



**T.C.**

**TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ**

**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**BIYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KAYSERİ İLİNDE YER ALAN ŞEBEKEYE BAĞLI FOTOVOLTAİK GÜNEŞ**

**ENERJİSİ SANTRALİNİN PERFORMANS ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Erol Çağrı SOMTÜRK**

**Danışman: Doç. Dr. Mehmet Metin ÖZGÜVEN**

**TOKAT-2024**

## ETİK SÖZLEŞME

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Mehmet Metin ÖZGÜVEN danışmanlığında hazırlamıŐ olduğum “**Kayseri İlinde Yer Alan Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralinin Performans Analizi**” adlı Yüksek Lisans tezinin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

10/08/2024

Erol Çağrı SOMTÜRK

## JÜRİ KABUL VE ONAY



## ÖNSÖZ

Öncelikle tez konusunun belirlenmesinde istediğim konuda çalışmamı sağlayan ve sonrasında da tezimi bitirmem için yardımcı olan, karakteri, kişiliği ve insanlığı ile örnek bir insan olan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Mehmet Metin ÖZGÜVEN'e çok teşekkürlerimi sunarım. Benden desteklerini hiçbirzaman esirgemeyen her zaman yanımda olan sevgili eşime teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Erol Çağrı SOMTÜRK

10 Ağustos 2024



## ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

### KAYSERİ İLİNDE YER ALAN ŞEBEKEYE BAĞLI FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİNİN PERFORMANS ANALİZİ

Erol Çağrı SOMTÜRK

Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet Metin ÖZGÜVEN

10 Ağustos 2024, xi + 29 sayfa

Ülkemizde son yıllarda enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla güneş enerjisi santrallerinin kurulması büyük önem kazanmıştır. Bu çalışmada, Kayseri ilinde mevcut şebekeye bağlı bir 1MW Güneş Enerjisi Santrali'nin (GES), 2017 yılından 2024 yılına kadar gerçekleştirmiş olduğu üretim performansı günlük, mevsimlik ve yıllık olarak değerlendirilmiştir. Santralde, güneş enerjisi sahasında bulunan elektrik ölçüm sayacı üzerinden alınan enerji üretim verileri kWh olarak kaydedilmektedir. Ayrıca sistem tarafından hava sıcaklığı, nem ve bulutluluk oranları da sürekli olarak kaydedilmektedir. Solarrelax simülasyon programı ile saatlik, günlük ve aylık olarak istenen raporlama yapılabilmektedir. Çalışma sonunda en yüksek yıllık enerji üretiminin 2020 yılında 2036 Mwh ile en düşük enerji üretimi ise 1091 Mwh 2022 yılında gerçekleştiği belirlenmiştir. Mevsimsel olarak hava sıcaklığının artmış olduğu yaz aylarında enerji üretim miktarının arttığı ve kış aylarında ise bulut miktarının artmasına bağlı olarak üretilen enerji miktarının hızla düştüğü görülmüştür. Gün içerisindeki yarım saat aralıklı sıcaklık değişimi ile aynı saatlerdeki anlık enerji üretim miktarları yıllara göre benzerlik gösterse de üretim miktarının sıcaklık dışında nem ve bulutluluk oranlarından etkilendiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş Enerjisi Santrali, Performans Analizi, Fotovoltaik Sistem

## ABSTRACT

MASTER DEGREE THESIS

### PERFORMANCE ANALYSIS OF GRID CONNECTED PHOTOVOLTAIC SOLAR POWER PLANT IN KAYSERI

Erol Çağrı SOMTÜRK

Department of Biosystems Engineering

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet Metin ÖZGÜVEN

10 August 2024, xi + 29 pages

In recent years, the establishment of solar power plants has gained significant importance in meeting the energy needs of our country. In this study, the production performance of a 1MW Solar Power Plant (SPP) connected to the existing grid in Kayseri province between 2017 and 2024 was evaluated daily, seasonally and annually. The energy production data obtained from the electricity meter located in the solar energy field in the plant is recorded as kWh. In addition, the air temperature, humidity and cloudiness rates are continuously recorded by the system. Hourly, daily and monthly requested reporting can be made with the Solarrelax simulation program. At the end of the study, it was determined that the highest annual energy production was 2036 Mwh in 2020 and the lowest energy production was 1091 Mwh in 2022. It was observed that the amount of energy production increased in the summer months when the air temperature increased seasonally, and the amount of energy produced decreased rapidly in the winter months due to the increase in the amount of clouds. Although the temperature change at half-hour intervals during the day and the instantaneous energy production amounts at the same hours are similar over the years, it has been determined that the production amount is affected by humidity and cloudiness rates as well as temperature.

**Keywords:** Solar Power Plant, Performance Analysis, Photovoltaic System

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

ETİK SÖZLEŞME.....	i
JÜRİ KABUL VE ONAY .....	ii
ÖNSÖZ .....	iii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	ix
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ .....	x
1. GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR ÖZETLERİ .....	6
3. MATERYAL ve YÖNTEM .....	9
3.1. Materyal .....	9
3.2. Yöntem.....	10
3.2.1. PV Modüllerinde üretilen toplam enerji miktarı .....	10
3.2.2. Sistem verimi .....	11
3.2.3. Referans verimi .....	11
3.2.4. Nihai verim.....	12
3.2.5. Performans oranı .....	12
3.2.6. Kapasite faktörü .....	13
4. BULGULAR.....	14
4.1. Gün içinde üretim miktarındaki anlık değişim.....	14
4.1.1. Sıcaklık değişimi ile enerji üretim miktarlarının karşılaştırılması.....	19
4.1.2. Nem oranı değişimi ile enerji üretim miktarlarının karşılaştırılması .....	20
4.1.3. Bulutluluk oranı değişimi ile enerji üretim miktarlarının karşılaştırılması .....	20
4.1.4. 21 Haziran günlerinde nihai verim değerlendirmesi.....	21
4.1.5. 21 Haziran günlerinde performans oranı değerlendirmesi.....	22
4.2. Mevsimlere göre üretilen enerji miktarlarının karşılaştırılması.....	22
4.3. Yıllık üretilen enerji miktarlarının karşılaştırılması.....	24
5. SONUÇ ve ÖNERİLER .....	26
6. KAYNAKLAR .....	27

7. ÖZGEÇMİŞ.....29



## ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 1. Türkiye toplam güneş enerjisi potansiyeli bölgesel dağılımı .....	4
Çizelge 2. Son 4 yılda 21 Haziran tarihinde yarım saat aralıkla üretilen enerji miktarları.....	15
Çizelge 3. 2021-2024 yılları arasında 21 Haziran tarihinde sıcaklık, nem ve bulutluluk oranları .....	17
Çizelge 4. Son 4 yılda 21 Haziran tarihlerinde üretilen toplam enerji miktarları.....	22
Çizelge 5. Son 4 yılda 21 Haziran tarihlerinde nihai verim süreleri.....	22
Çizelge 6. Son 4 yılda 21 Haziran tarihlerinde performans oranları .....	23
Çizelge 7. Mevsimsel toplam enerji üretim miktarları (kwh).....	23
Çizelge 8. 2017-2023 yılları arasında üretilen enerji miktarlarının mevsimsel oranları .....	24



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli. ....	2
Şekil 2. Ülkemizde aylara göre güneşlenme sürelerinin değişimi .....	3
Şekil 3. Ülkemizin güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu gücünün yıllara göre değişimi .....	3
Şekil 4. Türkiye toplam üretilen güneş enerjisi miktarı (kWh-Yıl).....	4
Şekil 5. Güneş pili hücre, modül ve dizisi .....	5
Şekil 6. GES tesisinde panellerin model özellikleri ve yerleşimi .....	9
Şekil 7. GES tesisinde bulunan invertör marka ve model özellikleri .....	10
Şekil 8. Son 4 yılda 21 Haziran tarihinde üretilen enerji miktarlarındaki değişim.....	16
Şekil 9. 2021-2024 yılları arasında 21 Haziran tarihinde sıcaklık ve nem oranları karşılaştırılması .....	18
Şekil 10. 2021-2024 yılları arasında 21 Haziran tarihinde sıcaklık ve üretim miktarlarının karşılaştırılması .....	19
Şekil 11. 2021-2024 yılları arasında 21 Haziran tarihinde nem oranı ve üretim miktarlarının karşılaştırılması .....	20
Şekil 12. 2021-2024 yılları arasında 21 Haziran tarihinde bulutluluk oranı ve üretim miktarlarının karşılaştırılması .....	21
Şekil 13. 2017-2024 yılları arasında mevsimsel üretilen toplam enerji miktarları.....	23
Şekil 14. 2017-2023 yılları arasında üretilen yıllık toplam enerji miktarları .....	25

## KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

AC: Alternatif Akım

ADP: Ana Dağıtım Panosu

DC: Doğru Akım

GES: Güneş Enerjisi Santrali

KVA: Kilovolt-Amper

KW: Kilowatt

Kwh: Kilowatt saat

NY Y: N: Bakır İletken, Y: PVC iç dolgu izolasyonu, Y: PVC dış katman izolasyonu

OG: Orta Gerilim

PV: Photo Voltaic

XLPECU: Yüksek Gerilim Kablosu Bakır

## 1. GİRİŞ

Günlük yaşam faaliyetlerinin gerçekleştirilmesinde enerjinin farklı biçimleri yoğun olarak kullanılmaktadır. Günümüzde nüfusun ve gelişen teknolojiye bağlı olarak yaşam kalitesinin artmasıyla enerji ihtiyacı da sürekli olarak artmaktadır (Özgüven, 2018). Fosil kökenli yakıt tüketiminin neden olduğu sera gazlarının atmosfere karışması küresel ısınma sorununu ortaya çıkarmaktadır. Son yüzyılda fosil kökenli yakıtların yoğun kullanılması sonucunda atmosferdeki CO<sub>2</sub> miktarının sanayi devrimi öncesindeki değeri olan 270 ppm seviyesinden 389 ppm seviyesine yükseldiği bilinmektedir. Küresel ısınma etkisiyle ortalama dünya yüzey sıcaklığının 0.8 °C artmış olduğu bilinmektedir. Sıcaklık artışının 4 °C'ye ulaşması durumunda, dünyanın birçok bölgesinin insanların yaşaması için elverişli olmaktan çıkacağı uzmanlar tarafından ifade edilmektedir (Kasap ve ark., 2012).

Fosil yakıtlar, çağımızın en büyük çevre sorunlarından biri olarak kabul edilen iklim değişikliği sorununda ilk sırada yer almaktadır. İklim değişikliğine neden olan sera gazları arasında en büyük paya sahip olan CO<sub>2</sub> miktarının önemli bir bölümü fosil yakıtların yanmasından kaynaklanmaktadır. Fosil yakıtların çevresel etkileri türlerine göre ayrılarak aşağıda verilmektedir (Anonim, 2012).

