm hesaplar USD üzerinden yapılmış olmakla beraber 2024 yılı itibarı ile tüketim tarifesi 0.0860 USD/kWh olarak hesaplanmıştır. Tablo 3.1'de sisteme ilişkin detaylı ekonomik sonuçlar verilmiştir.

Tablo 3.1. Referansların yazım formatları

Yıl	Elektrik Satışı	Öz Kaynak	İşletme Giderleri	Amortisman Payı	Vergiye Tabi Gelir	Vergi
0	0	385.000	0	0	0	0
1	48.918	0	7.000	19.250	22.668	4.534
2	63.593	0	9.100	19.250	35.243	7.049
3	82.671	0	11.830	19.250	51.591	10.318
4	107.472	0	15.379	19.250	72.843	14.569
5	139.713	0	19.993	19.250	100.471	20.094
6	181.627	0	25.991	19.250	136.387	27.277
7	236.116	0	33.778	19.250	183.078	36.616
8	306.950	0	43.924	19.250	243.776	48.755
9	399.035	0	57.101	19.250	322.684	64.537
10	518.746	0	74.231	19.250	425.265	85.053
11	674.370	0	96.501	19.250	558.619	111.724
12	876.681	0	125.451	19.250	731.980	146.396
13	1.139.685	0	163.087	19.250	957.358	191.470
14	1.481.591	0	212.013	19.250	1.250.328	250.066
15	1.926.068	0	275.616	19.250	1.631.201	326.240
16	2.503.888	0	358.301	19.250	2.126.337	425.267
17	3.255.055	0	465.792	19.250	2.770.013	554.003
18	4.231.571	0	605.529	19.250	3.606.792	721.358
19	5.501.042	0	787.188	19.250	4.694.604	938.921
20	7.151.355	0	1.023.344	19.250	6.108.761	1.221.752
Toplam	30.826.145	385.000	4.411.158	385.000	26.029.987	5.205.997

Sistemin iç karlılık oranı %43,28 olarak hesaplanırken yatırımın geri ödeme süresi ise 4,1 yıla tekabül etmektedir. Sistemin birim elektrik üretim maliyeti (LCOE - Levelized Cost of Energy) 2.3 bölümünde açıklanan metodoloji kullanılarak hesaplanmıştır. Analiz sonuçları:

Hesaplanan LCOE: 0,0313 USD/kWh

- 20 yıllık elektrik üretimi NBD: 16.850 MWh (%1 yıllık degradasyon)

Karşılaştırmalı Analiz:

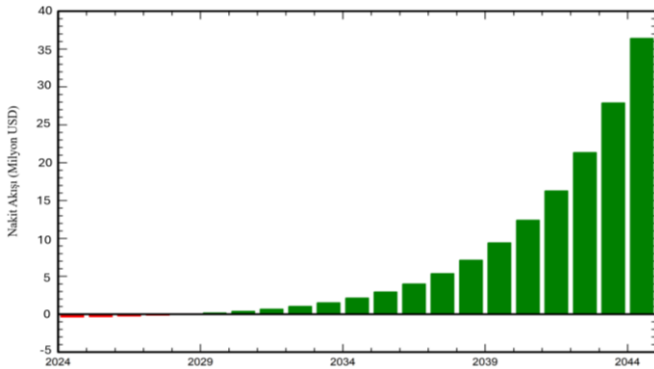
- Bu çalışma LCOE: 0,0313 USD/kWh
- Türkiye şebeke elektrik fiyatı: 0,0860 USD/kWh
- Maliyet avantajı: %64

Sonuç olarak, sistemin LCOE değeri şebeke elektrik maliyetinin %36'sı seviyesinde olup, ekonomik uygulanabilirliği doğrulamaktadır.

Detaylı ekonomik sonuçlar neticesinde sistemin net karı 21.208.990 USD ve öz tüketim tasarrufu 15.582.955 USD olarak hesaplanmıştır.