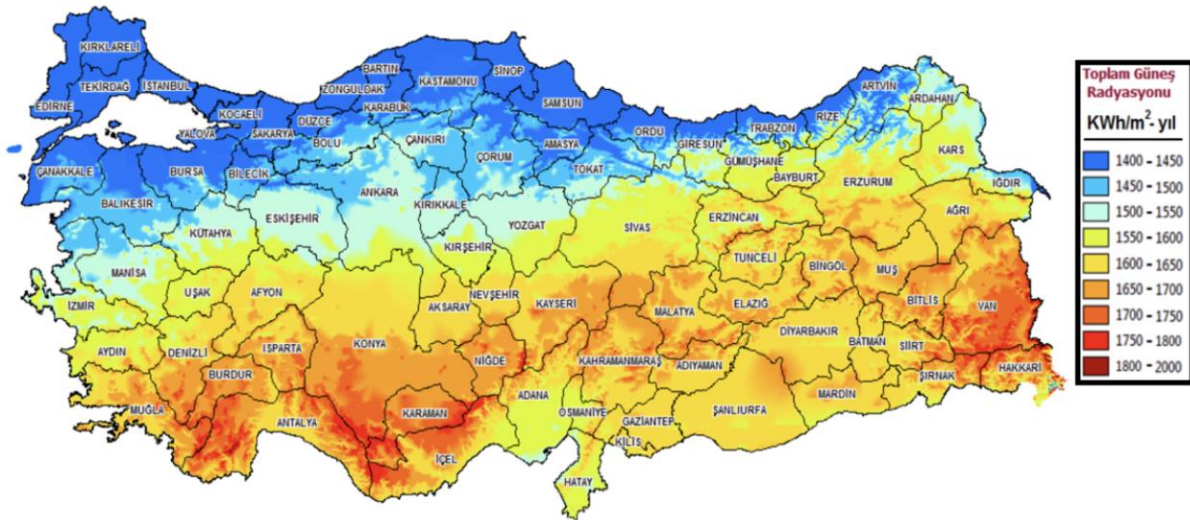
Kömür, linyit vb. katı yakıtlar, ısıl değeri ve kalitesi ile kükürt ve kül içeriğine göre yanma sonrası kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>), azot oksitler (NO<sub>x</sub>) ve toz emisyonları oluşmakta ve bu gazların atmosfere karışması hava kirliliğine neden olmaktadır. Küller ise atık oluşturmakta ve gerekli önlem alınmaz ise depolandığı yerde tozlanmaya neden olmaktadır. Ayrıca içeriğindeki ağır metaller yer altı sularına karışabilmektedir.

Sıvı yakıtların oluşturduğu CO<sub>2</sub> miktarı katı yakıtlara göre daha düşüktür. Ancak kükürt içeriği ve kalitesine göre oluşturulan çevresel etkiler değişebilmektedir. Bu nedenle katı yakıtlara göre daha az sorunlu olarak kabul edilmektedir.

Doğalgaz toz ve kül içeriğinin çok düşük olması nedeniyle temiz yakıt olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle baca gazında SO<sub>2</sub> ve toz emisyonları sorun teşkil etmemektedir. Doğal gaz kullanımında, CO<sub>2</sub> oluşumu en düşük seviyede olmasına rağmen, yanma sıcaklığının yüksek olması nedeniyle NO<sub>x</sub> oluşumu yüksektir.

Güneş, 1.39 milyon km çapında, dünyaya yaklaşık 150 milyon km uzaklıkta ve yarıçapı 700 000 km dir. Güneşin kütlesi, dünyanınkinin 330 000 katı olup,  $2 \times 10^{30}$  kg'lık sıcak gazlardan meydana gelmektedir. Güneşin merkezindeki sıcaklık 15-16 milyon °K, yüzeyindeki sıcaklık ise 6000 °K dir. Bir atom fırını olan güneş, her saniyede 587 milyon ton hidrojeni 583 milyon ton helyuma çevirmekte ve aradaki 4 milyon tonluk kütleyi enerjiye dönüştürerek uzaya göndermektedir. Güneşin bir yılda gönderdiği enerji,  $3\,000 \times 10^{27}$  kcal'dir. Bir yıl içinde Güneş'ten Dünya'ya gelen enerjinin değeri ise yaklaşık  $1.30 \times 10^{21}$  kcal'dir. 1 kg taş kömürünün ısıl değeri 7 000 kcal olarak alınıp hesaplama yapıldığında, güneş'ten dünya atmosferine bir yılda 190 trilyon ton taşkömürüne eşdeğer enerjinin meydana geldiği anlaşılmaktadır (Özgüven, 2018).

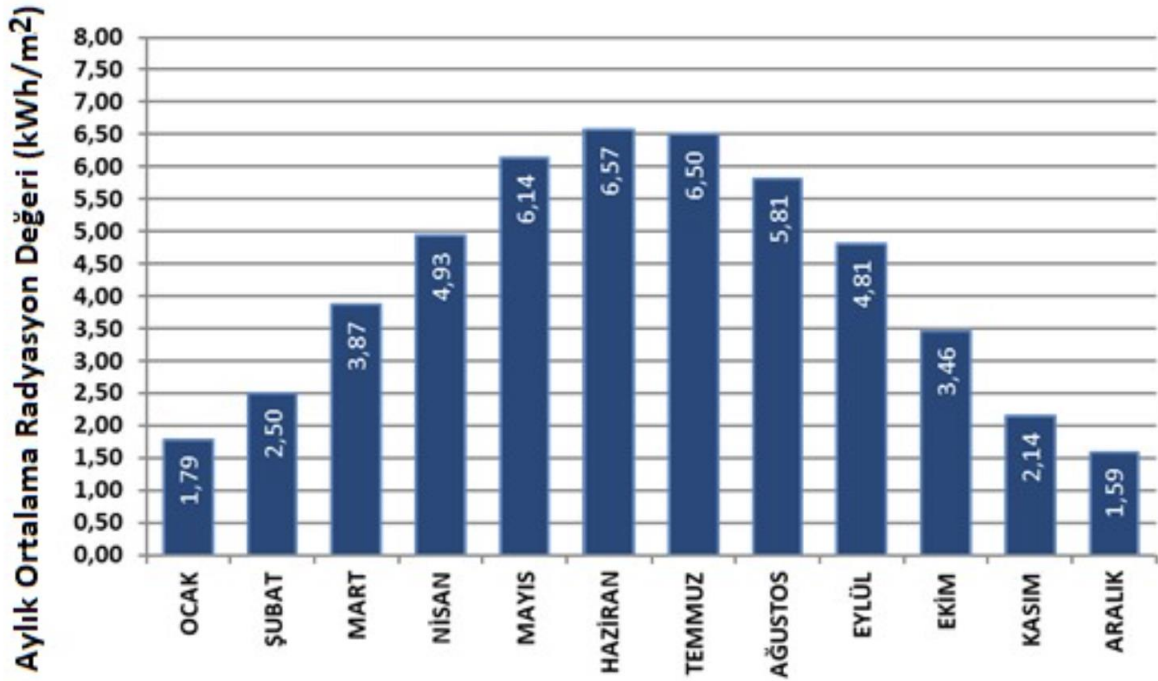
Ülkemiz 36-42° kuzey enlemleri arasında yer alması nedeniyle önemli bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan ve Şekil 1'yer alan, Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, ülkemizde ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2 741 saat ve ortalama yıllık toplam ışınım değeri  $1\,527.46$  kWh/m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. GEPA'da ülkemize ait güneş enerjisinin genel potansiyel görünümü ve aylık ortalama global radyasyon dağılımı bulunmaktadır (ETKB, 2024).



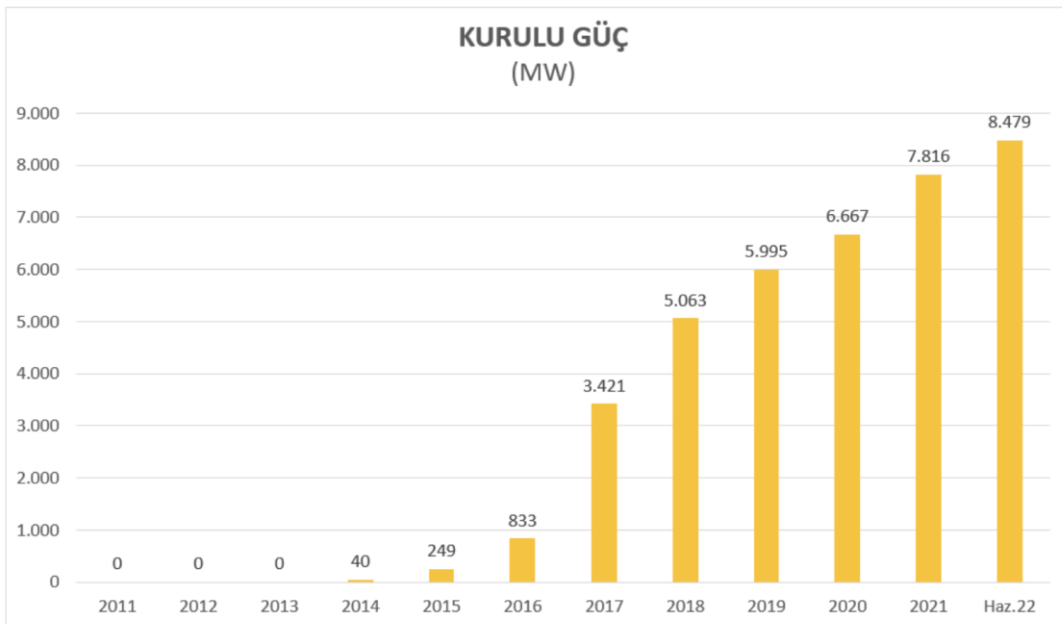
Şekil 1. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli (ETKB, 2024).

Enerji Bakanlığı verilerine göre ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2 640 saat (günlük toplam 7.2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti  $1\,311$  kWh/m<sup>2</sup>-yıl (günlük toplam  $3.6$  kWh/m<sup>2</sup>) olarak belirlenmiştir (ETKB, 2016). Ülkemizin güneşlenme süresinin en yüksek

olduđu deđer 6.57 kWh/m<sup>2</sup> ile Haziran ayında ve en dűřük deđer ise 1.59 kWh/m<sup>2</sup> olarak Aralık ayında gerçekleřmiřtir (řekil 2). Ayrıca űlkemizde Haziran 2022 sonu itibariyle gűneř enerjisine dayalı elektrik kurulu gű 8 479 MW'e ulařtıđı řekil 3'de gűrűlmektedir (ETKB, 2024).

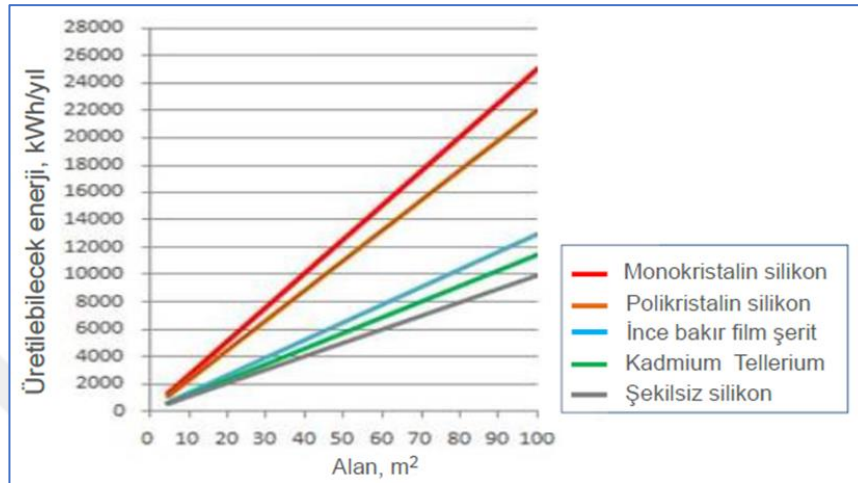


řekil 2. űlkemizde aylara gűre gűneřlenme sűrelerinin deđiřimi (ETKB, 2024)



řekil 3. űlkemizin gűneř enerjisine dayalı elektrik kurulu gűcűnűn yıllara gűre deđiřimi (ETKB, 2024).

2018 yılında devreye alınan yeni güneş enerjisi santralleri ile Türkiye’deki güneş enerjisi santrallerinin sayısı 5 868 adete yükselmiştir. Bu santrallerin 4 981.2 MW’ı lisanssız ve 81.8 MW da lisanslı olmak üzere toplam kurulu gücü 5 063 MW’a ulaşmıştır. Ayrıca kurulu toplam güneş kolektörlerinin kapladığı alan yaklaşık 20 200 000 m<sup>2</sup> ve elde edilen ısı enerjisi üretimi değeri ise 876 720 TEP (Ton Eşdeğer Petrol) olarak hesaplanmıştır (Şekil 4) (ETKB, 2019).



Şekil 4. Türkiye toplam üretilen güneş enerjisi miktarı (kWh-Yıl) (ETKB, 2019)

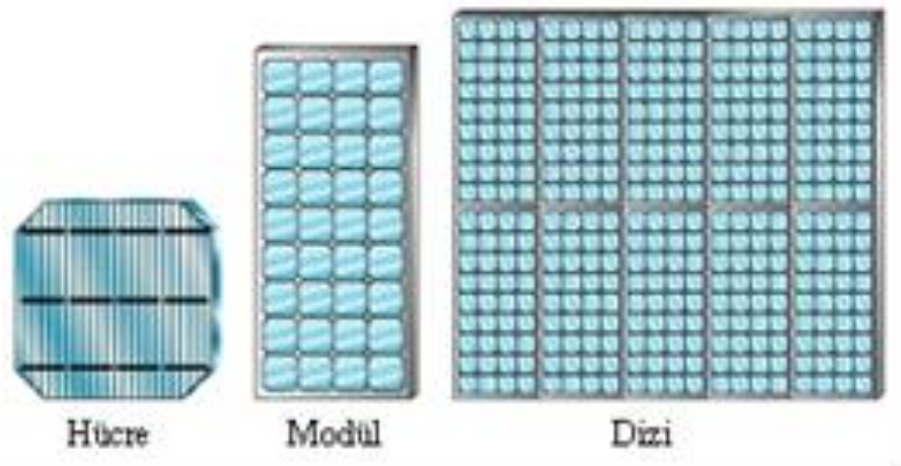
Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı Çizelge 1’de verilmektedir.

Çizelge 1. Türkiye toplam güneş enerjisi potansiyeli bölgesel dağılımı (ETKB, 2016).

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m <sup>2</sup> -yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/yıl)
Güney Doğu Anadolu	1 460	2 993
Akdeniz	1 390	2 956
Doğu Anadolu	1 365	2 664
İç Anadolu	1 314	2 628
Ege	1 304	2 738
Marmara	1 168	2 409
Karadeniz	1 120	1 971

Çizelge 1 incelendiğinde, Türkiye’nin en fazla güneş enerjisi alan bölgelerinin sırasıyla Güney Doğu Anadolu (2 993 h), Akdeniz (2 956 h), Ege Bölgesi (2 738 h) ve en az güneş alan bölgesinin ise 1 971 h ile Karadeniz bölgesi olduğu görülmektedir.

Güneş pili ya da fotovoltaik (PV) sistem (Şekil 5), yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken maddelerdir. Yarı iletken özellik gösteren birçok madde arasında güneş pili yapmak için en elverişli olanlar, silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellür gibi maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen veya daire şeklinde alanları 100 cm<sup>2</sup> civarında, kalınlıkları ise 0,2- 0,4 mm civarındadır. Güneş enerjisi, güneş pilinin yapısına bağlı olarak % 5 ile % 20 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilmektedir. Güneş pili hücreleri daha yüksek akım, gerilim veya güç seviyesi elde etmek için elektriksel olarak seri veya paralel bağlanmaktadır. Çevre etkilerine karşı sızdırmazlık sağlayacak şekilde birbirine eklenmiş güneş pili hücrelerinin monte edildiği yapıya güneş pili modülü denilmektedir. Modüller, elde edilen gerilimi arttırmak için seri, akımı arttırmak için ise paralel olarak bağlanmaktadır. Elektrik kabloları ile birbirine bağlanmış iki veya daha çok sayıda güneş pili modülünü içeren yapıya ise güneş pili paneli denilmektedir. Güneş pili dizisi belli sayıda güneş pili modülü veya paneli içeren enerji üretim ekipmanlarıdır (Özgüven, 2018).



Şekil 5. Güneş pili hücre, modül ve dizisi (Özgüven, 2018).

PV sistemler, özellikle yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yörelerde, jeneratöre yakıt taşımının zor ve pahalı olduğu durumlarda, şebeke bağlantısı olmadan kullanılabileceği gibi, şebeke bağlantılı olarak kullanılabilir. Şebeke bağlantılı sistemlerde üretilen elektriğin fazlası ana şebekeye verilmekte ve yeterli enerjinin üretilmediği durumlarda ise şebekeden enerji alınmaktadır. Böyle bir sistemde enerji depolanmasına gerek olmamakla birlikte, üretilen DC elektriğin, AC elektriğe çevrilmesi ve şebekeye uyumlu olması yeterlidir (Özgüven, 2018).

## 2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Çubukçu ve Çolak (2013) yaptıkları çalışmada, yerleşik ve şebekeden bağımsız 2 kW anma gücündeki bir PV güç sisteminin performans analizini hem benzetim hem de gerçek zamanlı ölçüm değerleri kullanarak belirlemişlerdir. Çalışma sonunda sistem verimi ve gerçekleştirme oranı parametreleri sırasıyla benzetim çalışmasında % 5 ve % 41 gerçek çalışma koşullarında ise % 4 ve % 32,4 olarak belirlendiği rapor edilmiştir. Araştırmacılar sonuçlar arasındaki farkın kısmi gölge etkileri ile belli dönemlerde düşük yük talebinin üstünde üretilen enerjinin sınırlanması sonucu oluştuğunu vurgulamışlardır.

Wittmer ve ark., (2015) yaptıkları çalışmada; şebekeye bağlı PV tesislerin izleme verilerinin, bir PV tesisinin çalışmasını ve performansını takip etmek için önemli bir kaynak olduğunu ve ana hata türlerinin sadece bu verilerin analizinden tespit edilebildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, ölçülen izleme verilerini ayrıntılı simülasyon sonuçlarıyla birleştirmek, daha detaylı problemleri ortaya çıkarabilmek için yardımcı olabilecek ek bilgiler sağladığını bildirmişlerdir. Çalışmada bir PV kurulumunun ölçülen ve simüle edilmiş verileri karşılaştırılmış ve PVsyst yazılımı kullanılarak arızaların tespit edilmesi veya uzun vadede üretim sonuçlarının görüntülenmesi için zamana karşı ölçümlerin gelişimi ve sistem performansı ile sistematik hatalar belirlenmiştir.

Aksangör ve ark., (2019) çalışmalarında, PVsyst programlarını kullanarak Ankara ili merkezinde bulunan bir kampüsün bazı binalarının elektrik ihtiyacının PV sistemlerle karşılanması için tasarlanacak sistemden elde edilebilecek enerji miktarı ve sistemin performans oranını belirlemişlerdir. Çalışmada binaların uygun çatı alanlarına 2 160 adet 280 W güçte mono-Si PV panel yerleştirilmesi ve 16 adet 32 kWac güçte evirici kullanılması durumunda, sistemin kurulu gücünün 604.8 kWh, sistemin şebekeye verdiği yıllık enerji miktarının 712.3 MWh ve sistemin performans oranının ise %84.1 olarak hesaplandığı rapor edilmiştir.

Arıkan ve ark., (2019) yaptıkları çalışmada, şebekeden bağımsız 600 W rüzgar türbini, 2x320 W fotovoltaiik panel ve 4x210 Ah akü içeren hibrit sistemin deneysel ve simülasyon sonuçları incelenmiştir. Çalışmada PV panelleri aynı olmasına rağmen, panel, türbin ve çıkış gücü kontrolü için hibrit ve inverter kontrolcülerin kullanılması sonucunda panellerdeki anlık çıkış güçlerinin sırasıyla 52.32 W ve 50.98 W ve ölçümler sırasında ortalama rüzgar hızının 3,04 m/s ve rüzgar gücünün 52.17 W olarak hesaplandığı bildirilmiştir.

Atalay Ayran (2019) çalışmasında, PVsyst V6.78 programı ile 336 kWh güce sahip farklı tipte PV paneller kullanıldığı bir sistem tasarımı ve bu sistemin ekonomik analizini simüle etmiştir. Çalışmada, simulasyon sonuçları ile bir yıllık gerçek enerji üretim değerleri karşılaştırılmış ve çalışma sonunda % 16'lık bir fark olduğu belirlenmiştir. Araştırmacı bu farkın santralde meydana gelen arızalara zamanında müdahale edilememesi ve üretimde meydana gelen duraksamalardan kaynaklanabileceğini belirtmiştir.

Özcan ve İzgi (2020) çalışmalarında PVsyst ve PV\*SOL programlarını kullanılarak 1 MW şebekeye bağlı, mono-kristal, poli-kristal ve ince film üç PV sistemin performans analizini yapmışlardır. Çalışma sonuçlarına göre, mono-kristal silikon 1 416 MWh/yıl, poli-kristal silikon 1 202 MWh/yıl ve ince film sistemlerin ise 1 150 MWh/yıl elektrik üreteceği tahmin edilmiştir. Araştırmacılar elde edilen performans oranlarının sırasıyla mono-kristal panelde %85, poli-kristal panelde %72.1 ve ince filmde %70 olarak belirlendiği bildirilmiştir.

Çınaroğlu ve Nalbantoğlu (2021) çalışmalarında, Kilis İlinde bulunan 1 040 kWp, 1 029 kWp ve 1 000 kWp kurulu güce sahip üç adet PV santraline ait gerçek üretim değerleri ile o bölgeye ait meteorolojik veriler ve PVsyst 7.1. simülasyon programında yer alan Meteonorm 7.3. aracılığıyla oluşturulan sentetik verileri ile oluşturulan simülasyondaki üretim değerleri üç yıl süreyle karşılaştırılmıştır. Çalışma sonunda sonuçların birbirine yakın ve gerçek santral enerji üretim değerlerinin daha az olduğu belirlendiği bildirilmiştir. Araştırmacılar aradaki farkın, hava şartlarında görülen değişen sıcaklıklar, bulutlu günlerin olması, gerçekleşen hava olaylarının tahmin edilememesi ve panel üzerinde biriken kar, toz gibi sebeplerden kaynaklandığı sonucuna varıldığını belirtmişlerdir.

Verma ve ark., (2021) çalışmalarında sıcak-kuru iklime sahip yarı kurak bir bölgede 100kWp, 300kWp ve 2MW kapasiteli şebekeye bağlı PV santrallerinin performans değerlendirmesini yapmışlardır. Çalışmada gerçekte ölçülen performans verileri PVSYST yazılımı kullanılarak oluşturulan simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırılmakta ve performanslarındaki fark analiz edilmektedir. Çalışma sonunda gerçek performans oranları sırasıyla 100 kW'lık santralde %79.34, 300 kW'lık santralde %72.64 ve 2MW'lık santralde %74.3 olarak belirlendiği ve 100kWp, 300kWp ve 2MWp santral için simüle edilen performans oranları sırasıyla %83.72, %76.85 ve %80.9 olarak hesaplandığı bildirilmiştir. Araştırmacılar PV santrallerinin yarı kurak bölgelerde iyi performans gösterdiğini ve en iyi performansın Mart, Nisan ve Mayıs aylarında gözlemlendiğini belirtmişlerdir.

Mohamed ve ark., (2022) çalışmalarında, PVsyst programını kullanarak tek ve çift yüzeyli panellerin ekonomik analizini yapmışlardır. Çalışma sonunda, çift yüzeyli PV sisteminin, tek yüzeyli PV modüllerine göre daha düşük elektrik maliyetine sahip olduğu ve %4.48 daha fazla enerji üretimi yapabileceği belirlenmiştir.

Bayyigit ve ark., (2023) yaptıkları çalışmada, PVsyst yazılımını kullanarak tek yüzeyli ve çift yüzeyli panellerin aynı koşullar altında performanslarını karşılaştırmışlardır. Çalışmada, belirtilen panel verimliliklerinin kıyaslandığı, albedo etkisinin incelendiği, CO<sub>2</sub> emisyon analizi ve teknik analizlerin yapıldığı bildirilmiştir. Çalışma sonunda, ortalama performans oranı ve üretim performansları sırasıya tek yüzeyli panellerde %82.21 ve 1 537 kWh/yıl ile çift yüzeyli panellerde %93.06 ve 1 740 kWh/yıl olarak belirlendiği rapor edilmiştir. Araştırmacılar elde edilen sonuçlara göre çift yüzeyli panellerin tek yüzeyli panellere göre yıllık ortalama enerji üretiminin % 13 daha yüksek olduğunu bildirmiştir.