Dolayısıyla Net Bugünkü Değer (NBD) Şekil 3.6'da da görüldüğü üzere 36.406.945 USD olarak bulunmuştur. NBD, ilerideki nakit akışının bugünkü değerini ortaya koymaktadır (Schmid Pekintaş, 2025). Şekil 3.6'da sistemin birikmiş nakit akışı analizi sunulmuştur. Grafikte yer alan elemanlar şunlardır: - Kırmızı alan: Kümülatif yatırım ve işletme giderleri - Mavi alan: Kümülatif gelirler (elektrik satışı + öz tüketim tasarrufu) - Yeşil çizgi: Net birikmiş nakit akışı - Kesişim noktası: Geri ödeme süresi (4,1. yıl) Grafik, sistemin 4,1 yılda kendini amorti ettiğini ve sonrasında pozitif nakit akışı sağladığını göstermektedir.

Detaylı ekonomik sonuçlar neticesinde sistemin net karı 21.208.990 USD ve öz tüketim tasarrufu 15.582.955 USD olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla Net Bugünkü Değer (NBD) Şekil 3.6'da da görüldüğü üzere 36.406.945 USD olarak bulunmuştur. NBD, ilerideki nakit akışının bugünkü değerini ortaya koymaktadır (Schmid Pekintaş, 2025). Şekil 3.6'da sistemin birikmiş nakit akışı analizi sunulmuştur. Grafikte yer alan elemanlar şunlardır: - Kırmızı alan: Kümülatif yatırım ve işletme giderleri - Mavi alan: Kümülatif gelirler (elektrik satışı + öz tüketim tasarrufu) - Yeşil çizgi: Net birikmiş nakit akışı - Kesişim noktası: Geri ödeme süresi (4,1. yıl) Grafik, sistemin 4,1 yılda kendini amorti ettiğini ve sonrasında pozitif nakit akışı sağladığını göstermektedir.



Şekil 3.6. Birikmiş Nakit Akışı

## SONUÇLAR VE TARTIŞMA

İklim krizi ve sera gazı emisyonunun artması gibi çevresel etkilerinin yanı sıra ekonomik sürdürülebilirlik adına da olumsuz etkileri olan fosil yakıtların yerini gelişen teknoloji ve artan rekabet ile günden güne yenilenebilir enerji kaynakları almaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarındaki bu gelişimde güneş enerjisinin payı oldukça yadsınamayacak seviyededir. Öyle ki 2028 yılı sonunda teknolojiye göre elektrik elde etmede güneş enerjisinin payının %12,6 seviyelerinde olacağı öngörülmektedir.

Temiz ve doğada homojen halde bulunmasının yanı sıra uygulama kolaylığının artması ve güneş takip sistemleri gibi panel verimliliğini artıran sistemlerin geliştirilmesi, güneş enerjisi uygulamalarının önünü açmakta ve yaygınlaştırmaktadır.

Güneş enerjisi uygulamalarında küçük ve orta ölçekli uygulamalar olarak yaygın kullanılan sistemler çatı GES'tir. Çatı GES uygulamaları stadyumlar, spor salonları ve alışveriş merkezlerinin yanı sıra fabrikalar, atölyeler ve üretim tesisleri gibi endüstriyel binalarda da sıklıkla kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, PVsyst yazılım uygulaması kullanılarak Ankara'da Gaziosmanpaşa Mahallesi'nde tekstil alanında üretim yapan endüstriyel bir binada elektrik tüketiminin güneş enerjisinden sağlanması ve tüketilen enerji kadar elektrik üretimi ve satışı gerçekleştirilmesi adına belirli kabul kriterleri doğrultusunda simülasyon gerçekleştirilmiştir.

Lisanssız Elektrik Üretimi Yönetmeliği'ne göre tüketilen enerji kadar elektrik üretimi satışı gerçekleştirilebileceğinden yıllık elektrik tüketimi 674.099 kWh/yıl olan fabrika için 1.348.198 kWh/yıl elektrik üretimi yapılması hedeflenmiştir. Ancak kolektör ve sistem kayıpları, amortisman payı gibi hesaplar göz önünde bulundurulduğunda sistemin performans oranı %77,7 ve üretilen yıllık enerji de 1.002.928 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu oranın yukarı çekilmesi adına güneş takip sistemleri, temizliklerin daha sık yapılarak panelin üzerindeki kir ve tozun kaldırılması, yüzey soğutma teknolojileri uygulamaları hayata geçirilebilir. Ancak söz konusu durumların da sisteme ilk yatırım maliyetlerini artırıcı girdiler olacağı bilinmektedir.