Bendaas ve ark., (2023) yaptıkları çalışmada, sıcak bir iklimde bulunan büyük ölçekli, şebekeye bağlı bir fotovoltaik enerji santralının gerçek verileri ile PVsyst programında oluşturulan simülasyonlar kullanılarak performans değerlendirmesi yapmışlardır. Çalışma sonunda santralde 4.98 kWh/kWp/günlük nihai verim, %71.67'lik bir performans oranı, %20,72'lik bir kapasite faktörü ve %10.66'lık bir küresel sistem verimliliği olduğunu ve 2018'de 19 388 metrik ton karbon tasarrufu sağlandığı ve simüle edilen verilerde 5.36 kWh/kWp/günlük nihai verim, %77'lik bir performans oranı, %22.38'lik bir kapasite faktörü ve %11.55'lik bir küresel sistem verimliliği öngörüldüğü bildirilmiştir.

Saldamlı ve ark., (2023) çalışmalarında, 1 eksenli, 2 eksenli ve sabit açılı olarak tasarlanan üç farklı santral tipi PLC yazılımı ile açık çevrim olarak kontrol edilmiş ve santraller arasındaki üretim farklılıklarını 1 yıl boyunca değerlendirmişlerdir. Çalışma sonuçlarına göre, 2 eksenli takip sistemlerinin sabit açılı bir sisteme göre yılda yaklaşık % 32 daha fazla enerji ürettiği, 1 eksenli bir sisteme göre ise yıllık verimlilik oranının %23 daha yüksek olduğu sonucuna varıldığı bildirilmiştir.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

Kayseri ilinde mevcut şebekeye bağlı bir 1MW güneş enerjisi santralinde tez çalışması yürütülmüştür. Güneş panelleri her 1MW için Trina Honey modül 265W, 60 hücreli 4 busbarlı hücreler kullanılmıştır (Şekil 6). Panellerin saha yerleşimi 4'lü yatay olarak tasarlanıp sahada uygulanmıştır. Sahada toplam 4 488 adet güneş paneli kullanılmıştır. Panel dizileri 22'li seri olarak tasarlanmıştır. Sahada toplam olarak 204 adet dizi bulunmaktadır.



Şekil 6. GES tesisinde panellerin model özellikleri ve yerleşimi.

Paneller 1x6 mm<sup>2</sup> PV1-F solar kablo ile irtibatı sağlanarak DC toplama kutularına taşınmıştır. DC toplama panosu her 1MW için sahada toplam 17 adet DC toplama panosu kullanılmıştır. Dizilerin + ve - kutupları baralarda toplanarak her bir bara için 1x50 mm<sup>2</sup> NYY kablo kullanarak invertere aktarılmıştır. DC toplama panoları içerisinde dizilerin + ve - kutupları toplamak için 24 adet sigorta kullanılmıştır. İnverter (Her 1MW için) SMA Sunny Tripower 60 kW invertörler kullanılmıştır.

Sahada toplam 17 adet SMA marka ve STP 60-10 model inverter kullanılmıştır (Şekil 7). İnverterlerden 4x35NYY mm<sup>2</sup> kablosu ile çıkış alınarak AC Boxlarda toplanmıştır. AC Sistem Tasarımı, sistem inverterler gruplanarak SDP'lerde oradanda ADP'ye aktarılacak şekilde

tasarlanmıştır. Sistemde 5 adet SDP panosu bulunmaktadır. SDP'den 3x(2x1x150) mm<sup>2</sup>'lik NAYY kablolar ile ADP'ye aktarımı gerçekleşir. Trafo ve Bağlantıları (Her 1MW için) Astor markalıdır ve güçleri 1 250 KVA'dır. Trafolar kesicili TR Koruma hücrelerine 1x95/16 mm<sup>2</sup> XLPE CU ile bağlanmıştır. Beton köşkler ve og hücreler, Santrallerde kullanılan beton köşkler ve hücreler aysan markadır. GES santrallerinde bulunan köşklerde yük ayırıcılı giriş çıkış hücresi, ölçü hücresi ve kesicili trafo koruma hücresi olmak üzere toplam 3 adet OG hücre bulunmaktadır.



Şekil 7. GES tesisinde bulunan invertör marka ve model özellikleri

Dağıtım merkezi olarak kullanılan beton köşkte iki adet kesicili giriş çıkış hücresi bir adet iç ihtiyaç hücresi ve bir adet otoprodüktör hücresi bulunmaktadır. Bağlantı merkezi olarak inşaat edilen mod5 tipi bina içerisinde beş adet kesicili giriş çıkış hücresi bir adet iç ihtiyaç hücresi ve yük ayırıcılı trafo koruma hücresi bulunmaktadır.

### 3.2. Yöntem

PV sisteminin performans parametrelerinin değerlendirilmesinde, PV modüllerinde üretilen toplam enerji miktarı, sistem verimi, referans verimi, nihai verim, performans oranı ve kapasite faktörü değerleri kullanılmıştır.

#### 3.2.1. PV modüllerinde üretilen toplam enerji miktarı

Maksimum gücün anlık değerlerinin ölçüm aralığına entegrasyonu, PV modüllerinde üretilen enerji ( $E_{AC}$ ) miktarını vermektedir (Guenounou ve ark., 2016). Aylık üretilen enerji miktarı (Başoğlu ve ark., 2015):

$$E_{AC} = \int_0^{t_s} P_{AC} dt \quad (1)$$

Burada;

$t_s$ : entegrasyon periyodu,

$dt$ : süre,

$P_{AC}$ : toplam AC kurulu güç değeridir.

Anlık enerji çıkışı ise, DC enerjinin AC enerjisine 4 dakika aralıklarla dönüştürülmesinden sonra, PV sistemi tarafından üretilen enerjinin ölçülmesiyle elde edilmektedir (Ayompe ve ark., 2010).

### 3.2.2. Sistem verimi

PV sistemlerinin enerji performansı, modüllerde kullanılan ekipmanların genel verimliliğine bağlıdır (Guenounou ve ark., 2016). Sistem verimliliği, sistem tarafından üretilen enerjinin PV yüzey oranına yansıyan radyasyon miktarına göre günlük, aylık veya yıllık periyotlarda hesaplanmaktadır. Sistem verimi (Adaramola ve Vagnes, 2015):

$$n_{sys} = E_{AC}/(A \cdot H_T) * 100 \quad (2)$$

Burada;

$E_{AC}$ : İnverterden üretilen günlük AC enerji (kWh/gün),

$A$ : PV dizi alanı ( $m^2$ ),

$H_T$ : Belli bir düzleme gelen toplam güneş ışınımıdır ( $kWh/m^2$ ).

### 3.2.3. Referans Verimi

Standart test koşullarında referans ışınımın toplam düzleme gelen güneş ışınım oranına referans verim denilmektedir (Kymakis ve ark., 2009):

$$Y_R = H_T / G_{STC} \quad (3)$$

Burada;  $Y_R$ : Referans verim,

$H_T$ : Belli bir düzleme gelen toplam güneş ışınımı ( $kWh/m^2$ ),

$G_{STC}$ = Standart test koşullarında referans ışınımıdır ( $1 kW/m^2$ ).

### 3.2.4. Nihai Verim

Nihai verim, sistem büyüklüğüne uygun olarak üretilen enerjinin normalizasyonuna izin veren ideal bir gösterge değeridir. Nihai verim, PV sistemden elde edilmiş üretilen yıllık, aylık veya günlük enerjinin evirici tarafından AC enerjiye dönüştürülmesinden sonra ortaya çıkan enerji değerinin,  $STC$  koşulları altında verilen PV dizilerinin nominal güç değerine oranıdır (Marion ve ark., 2005; Al-Otaibi ve ark., 2015; Allouhi ve ark., 2016):

$$Y_F = E_{AC} / P_{DC} \quad (4)$$

Burada;  $Y_F$ : Nihai verim,

$E_{AC}$ : İnverterden üretilen günlük AC enerji ( $kWh/gün$ ),

$P_{DC}$ :  $STC$  koşulları altında verilen PV dizisinin nominal güç değeridir ( $1 kW/m^2$ ).

### 3.2.5. Performans Oranı

Performans oranı, alınan güneş ışınımlarına göre şebekeye beslenen enerjiyi normalleştiren bir gösterge değeri olmakla birlikte, üretilen enerjinin, referans üretim değerine oranıdır. Bu oran farklı bölgelerde ve farklı zamanlarda PV sistemlerinin performanslarını değerlendirmek için kullanılmaktadır (Ayompe ve ark., 2010; Rehman ve El-Amin, 2012):

$$P_R = Y_F / Y_R \quad (5)$$

Burada;

$P_R$ : Performans oranı,

$Y_F$ : Nihai verim,

$Y_R$ : Referans verimidir.

### 3.2.6. Kapasite Faktörü

Kapasite katsayısı, gerçek yıllık enerji çıkışı olan  $E_{AC}$ ' nin bir yıl boyunca günde 24 saat tam güçte  $P_{DC}$ ' de çalıştırıldığı durumda, PV sisteminin üreteceği enerji miktarına oranıdır (Ayompe ve ark., 2010).

$$CF = E_{AC}/(24*365*P_{DC}) \quad (6)$$

Burada;

$CF$ : Kapasite katsayısı,

$E_{AC}$ : İnverterden üretilen günlük AC enerji (kWh/gün),

$P_{DC}$ : STC koşulları altında verilen PV dizisinin nominal güç değeridir (1 kW/m<sup>2</sup>).

PV sistemin performans analizinin yapılabilmesi için kurulu olan güneş enerji santralinde her bir panelin ürettiği enerjiler elektrik ölçüm sayacında toplanmaktadır. Analizlerin gerçekleştirilmesi için farklı tiplerde simülasyon programları bulunmaktadır. Bu çalışmada Kayseri ilinde mevcut şebekeye bağlı bir 1MW güneş enerjisi santralinin performans analizi için Solarrelax simülasyon programı kullanılacaktır. Solarrelax simülasyon programı kullanılarak güneş enerjisi sahasında bulunan elektrik ölçüm sayacı (saati) üzerinden kWh olarak alınan enerji üretim verileri saatlik, günlük, aylık olacak şekilde raporlanmaktadır.

## **4. BULGULAR**

Tez çalışmasının yapıldığı Kayseri ilinde mevcut şebekeye bağlı bir 1MW güneş enerjisi santralinde üretilen elektrik miktarları Excel’de düzenlenmiştir. Yılın en uzun günü olmasının yanı sıra Solarrex GES takip sistemi programında günlük enerji üretiminin en fazla olduğu günlerden biri olan 21 Haziran günü seçilmiş olup, 2021, 2022, 2023 ve 2024 yıllarında bu günde yarım saat aralıklarla üretilen anlık enerji miktarları elde edilmiştir. Günün farklı saatlerinde enerji üretimindeki değişim incelenmiştir. Aynı zamanda, gün içindeki sıcaklık değişimleri ve nem miktarları incelenmiş ve üretim miktarı üzerindeki etkileri tartışılmıştır. Mevsimsel olarak enerji üretim miktarları karşılaştırma yapılmıştır. Son olarak ise, 2017-2024 yılları arasında yıllık ortalama üretim miktarları çizelgelerle sunulmuştur.

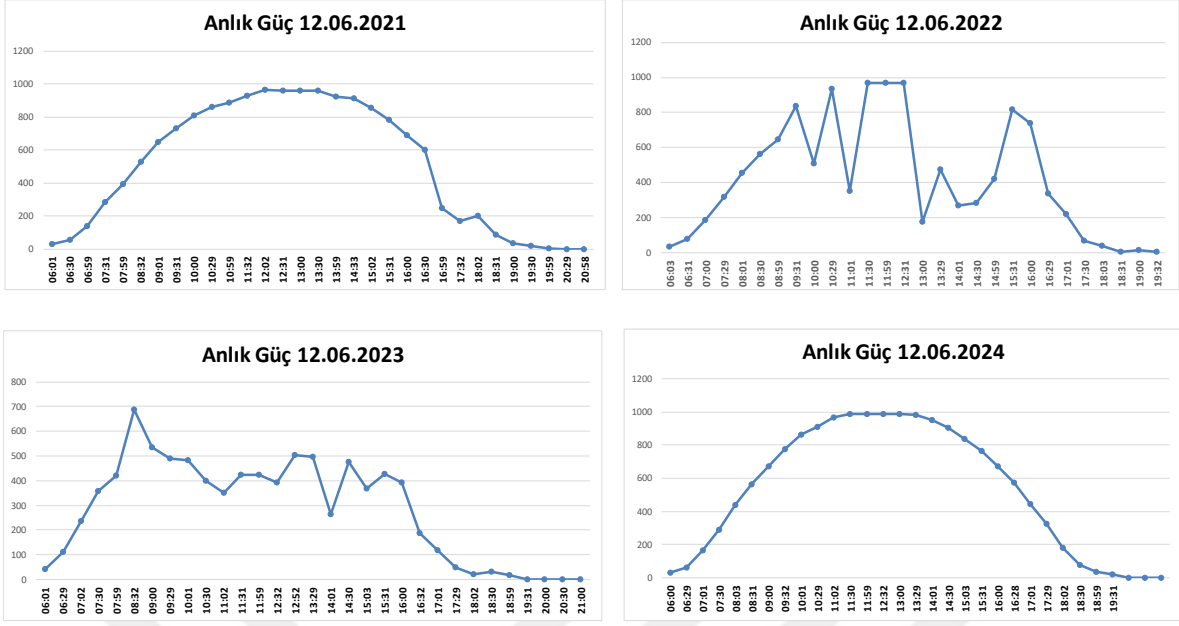
### **4.1. Gün içinde üretim miktarındaki anlık değişim**

Birgün içerisinde saat 06:00 ile 19:30 saatleri arasında yarımşar saat aralıklarla anlık üretilen enerji miktarları kaydedilmiştir. Yılın en uzun gündüzünün yaşandığı 21 Haziran tarihi seçilmiştir. Bu tarihin seçilmesinde, gün içerisinde üretilen toplam enerji miktarının maksimum seviyelerde olmasının etkisi de bulunmaktadır. 2021, 2022, 2023 ve 2024 yıllarında, 21 Haziran tarihinde üretilen enerji miktarları Çizelge 2’de sunulmuştur.

Çizelge 2. Son 4 yılda 21 Haziran tarihinde yarım saat aralıkla üretilen enerji miktarları

Saat	Üretim Miktarı			
	2021	2022	2023	2024
06:01	27.46	34.74	42.8	31.51
06:30	53.07	79.7	112.05	58.09
06:59	139.1	184.11	236.1	163.18
07:31	284.89	317.45	356.55	288.25
07:59	394.8	453.93	420.9	441.16
08:32	528.99	564.44	689.03	561.17
09:01	645.82	646.42	536.19	669.95
09:31	731.22	838.03	488.94	774.77
10:00	807.8	507.96	482.05	861.79
10:29	857.49	933.93	398.93	912.27
10:59	888.14	350.04	352.36	967.69
11:32	929.99	970.73	423.48	990.28
12:02	961.96	970.69	424.24	990.15
12:31	959.78	970.56	391.72	990.14
13:00	961.17	177.29	503.86	990.02
13:30	958.86	476.3	497.75	981.22
13:59	924.37	266.9	263.27	951.77
14:33	913.13	283.91	475.31	908.02
15:02	853.29	421.25	368.1	836.64
15:31	782.24	817.27	428.05	764.12
16:00	690.33	736.71	392.44	674.32
16:30	600.54	339.69	186.33	574.75
16:59	246.02	220.34	119.69	445.52
17:32	168.68	67.4	48.6	324.62
18:02	202.42	39.49	19.55	180.65
18:31	87.2	5.05	32.86	75.2
19:00	35.46	16.17	16.07	32.32
19:30	19.76	4.66	0	18.41

Günün ilk saatlerinde düşük miktarda enerji üretilirken öğle saatlerine doğru üretilen enerji miktarları artmaktadır. Gün batımı yaklaştıkça ise üretilen enerji miktarı hızla azalmaktadır ve saat 19:30'dan sonra üretim durmaktadır. Bu değişim Şekil 8' de görülmektedir.



Şekil 8. Son 4 yılda 21 Haziran tarihinde üretilen enerji miktarlarındaki değişim

Şekil 8’ de görüldüğü üzere farklı yıllarda 21 Haziran tarihinde gün içerisinde enerji üretimi dağılımı değişiklik göstermektedir. 21 Haziran 2021 ve 21 Haziran 2024 tarihlerinde sabah saatlerinde düşük enerji üretimiyle güne başlanırken öğle saatlerinde maksimum üretim seviyesine ulaşır gün batımı saatlerine doğru ise yine enerji üretim miktarlarında düşüş görülmektedir. 2022 ve 2023 yıllarında 21 Haziran tarihlerinde ise sabah saatlerinde düşük enerji üretimi gerçekleşirken ilerleyen saatlerde enerji üretimlerinde bir dalgalanma meydana gelmiştir. Gün batımına doğru yine üretim miktarında azalma görülürken enerji üretimi daha erken saatlerde durmuştur.

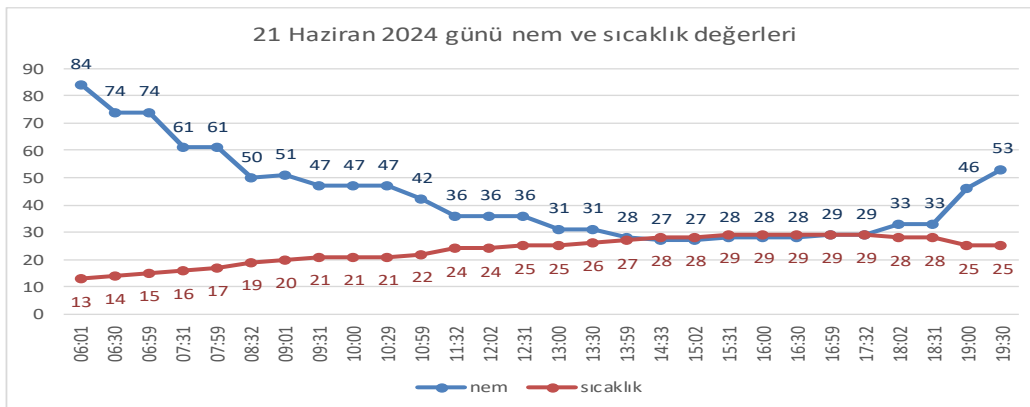
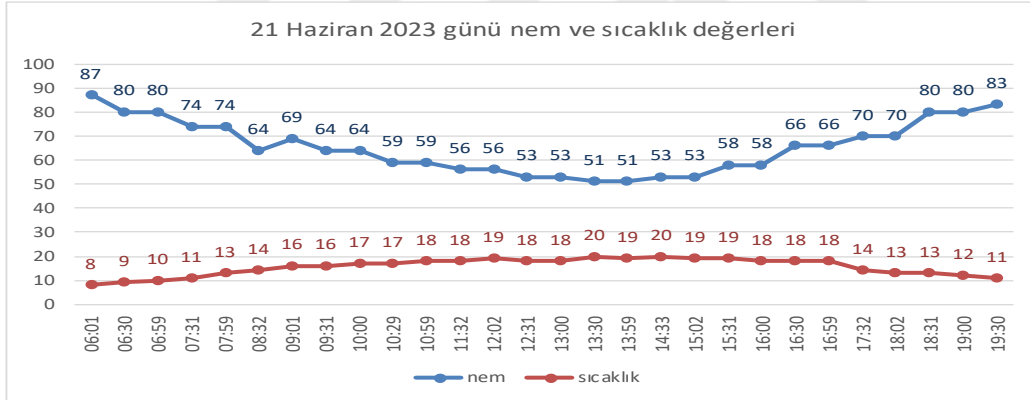
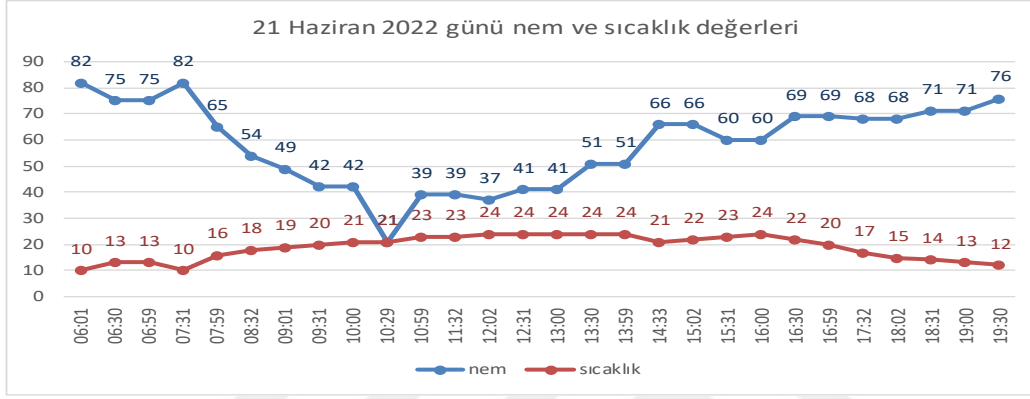
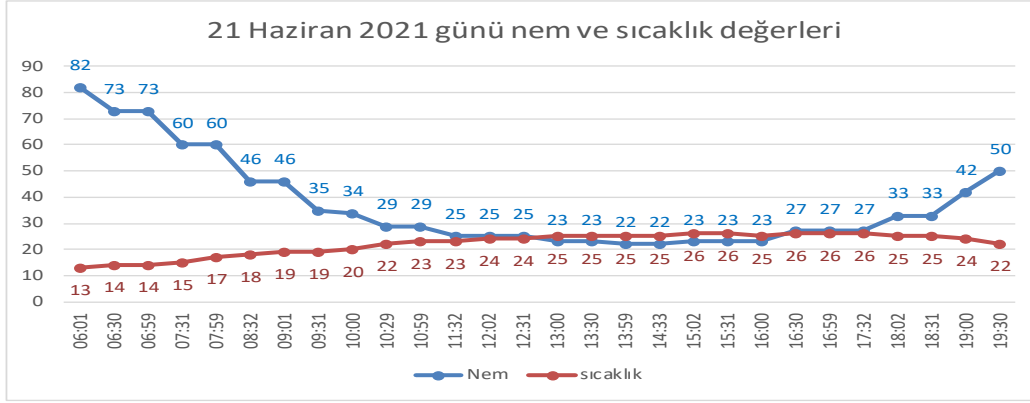
21 Haziran günlerinde aynı saatlerde sıcaklık, nem ve bulutluluk oranları Çizelge 3’ de sunulmuştur.