Sistemin finansal analizinde amortisman süresi 4,1 yıl olarak hesaplanmıştır. Sistemin itfa oranı 20 yılın sonunda %9556,3 olarak hesaplanmıştır. Amortisman sürelerinin kısaltılması adına yatırımcı tarafından teşvik programlarının takip edilmesi, uygulamada yerli üretim malzemelerin tercih edilmesi önem arz etmektedir.

Sistemin çevresel etkilerine bakıldığı zaman 30 yıl sonunda 12.362,1 ton CO2 tasarrufu sağlandığı tespit edilmiştir. Türkiye'de kişi başı sera gazı emisyonunun 6,6 tona tekabül ettiği düşünülecek olursa 1.800 kişiden fazla kişinin CO2 emisyonunun karşılanması sağlanmaktadır.

5.000 m<sup>2</sup> çatı alanına yayılan sistemde, PVsyst simülasyonu string bazında kablo kayıp farklılıklarını ortaya koymuştur. Bununla birlikte, coğrafi konum ve eğim açısı aynı olan panellerin gerçek işletme koşullarında mikro-iklimsel farklılıklar, termal gradient etkileri ve temizlik heterojenliği gibi faktörler nedeniyle farklı performans değerlerine sahip olabileceği öngörülmektedir. Bu durum, büyük endüstriyel projelerde uniform performans varsayımının sınırlarına işaret etmekte olup, gelecek çalışmalarda saha verileri ile bu heterojenlik etkisinin sistematik olarak ölçülmesi önerilmektedir.

Çalışma neticesinde GES'in enerji, çevre ve ekonomik analizi gerçekleştirilmiştir. Pek çok endüstriyel tesiste bu uygulamaların yaygın olmadığı dikkate alınır bu şekilde hayata geçirilecek çalışmaların net sıfır enerji hedefine ulaşma noktasında ciddi katkı sunacağı ve enerji tasarrufunda Türkiye'nin kalkınmasına katkı sağlayacağını ortaya koyulmuştur.

## KAYNAKLAR

Abou Akrouh, M., Chahine, K., Faraj, J., Hachem, F., Castelain, C., & Khaled, M. (2023). Advancements in cooling techniques for enhanced efficiency of solar photovoltaic panels: A

- detailed comprehensive review and innovative classification. *Energy and Built Environment*, 6(2), 248–276. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2023.11.002>
- Abed, A. M., Nazari, M. A., Ahmadi, M. H., Mukhtar, A., Kumar, R., & Gharib, N. (2025). Power generation by utilization of different renewable energy sources in five Middle Eastern countries: Present status, opportunities and challenges. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 73, 104101. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2024.104101>
- Ait Omar, O., El Fadil, H., El Fezazi, N., Oumimoun, Z., Ait Errouhi, A., & Choukai, O. (2024). Real yields and PVsyst simulations: Comparative analysis based on four photovoltaic installations at Ibn Tofail University. *Energy Harvesting and Systems*, 11(1), 20230064. <https://doi.org/10.1515/ehs-2023-0064>
- Akyazı, Ö., Başlık, Ş., Khidirzade, K., & Çavdar, B. (2024). Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinin PVsyst ile analizi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 14(3), 1486–1502.
- Al Sarhan, F. F. (2024). Design an on-grid PV system to supply electricity to a school in Babil city using PVsyst software. *Journal of Applied Research and Technology*, 22(5), 617–626. <https://doi.org/10.22201/jcat.24486736e.2024.22.5.2411>
- Ayousha, A. F. E., & Abdullah, M. N. (2022). Design and economic analysis of a grid-connected photovoltaic system in Saudi Arabia using PVsyst software. *Journal of Electronic Voltage and Application*, 3(1), 54–68.
- Baqir, M., & Channi, H. K. (2022). Analysis and design of solar PV system using PVsyst software. *Materials Today: Proceedings*, 48, 1332–1338. <https://doi.org/10.1016/10.1016/j.matpr.2021.09.029>
- Başkent EDAŞ. (2024). Planlı kesinti sorgulama. <https://online.baskentedas.com.tr> (Erişim tarihi: 13.12.2024)
- Behera, D. D., Das, S. S., Mishra, S. P., Mohanty, R. C., Mohanty, A. M., & Nayak, B. B. (2022). Simulation of solar operated grass cutting machine using PVSYST software. *Materials Today: Proceedings*, 62, 3044–3050. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.175>
- Bódis, K., Kougias, I., Jäger-Waldau, A., Taylor, N., & Szabó, S. (2019). A high-resolution geospatial assessment of the rooftop solar photovoltaic potential in the European Union. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 114, 109309. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109309>
- Bostancı, S., & Aliefendioğlu, Y. (2024). Türkiye'de büyükşehirlerde kent içi ulaşım sorunları ve çözüm önerileri: Ankara ili örneği. *Kent Akademisi*, 17(2), 346–368. <https://doi.org/10.35674/kent.1408317>
- Cameron, C. P., Boyson, W. E., & Riley, D. M. (2014). Energy model validation for large-scale photovoltaic systems. 2014 IEEE 40th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC). <https://doi.org/10.1109/10.1109/PVSC.2013.6744274>
- Cura, D., Yilmaz, M., Koten, H., Senthilraja, S., & Awad, M. M. (2022). Evaluation of the technical and economic aspects of solar photovoltaic plants under different climate conditions and feed-in tariff. *Sustainable Cities and Society*, 80, 103804. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103804>
- Enerji Atlası. (2024). Türkiye enerji atlası. <https://www.enerjiatlası.com> (Erişim tarihi: 10.12.2024)
- EPDK. (2023). 2023 yılı elektrik piyasası gelişim raporu. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu.
- Etcı, A., & Kocalmış Bilhan, A. (2021). PVSyst ile Konya ilinde sabit ve çift eksenli güneş takip sisteminin modellenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 32, 142–147. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1039800>
- ETKB. (2024). Elektrik piyasasında lisanssız elektrik üretim yönetmeliği. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.
- Freeman, J., Whitmore, J., Blair, N., & Dobos, A. (2014). Validation of multiple tools for flat plate photovoltaic modeling against measured data (NREL/TP-6A20-61497). National Renewable Energy Laboratory.
- Fu, R., Feldman, D., & Margolis, R. (2018). U.S. solar photovoltaic system cost benchmark: Q1 2018 (NREL/TP-6A20-72399). National Renewable Energy Laboratory.
- Gagnon, P., Margolis, R., Melius, J., Phillips, C., & Elber, R. (2016). Rooftop solar photovoltaic technical potential in the United States: A detailed assessment (NREL/TP-6A20-65298). National Renewable Energy Laboratory.
- GEPA. (2024). Güneş enerjisi potansiyel atlası. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. <https://gepa.enerji.gov.tr> (Erişim tarihi: 10.12.2024)
- Govindasamy, D., & Kumar, A. (2023a). Evaluation of the impact of different composite phase change materials on reduction in temperature and enhancement of solar panel efficiency. *Journal of Energy Storage*, 60, 106631. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.106631>
- Govindasamy, D., & Kumar, A. (2023b). Experimental analysis of solar panel efficiency improvement with composite phase change materials. *Renewable Energy*, 212, 175–184. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.05.028>
- Huawei Technologies. (2025). SUN2000-100KTL-M1 teknik veri sayfası. <https://consumer.huawei.com> (Erişim tarihi: 13.01.2025)
- IEA. (2024). Share of renewable electricity generation by technology, 2000–2028. International Energy Agency. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/share-of-renewable-electricity-generation-by-technology-2000-2028>
- Igliński, B., Iglińska, A., Koziński, G., Skrzatek, M., & Buczkowski, R. (2016). Wind energy in Poland: History, current state, surveys, renewable energy sources act, SWOT analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 64, 19–33. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.081>
- Khargotra, R., Alam, T., Thu, K., Sebestyén, V., Andrés, K., & Singh, T. (2024). Experimental study of eco-friendly insulating materials for solar thermal collectors: A sustainable built environment. *Results in Engineering*, 21, 101681. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101681>