**Çizelge 3. 2021-2024 yılları arasında 21 Haziran tarihinde Sıcaklık, nem ve bulutluluk oranları**

Saat	2021			2022			2023			2024		
	Sıcaklık	Nem (%)	Bulutluluk (%)	Sıcaklık	Nem (%)	Bulutluluk (%)	Sıcaklık	Nem (%)	Bulutluluk (%)	Sıcaklık	Nem (%)	Bulutluluk (%)
06:01	13	82	0	10	82	0	8	87	0	13	84	0
06:30	14	73	0	13	75	0	9	80	0	14	74	0
06:59	14	73	0	13	75	0	10	80	2	15	74	0
07:31	15	60	0	10	82	0	11	74	2	16	61	0
07:59	17	60	0	16	65	0	13	74	15	17	61	0
08:32	18	46	0	18	54	0	14	64	28	19	50	0
09:01	19	46	0	19	49	0	16	69	28	14	51	0
09:31	19	35	0	20	42	0	16	64	28	21	47	0
10:00	20	34	0	21	42	2	17	64	28	21	47	0
10:29	22	29	0	21	21	2	17	59	39	21	47	0
10:59	23	29	0	23	39	2	18	59	44	22	42	0
11:32	23	25	0	23	39	2	18	56	44	24	36	0
12:02	24	25	0	24	37	11	19	56	46	24	36	0
12:31	24	25	0	24	41	26	18	53	46	25	36	0
13:00	25	23	0	24	41	26	18	53	47	25	31	0
13:30	25	23	0	24	51	40	20	51	47	26	31	0
13:59	25	22	0	24	51	40	19	51	100	27	28	0
14:33	25	22	0	21	66	49	20	53	69	28	27	0
15:02	26	23	0	22	66	53	19	53	100	28	27	0
15:31	26	23	0	23	60	87	19	58	100	29	28	0
16:00	25	23	0	24	60	87	18	58	98	29	28	0
16:30	26	27	0	22	69	93	18	66	98	29	28	0
16:59	26	27	0	20	69	93	18	66	98	29	29	0
17:32	26	27	0	17	68	96	14	70	99	29	29	0
18:02	25	33	0	15	68	96	13	70	99	28	33	0
18:31	25	33	1	14	71	96	13	80	99	28	33	0
19:00	24	42	1	13	71	96	12	80	99	25	46	0
19:30	22	50	1	12	76	97	11	83	99	25	53	0

Çizelge 3’ de görüldüğü gibi 2021 yılında 21 Haziran günü enerji üretiminin gerçekleştiği saatlerde en düşük hava sıcaklığı 13 °C iken en yüksek hava sıcaklığı 26 °C’ dir. 2022 yılında en düşük sıcaklık 10 °C, 2023 yılında 8 °C ve 2024 yılında 13 °C olarak ölçülmüş olup aynı yıllarda gün içerisindeki en yüksek hava sıcaklığı sırasıyla, 24 °C, 20 °C ve 29 °C olarak ölçülmüştür. Benzer şekilde bu yıllarda 21 Haziran günü havanın minimum ve maksimum nem oranları sırasıyla 2021 yılında %23-%82, 2022 yılında %37-%82, 2023 yılında %51-%87 ve 2024 yılında %27-%84 değerleri elde edilmiştir.

Üretilen enerji miktarlarını etkileyecek bir diğer durum bulutluluk oranıdır. Aynı tarihlerde havanın bulutluluk oranları 2021 ve 2024 yıllarında %0 olarak ölçülmüştür ve hava bulutsuzdur. 2022 ve 2023 yıllarında ise havanın bulutluluk oranı sabah saatlerinde %0 iken ilerleyen saatlerde %100’e kadar ulaşabilmektedir (Çizelge 3). Hava sıcaklığı ile nem oranı arasındaki ilişki ise Şekil 9’da görülebilmektedir.

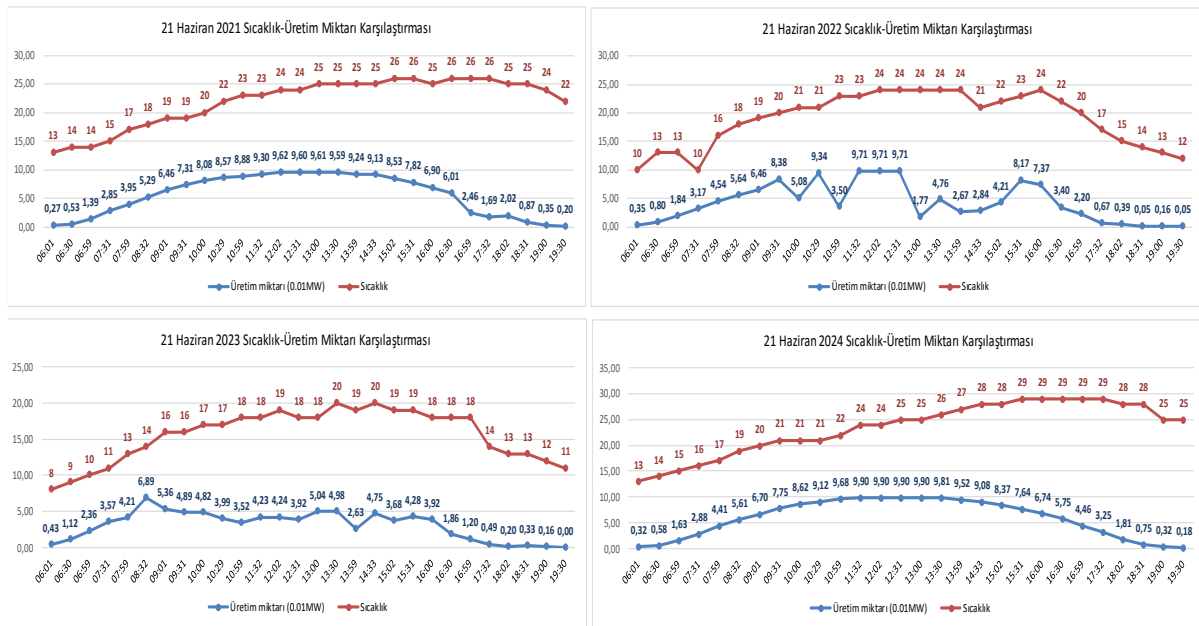


Şekil 9. 2021-2024 yılları arasında 21 Haziran tarihinde sıcaklık ve nem oranları karşılaştırılması

2021 ve 2024 yıllarında sıcaklık değerleri sabah saatlerinde düşük derecelerden başlayın artarak günün maksimum sıcaklık değerine ulaştıktan sonra enerji üretimi durana kadar azalmaktadır. Aynı tarihlerde benzer durum nem oranı içinde geçerlidir. Sabah saatlerinde havanın nem oranı en yüksek seviyesinden başlayarak gün ortasında minimum seviyesine ulaştıktan sonra gün batımına doğru artarak devam etmektedir. Sıcaklığın ve nem oranının gün içerisindeki değişimi parabolik bir yapıya sahiptir. 2022 yılında 21 Haziran tarihlerinde ise sıcaklık değerinde ve nem oranında gün içerisinde hafif dalgalanma görülmüştür (Şekil 10).

#### 4.1.1. Sıcaklık değişimi ile enerji üretim miktarlarının karşılaştırılması

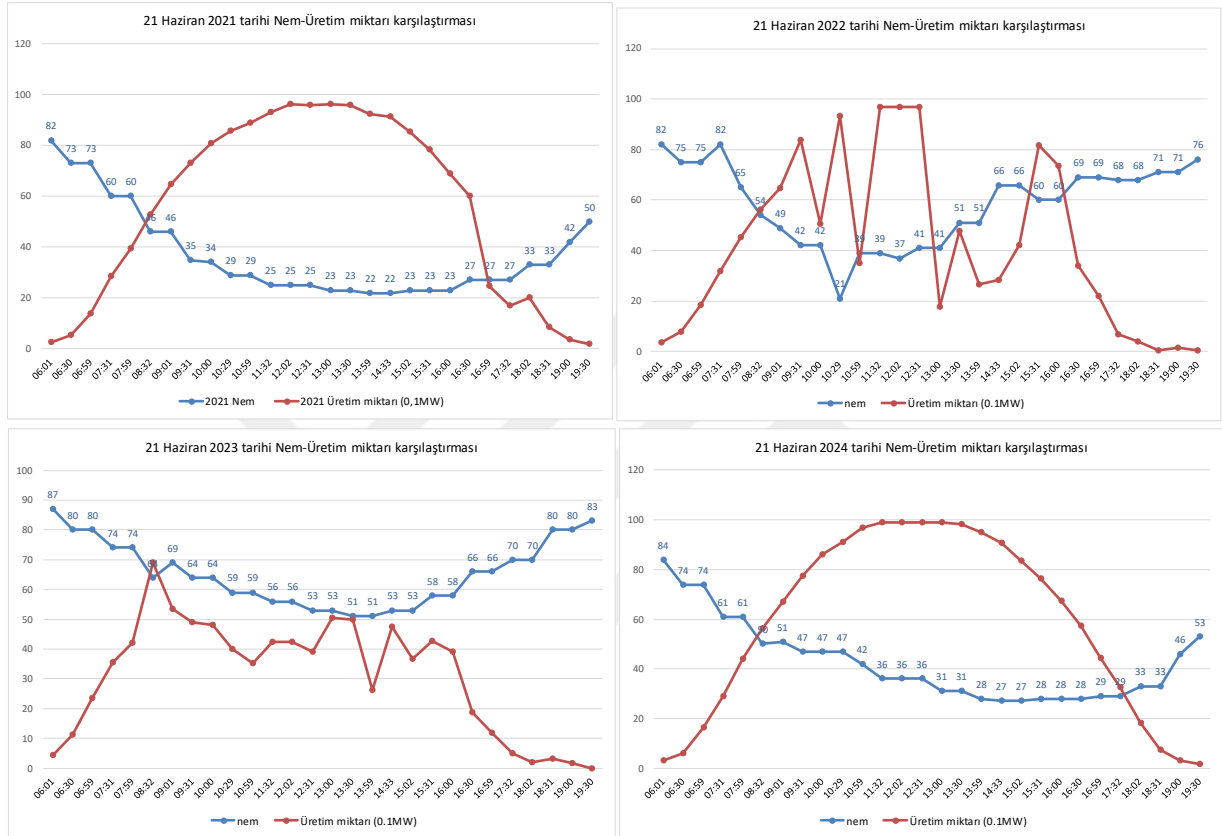
2021-2024 yılları 21 Haziran günlerinde gün içerisindeki sıcaklık değişimi ile üretilen enerji miktarları arasındaki ilişki incelenmiştir. Gün içerisindeki yarım saat aralıklı sıcaklık değişimi ile aynı saatlerdeki anlık enerji üretim miktarları Şekil 10’ da görülmektedir. Genel olarak, her iki değişkenin de grafiksel dağılımı benzerlik gösterse de üretim miktarının sıcaklık dışında etkenlerinde etkisinde olduğu söylenebilmektedir. Özellikle 2024 yılı 21 Haziran gününde öğleden sonra hava sıcaklığı gün ortalamasının üzerinde olmasına rağmen üretim miktarında bir azalış gözlemlenmiştir. 2022 yılında gün içerisinde sıcaklık değişimi olmamasına rağmen enerji üretim miktarında bir dalgalanma gözlemlenmiştir.



Şekil 10. 2021-2024 yılları arasında 21 Haziran tarihinde sıcaklık ve üretim miktarlarının karşılaştırılması

#### 4.1.2. Nem oranı değişimi ile enerji üretim miktarlarının karşılaştırılması

2021-2024 yılları 21 Haziran günlerinde gün içerisindeki nem oranındaki değişim ile üretilen enerji miktarları arasındaki ilişki incelenmiştir. Şekil 11’de görüldüğü üzere nem oranı artış gösterdiği zamanlarda anlık üretim miktarlarında genellikle azalma görülmektedir. Nem oranı ile üretilen enerji miktarı arasında ters ilişki vardır.