- Kim, J. H., Kim, B. S., Kang, R., Lee, M., Lee, B., & Kim, S. K. (2024). High-efficiency upright solar panels with antireflective microprism-imprinted sheets. *Cell Reports Physical Science*, 5(4). <https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2024.101906>
- Lang, T., Ammann, D., & Girod, B. (2016). Profitability in absence of subsidies: A techno-economic analysis of rooftop photovoltaic self-consumption in residential and commercial buildings. *Renewable Energy*, 87, 77–87. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.09.059>
- Li, C., Zhou, D., & Zheng, Y. (2018). Techno-economic comparative study of grid-connected PV power systems in five climate zones, China. *Energy*, 165, 1352–1369. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.10.062>
- Mahmood, M. H., Mohammed, R. H., Hashim, H. F., & Al-Hilali, A. A. (2023). Performance analysis of 20kW rooftop photovoltaic system installed at MTU University using PVsyst software. 2023 Second International Conference on Electrical, Electronics, Information and Communication Technologies (ICEEICT) (ss. 01–06). IEEE.
- Meteonorm. (2025). Meteonorm global meteorological database. <https://meteonorm.com> (Erişim tarihi: 13.01.2025)
- MGM. (2024). İklim verileri – Ankara. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. <https://www.mgm.gov.tr> (Erişim tarihi: 13.12.2024)
- Mishra, P. R., Rathore, S., & 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>
- Mohammadi, S. A. D., & Gezezin, C. (2022). Design and simulation of grid-connected solar PV system using PVSYST, PVGIS and HOMER software. *International Journal of Pioneering Technology and Engineering*, 1(01), 36–41. <https://doi.org/10.56158/jpte.2022.24.1.01>
- Molnár, G., Cabeza, L.F., Chatterjee S., & Ürge-Vorsatz, D. (2024). Modelling the building-related photovoltaic power production potential in the light of the EU's Solar Rooftop Initiative. *Applied Energy*, 357, 122516. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.122708>
- Ni, H., Wang, D., Zhao, W., Jiang, W., Mingze, E., Huang, C., & Yao, J. (2024). Enhancing rooftop solar energy potential evaluation in high-density cities: A deep learning and GIS based approach. *Energy and Buildings*, 309, 113743. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113743>
- Pereira, F., & Silva, C. (2024). Machine learning for monitoring and classification in inverters from solar photovoltaic energy plants. *Solar Compass*, 9, 100066. <https://doi.org/10.1016/j.solcom.2023.100066>
- Salmi, M., Baci, A. B., Inc, M., Menni, Y., Lorenzini, G., & Al-Douri, Y. (2022). Design and simulation of an autonomous 12.6 kW solar plant in the Algeria's M'sila region using PVsyst software. *Optik*, 262, 169294. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2022.169294>
- Saputri, F. R., Prasetya, I. H., & Akbar, A. M. (2024). Optimization of electricity supply in East Nusa Tenggara through communal solar power plants: A case study of Kupang City using PVsyst. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 8(4), 2597–2602. <https://doi.org/10.70609/gtech.v8i4.5294>
- Schmid Pekintaş. (2025). SPE550-144M teknik veri sayfası. <https://www.schmid-pekintas.com> (Erişim tarihi: 13.01.2025)
- Serat, Z., Fatemi, S. A. Z., & Shirzad, S. (2023). Design and economic analysis of on-grid solar rooftop PV system using PVsyst software. *Archives of Advanced Engineering Science*, 1(1), 63–76. <https://doi.org/10.47852/bonviewAAES32021177>
- 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>
- TCMB. (2023). Enflasyon raporu – IV. Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası.
- Torue, C. S., Sow, P. L. T., & Mbodji, S. (2024). Performance evaluation of a 67.2 kWp Si-poly photovoltaic system connected to the grid using PVsyst tool. *International Journal of Advanced Research*, 12(07), 954–964. <https://doi.org/10.21474/IJAR01/19134>
- Wang, F., Li, R., Zhao, G., Xia, D., & Wang, W. (2024). Simulation test of 50 MW grid-connected "photovoltaic + energy storage" system based on PVsyst software. *Results in Engineering*, 22, 102331. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102331>