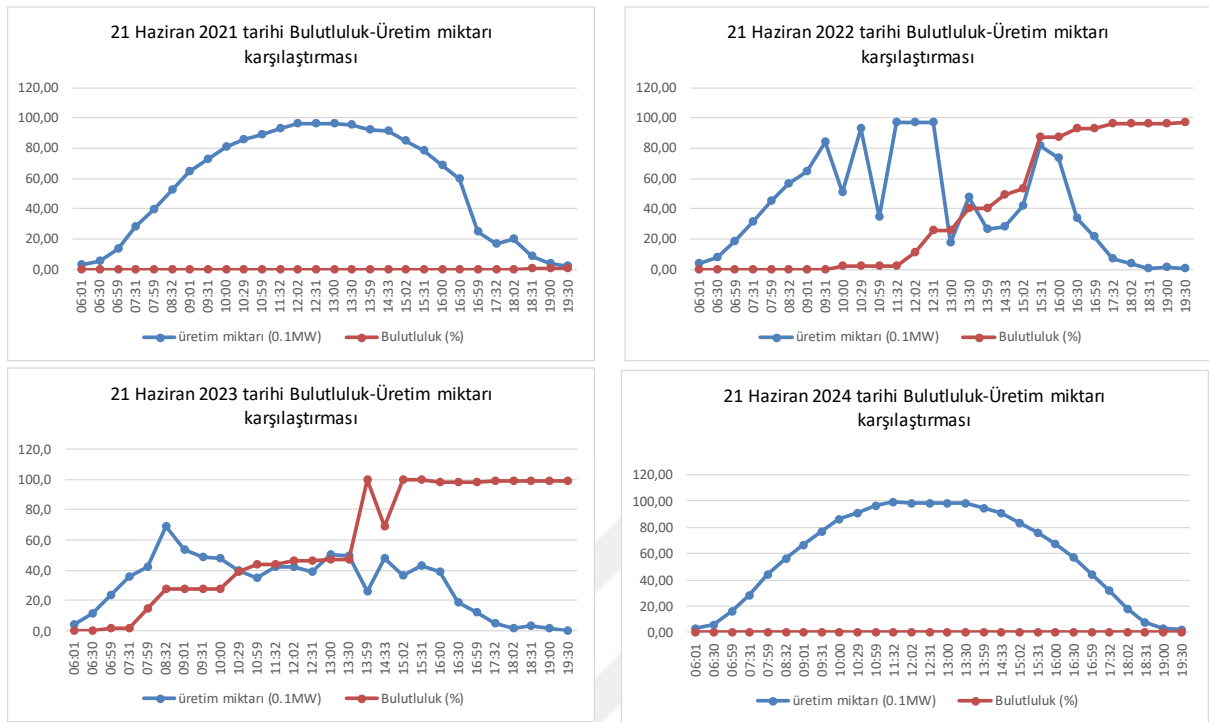


Şekil 11. 2021-2024 yılları arasında 21 Haziran tarihinde nem oranı ve üretim miktarlarının karşılaştırılması

#### 4.1.3. Bulutluluk oranı değişimi ile enerji üretim miktarlarının karşılaştırılması

2021-2024 yılları 21 Haziran günlerinde gün içerisindeki bulutluluk oranındaki değişim ile üretilen enerji miktarları arasındaki ilişki incelenmiştir. Havanın bulutlu olmadığı, bulutluluk oranının sıfır olduğu durumlarda üretilen enerji miktarı gün içerisinde normal dağılmaktadır. Bu durum, 2021 ve 2024 yıllarında 21 Haziran gününde gözlemlenmiştir. Bulutluluk oranının artış gösterdiği durumlarda ise üretilen enerji miktarında azalma meydana gelmiştir. Buradan, bulutluluk oranının artmasının panellerden üretilen enerji miktarı üzerinde olumsuz etki ettiği söylenebilmektedir. 21 Haziran 2023 tarihinde bulutluluk oranı artınca, anlık enerji üretim

miktarında azalma görülmektedir. Benzer şekilde, bulutluluk oranı azalınca, anlık enerji üretim miktarında artış görülmüştür (Şekil 12).



Şekil 12. 2021-2024 yılları arasında 21 Haziran tarihinde bulutluluk oranı ve üretim miktarlarının karşılaştırılması

#### 4.1.4. 21 Haziran günlerinde nihai verim değerlendirmesi

Nihai verim, sistemin büyüklüğüne uygun olarak üretilen enerjinin normalize edilmesini sağlayan ideal bir göstergedir. Bu bölümde, 2021-2024 yıllarında 21 Haziran tarihlerinde üretilen enerjinin niha verimi hesaplanmıştır.  $E_{AC}$ , üretilen günlük enerji miktarı ve  $P_{DC}$ , tüm panellerin toplam DC gücünü temsil etmektedir. Nihai verim Denklem (4)'de belirtildiği gibi  $E_{AC}$  değerinin  $P_{DC}$  değerine oranı ile hesaplanmaktadır.

Kayseri ilinde mevcut şebekeye bağlı bir 1MW güneş enerjisi santralinde tüm panellerin toplam gücü 1 189.32' dir. 21 Haziran tarihlerinde üretilen günlük enerji miktarları Çizelge 4' de görüldüğü gibidir. Nihai verim değerleri ise, Çizelge 5' de görülmektedir. Buradan, 21 Haziran 2021 tarihinde 6,6 saat güneşlenme gerçekleşmiştir. 2022 yılında aynı tarihte güneşlenme süresi 4.77 saat, 2023 yılında 3.83 saat ve 2024 yılında 6.91 saat güneşlenme gerçekleşmiştir. Güneşlenme süresi arttıkça üretilen günlük enerji miktarında da artış görülmektedir.

Çizelge 4. Son 4 yılda 21 Haziran tarihlerinde üretilen toplam enerji miktarları

	2021	2022	2023	2024
$E_{AC}$	7 851	5 681	4 564	8 222

Çizelge 5. Son 4 yılda 21 Haziran tarihlerinde nihai verim süreleri

	2021	2022	2023	2024
$Y_F$	6.6013	4.7767	3.8375	6.9132

#### 4.1.5. 21 Haziran günlerinde performans oranı değerlendirmesi

Performans oranı, güneş ışınımına göre şebekeye beslenen enerjiyi normalleştiren bir göstergedir. Bu bölümde son 4 yılda 21 Haziran günlerinde santralin performans oranları hesaplanmıştır. Performans oranı hesaplanırken, Denklem (5)' de de görüldüğü üzere nihai verim ( $Y_F$ ) ve referans verimi ( $Y_R$ ) kullanılmaktadır. Çizelge 6' da son 4 yılın 21 Haziran günlerindeki performan oranları görülmektedir. Çizelge 6' ya göre 2021 yılı ve 2024 yılında referans verimi değerinden daha fazla güneşlenme gerçekleşmiştir. 2022 ve 2023 yıllarında ise referans verimi değerinden daha az güneşlenme görülmüştür.

Çizelge 6. Son 4 yılda 21 Haziran tarihlerinde performans oranları

	2021	2022	2023	2024
$P_R$	1.05	0.76	0.61	1.10

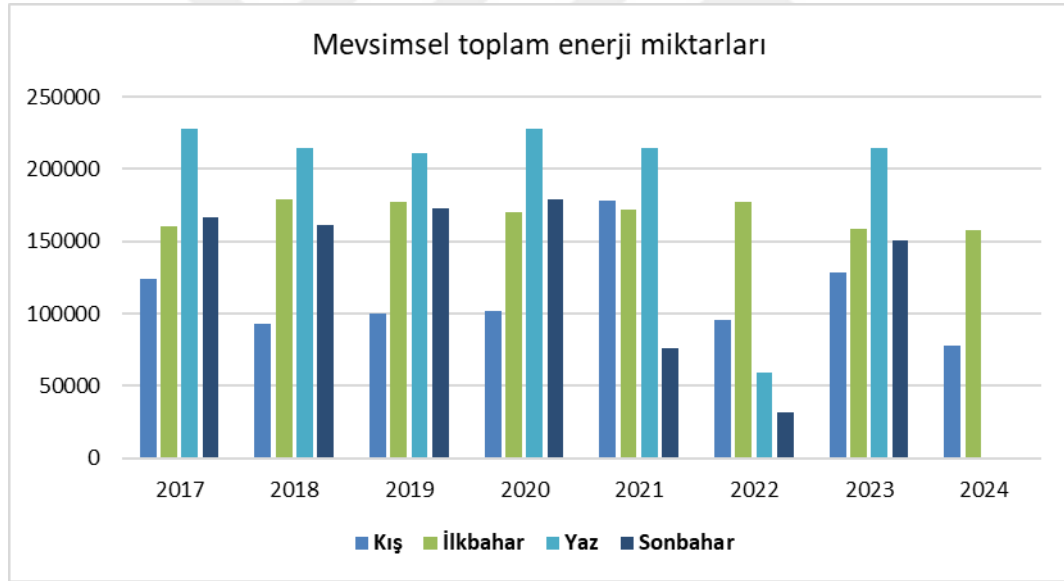
#### 4.2. Mevsimlere göre üretilen enerji miktarlarının karşılaştırılması

Kayseri ilinde mevcut şebekeye bağlı bir 1MW güneş enerjisi santralinde 2017-2024 yılları arasında üretilen mevsimsel toplam enerji miktarları Çizelge 7 ve Şekil 13'de görülmektedir. 2024 yılının yaz ve sonbahar mevsimlerinde üretim henüz gerçekleşmediği için ilgili hücreler sıfır olarak belirtilmiştir.

Çizelge 7. Mevsimsel toplam enerji üretim miktarları (kwh)

Mevsim	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Kış	124 048	92 910	100 039.7	101 689	177 944.7	95 769.67	128 264	77 531.33
İlkbahar	160 013.3	179393	176 957.3	170 208.7	171 877.3	176 975.7	158 292.7	158 145.7
Yaz	227 408.3	214 563.3	211 135	227 973	214 431.7	59 541.67	214 111	0
Sonbahar	166 588.7	161 626	173 146.7	179 040.3	76 379.33	31 412.33	150 730.3	0

Çizelge 7'den en az enerji üretilen mevsimin kış mevsimi olduğu görülmektedir. Üretilen enerjinin ortalama %15-20'si kış mevsiminde üretilmektedir.



Şekil 13. 2017-2024 yılları arasında mevsimsel üretilen toplam enerji miktarları

Şekil 13'de görüldüğü üzere maksimum enerji üretimi tüm yıllarda yaz mevsiminde gerçekleşmiştir. Enerji üretiminin olduğu tüm yıllarda, üretilen enerjinin %30-35 aralığı yaz mevsiminde üretildiği tespit edilmiştir.

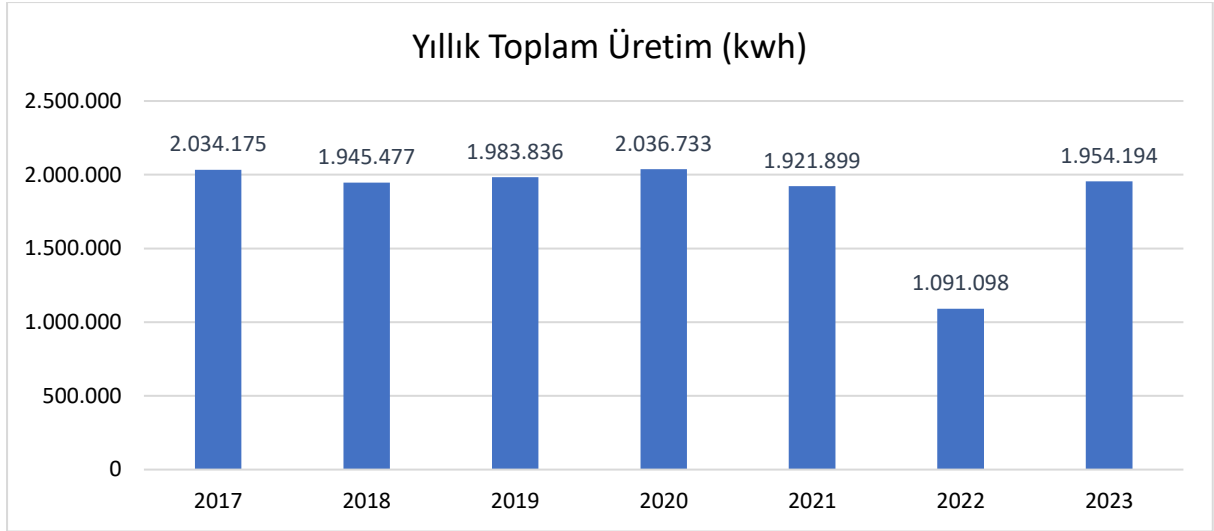
Çizelge 8. 2017-2023 yılları arasında üretilen enerji miktarlarının mevsimsel oranları (%)

Mevsim	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Kış	0.18	0.14	0.15	0.15	0.28	0.26	0.20
İlkbahar	0.24	0.28	0.27	0.25	0.27	0.49	0.24
Yaz	0.34	0.33	0.32	0.34	0.33	0.16	0.33
Sonbahar	0.25	0.25	0.26	0.26	0.12	0.09	0.23

Çizelge 8 incelendiğinde, 2017-2023 yılları arasında kışın üretilen enerji miktarları oranları sırasıyla 0.18-0.14-0.15-0.15-0.28-0.26-0.20 şeklinde olduğu görülmektedir. Kışın üretilen en yüksek enerji üretimi 2021 ve 2022 yıllarında gerçekleştiği belirlenmiştir. İlkbahar ve sonbahar mevsimlerinde üretilen miktarlar ise benzer dağılım göstermektedir. 2017 yılında üretilen enerjinin %24' ü ilkbahar mevsiminde ve %25' i sonbahar mevsiminde gerçekleşmiştir. 2017 yılında ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde üretilen enerji miktarları eşittir. Ancak, 2021 yılında üretilen enerjinin %27' si ilkbahar mevsiminde ve %12'si sonbahar mevsiminde gerçekleşmiştir. 2021 yılında ilkbahar mevsiminde üretilen enerji onbahar mevsiminde üretilenin iki katından fazladır.

#### 4.3. Yıllık üretilen enerji miktarlarının karşılaştırılması

Kayseri ilinde mevcut şebekeye bağlı bir 1MW güneş enerjisi santralinde 2017-2023 yılları arasında üretilen yıllık toplam enerji miktarları Şekil 14'de görülmektedir.



Şekil 14. 2017-2023 yılları arasında üretilen yıllık toplam enerji miktarları

Şekil 14'den görülebileceği gibi, 2017 yılında 2 034 175 kWh enerji üretimi gerçekleşmiştir. Minimum enerji üretimi 2022 yılında 1 091 098 kWh olarak gerçekleşmiş görülmektedir. Diğer yıllarda üretilen yıllık toplam enerji miktarları birbirine yakın değerlerdir. Maksimum üretim miktarı 2 036 733 kWh olarak 2020 yılında gerçekleşmiştir.

## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Kayseri ilinde mevcut şebekeye bağlı bir 1MW güneş enerjisi santralinde 2017 yılından 2023 yılına kadar enerji üretimi gerçekleşmektedir. Bu çalışmada, gün içerisinde yarımşar saat aralıklarla üretilen enerji miktarı incelenmiştir. Enerji üretiminin sabah gün doğumu ile başlayıp gün batımı ile sonlandığı görülmüştür. Sabah saatlerinde enerji üretiminin minimum seviyeden başlayıp, hava sıcaklığının, nem oranının ve bulutluluk oranının da etkisiyle gün içerisinde belirli seviyelere kadar yükseldiği görülmüştür. Gün batımı yaklaştıkça ise üretilen enerji miktarı azalarak devam etmiştir. Hava sıcaklığı ile nem oranı arasındaki ilişki değerlendirilmiştir. Hava sıcaklığı arttıkça havanın nem oranının azaldığı görülmüştür. Benzer şekilde, hava sıcaklığı arttıkça ve nem oranı düştükçe de üretilen enerji miktarında artış meydana gelmektedir. Bulutluluk oranı ile üretilen enerji miktarı arasındaki ilişki incelenmiştir. Bulutluluk oranı ile üretilen enerji miktarı arasında ise ters ilişki vardır. Bulutluluğun yoğun olduğu zamanlarda üretim miktarının azaldığı görülmüştür.

1MW kapasiteli santralin performansı mevsimsel açıdan değerlendirilmiştir. Yaz mevsiminde maksimum enerji üretimi gerçekleşirken kış mevsiminde minimum enerji üretiminin gerçekleştiği görülmüştür. Bahar mevsimlerindeki üretim miktarları ise benzerlik göstermektedir. Son olarak, 2017-2023 yılları arasında yıllık toplam üretilen enerji miktarları incelenmiştir. Yıllar arasında üretilen toplam enerji miktarları birbirine yakındır. Tesis en iyi performansını 2017 yılında göstermiştir. Maksimum enerji üretimini bu yılda göstermiştir.

Bu çalışmada, GES üretim tesislerinde üretimi etkileyen faktörler olarak sıcaklık, nem ve bulutluluk faktörleri ele alınmıştır. Ancak, panellerin yüzey temizliği, çevresinde bulunan ağaçların yüksekliği, tesisin çevresinde bulunan daha yüksek dağlardan kaynaklanabilecek gölgelenmeler de enerji üretim miktarını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Aynı zamanda, sahada bulunan invertör ve genel olarak tüm ekipmanların periyodik bakım onarımları düzenli olarak yaptırılmalıdır. Bundan sonraki yapılacak çalışmalarda bu durumların üretim üzerindeki etkileri incelenebilir.

Bu çalışmada, 260W enerji üretime sahip paneller kullanılmıştır. Ancak teknolojinin gelişimiyle birlikte daha yüksek enerji üretimi yapabilen paneller bulunmaktadır. Yaygın olarak 555W enerji üreten paneller kullanılmaktadır. Dolayısıyla, daha az panel ve alan kullanılarak aynı miktarda enerji üretimi sağlanabilmektedir. İlerleyen çalışmalarda yeni nesil panellerin kullanımını ile tesis performans analizleri ve karşılaştırmaları yapılabilir.

## 6. KAYNAKLAR

- Adaramola, M. ve Vagnes, E., 2015. Preliminary Assessment of a Small-Scale Rooftop PV Grid Tied in Norwegian Climatic Conditions. *Energy Conversion and Management*, 90: 458-465.
- Aksangör, N. N., Martin, K. ve Boran, K., 2019. PVsyst Simülasyon Aracı Kullanarak Ankara'da Fotovoltaik Güneş Sistemlerin Performans ve Maliyet Analizi. 3rd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies. April 19-21, 2019. Ankara, Turkey.
- Al-Otaibi, A., Al-Qattan, A., Fairouz, F. ve Al-Mulla, A., 2015. Performance Evaluation of Photovoltaic Systems on Kuwaiti Schools' Rooftop. *Energy Conversion and Management*, 95: 110-119.
- Allouhi, A., Saadani, R., Kousksou, T., Saidur, R., Jamil, A. ve Rahmoune, M., 2016. Grid-Connected PV System Installed on Institutional Buildings: Technology Comparison, Energy Analysis and Economic Performance', *Energy and Buildings*, 130: 188-201.
- Anonim, 2012. Enerji Raporu 2012. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi. ISSN: 1301-6318, Ankara.
- Arıkan, O., İşen, E. ve Kekezoğlu, B., 2019. Performance Analysis of Stand-Alone Hybrid (Wind-Photovoltaic) Energy System. *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg.* 25(5): 571-576.
- Atalay Ayran, Z., 2019. Kütahya İli Güneş Enerji Potansiyelinin Araştırılması ve Örnek Bir Güneş Enerji Santralının Ekonomik Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 70-80.
- Ayompe, L.M., Duffy, A., McCormack, S.J. ve Conlon, M., 2010. Measured Performance of a 1.72 kW Rooftop Grid Connected Photovoltaic System in Ireland. *Energy Conversion and Management*, 52: 816-825.
- Başoğlu, M.E., Kazdaloğlu, A., Erfidan, T., Bilgin, M.Z. ve Çakır, B., 2015. Performance Analyzes of Different Photovoltaic Module Technologies under Izmit, Kocaeli Climatic Conditions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52: 357-365.
- Bayyığıt, A., Çinici, O. K. ve Acır, A., 2023. Tek Yüzeyle ve Çift Yüzeyle Fotovoltaik Panellerin Performans Analizi. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 11(2), 407-420. <https://doi.org/10.29109/gujsc.1298017>.
- Bendaas, I., Bouchouicha, K., Semaoui, S., Razagui, A., Bouchakour, S., Boulahchiche, S., 2023. Performance evaluation of large-scale photovoltaic power plant in Saharan climate of Algeria based on real data. *Energy for Sustainable Development*. Volume 76, 101293, <https://doi.org/10.1016/j.esd.2023.101293>.
- Çınaroğlu, M.S., Nalbantoğlu, M., 2021. Şebekeye Bağlı Üç Adet Fotovoltaik Enerji Santralının PVsyst Programı ile Analizi; Kilis Örneği. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8 (2); 675-687.
- Çubukçu, M. ve Çolak, M., 2013. Gökçeada'da Şebekeden Bağımsız Bir Fotovoltaik Güç Sistemi Benzetimi ve Karşılaştırmalı Gerçek Performans İncelemesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(5), 201-208. <https://doi.org/10.5505/pajes.2013.08108>.
- ETKB, 2016. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Güneş. <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes> (03.02.2016).
- ETKB, 2019. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Güneş. <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes> (19.03.2019).
- ETKB, 2024. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes>. (01.08.2024).

- Guenounou, A., Malek, A., Aillerie, M., 2016. Comparative Performance of PV Panels of Different Technologies Over One Year of Exposure: Application to a Coastal Mediterranean Region of Algeria. *Energy Conversion and Management*, 114: 356-363.
- Kasap, A., Özgüven, M.M. ve Fiat, S., 2012. Biyoyakıtlar ve Önemi. *Agroworld Tarım Dünyası*, Mayıs-Haziran 2012, Sayı 9, s:44-46.
- Kymakis, E., Kalykakis, S. ve Papazoglou, T.M., 2009. Performance Analysis of a Grid Connected Photovoltaic Park on the Island of Crete. *Energy Conversion and Management*, 50: 433-438.
- Marion, B., Adelstein, J., Boyle, K., Hayden, H., Hammond, B., Fletcher, T., Canada, B., Narang, D, Shugar, D, Wenger, H, Kimber, A, Mitchell, L, Rich, G ve Townsend, T., 2005. Performance Parameters for Grid-Connected PV Systems. In *Photovoltaic Specialists Conference*, 3-7 Ocak 2005, Lake Buena Vista, USA.
- Mohamed N. S. S., Sulaiman S. I. ve Rahim S. R. A., 2022. Design of ground-mounted gridconnected photovoltaic system with bifacial modules using PVsyst software. *J Phys Conf Ser*, 2312(1), 12058.
- Özcan, Ö. ve İzgi, E., 2020. Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Çatı Sisteminin Karşılaştırmalı Performans Analizi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(3), 127-140. <https://doi.org/10.17780/ksujes.726319>.
- Özgüven, M.M., 2018. *Yenilenebilir Enerji Kaynakları*. ISBN: 978-605-68762-5-7. Akfon Yayınları, Ankara.
- Rehman, S. ve El-Amin, I., 2012. Performance Evaluation of an Off-Grid Photovoltaic System in Saudi Arabia. *Energy*, 46: 451-458.
- Saldamlı, M. A., Kaplan, Y. A. ve Ünalı, G. G., 2023. Comparison of the Performance of Solar Panels Designed in Three Different Ways under the Same Conditions. *Gazi University Journal of Science*, 36(3), 1231-1245. <https://doi.org/10.35378/gujs.1037777>.
- Verma, S., Yadav, D. K. ve Sengar, N., 2021. Performance evaluation of solar photovoltaic power plants of semi-arid region and suggestions for efficiency improvement. *International Journal of Renewable Energy Research-IJRER*. Vol 11, No 2. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.13090127.2021.11.2.25.4>.
- Wittmer, B., Mermoud, A. ve Schott, T., 2015. Analysis of PV grid installations performance, comparing measured data to simulation results to identify problems in operation and monitoring, *Proceedings of the 30th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*, Hamburg, Germany, 14-18.

## 7. ÖZGEÇMİŞ

