

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ŞEBEKEYE BAĞLI FOTOVOLTAİK BİR SİSTEMDE SİMÜLASYON
DOĞRULAMASI VE PANEL VERİMLİLİĞİNE TOZLANMA İLE PANEL
YÖNÜNÜN ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS

MUSTAFA AKER

KASIM 2025

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ŞEBEKEYE BAĞLI FOTOVOLTAİK BİR SİSTEMDE SİMÜLASYON
DOĞRULAMASI VE PANEL VERİMLİLİĞİNE TOZLANMA İLE PANEL
YÖNÜNÜN ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa AKER

DANIŞMAN: Dr. Öğr. Üyesi Berna AKSOY

ZONGULDAK

Kasım 2025

KABUL:

Mustafa AKER tarafından hazırlanan “Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Bir Sistemde Simülasyon Doğrulaması ve Panel Verimliliğine Tozlanma ile Panel Yönünün Etkisinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir. 26/11/2025

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Berna AKSOY

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Üye: Doç. Dr. Hakan KAYA

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Üye: Prof. Dr. Emrah DOĞAN

Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım./...../2025

Prof. Dr. Fikret GÖLGELEYEN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Mustafa AKER

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ŞEBEKEYE BAĞLI FOTOVOLTAİK BİR SİSTEMDE SİMÜLASYON DOĞRULAMASI VE PANEL VERİMLİLİĞİNE TOZLANMA İLE PANEL YÖNÜNÜN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Mustafa AKER

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Berna AKSOY

Kasım 2025, 89 sayfa

Mevcut enerji kaynaklarının son yıllarda tükenmeye başlaması ve çevre kirliliğine sebep olmasından dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim artmaktadır. Güneş enerjisi, yenilenebilir, doğal ve sonsuz kapasiteye sahip olması sebebiyle enerji üretimi açısından çok fazla tercih edilmektedir. Güneş enerji santrallerinin verimini en üst düzeye çıkarmak için enerji üretiminin doğru bir şekilde tahmin edilmesi, fotovoltaik panellerin uygun konumlandırılması ve çevresel faktörlerin iyi değerlendirilmesi gerekir.

Bu çalışmada, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi yerleşkesinde bulunan, toplam 39,6 kW kurulu güce sahip şebekeye bağlı güneş enerji santralinden Kasım 2024 - Ekim 2025 tarihleri arasında elde edilen gerçek zamanlı üretim verileri; PVsyst, PVGIS ve HelioScope simülasyon programları aracılığıyla elde edilen tahmini verilerle karşılaştırılmıştır.

ÖZET (devam ediyor)

Buna ek olarak, güneybatı ve kuzeydoğu yönlerine yerleştirilen fotovoltaik panellerin üretim performansları analiz edilerek panel yönünün verim üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Ayrıca, güneybatı yönüne konumlandırılmış panellerin bir kısmı düzenli olarak temizlenmiş, bir kısmı ise doğal koşullara bırakılmıştır. Bu sayede, yüzey tozlanmasının fotovoltaik panel verimliliği üzerindeki etkisi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Çalışmanın sonucunda, gerçek verilere en yakın sonuca NASA-SSE meteorolojik veri tabanının kullanıldığı PVsyst simülasyon programının ulaştığı belirlenmiştir. Bununla birlikte güneybatı yönündeki fotovoltaik panellerin veriminin kuzeydoğu yönündekilere göre %30,2 daha fazla olduğu ve çalışma süresi boyunca panel temizliğinin, panellerin veriminde değişiklik oluşturmadığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik, Güneş enerjisi, PVsyst, Helioscope, PVGIS

Bilim Kodu: 624.02.00.

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

SIMULATION VERIFICATION AND INVESTIGATION OF THE EFFECT OF DUST AND PANEL ORIENTATION ON PANEL EFFICIENCY IN A GRID- CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEM

Mustafa AKER

**Zonguldak Bülent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Berna AKSOY

November 2025, 89 pages

The depletion of existing energy sources in recent years and their contribution to environmental pollution have led to an increased shift toward renewable energy sources. Solar energy is highly preferred for energy production due to its renewable, natural, and infinite capacity. To maximize the efficiency of photovoltaic (PV) systems, accurate energy production forecasting, optimal panel orientation, and thorough evaluation of environmental factors are essential.

This study analyzes real-time production data collected between November 2024 and October 2025 from a grid-connected solar power plant located on the campus of Zonguldak Bülent Ecevit University, with a total installed capacity of 39.6 kW. These actual data were compared with simulated estimates generated using PVsyst, PVGIS, and HelioScope software tools.

ABSTRACT (continued)

Additionally, the performance of PV panels installed in southwest and northeast orientations was evaluated to determine the impact of panel direction on energy yield. A subset of the southwest-facing panels was regularly cleaned, while another subset was left exposed to natural conditions. This allowed for a comparative assessment of the effect of surface dust accumulation on panel efficiency.

The results indicate that the PVsyst simulation, utilizing NASA-SSE meteorological data, produced the closest estimates to actual measurements. Furthermore, the southwest-oriented panels demonstrated 30.2 % higher efficiency compared to those facing northeast. Panel cleaning did not result in a significant change in performance throughout the study period.

Keywords: Photovoltaic, Solar energy, PVsyst, Helioscope, PVGIS,

Bilim Kodu: 624.02.00.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin hazırlanması sürecinde bilgi, deneyim ve destekleriyle bana yol gösteren, değerli katkılarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Berna AKSOY'a; tez sürecinde görüş ve önerileriyle katkı sağlayan Prof. Dr. Servet KARASU, Doç. Dr. Hakan KAYA ve Dr. Öğr. Üyesi Can ATALAY'a teşekkür ederim.

Bu yolculuk boyunca her zaman yanımda olan, bilgi ve tecrübelerinden sürekli faydalandığım, sabrı, sevgisi ve anlayışıyla bana güç veren sevgili eşim Neslihan AKER'e ve tez süresince kendilerine yeterli vakit ayıramadığım için anlayış gösteren sevgili çocuklarım Beyza ve Yusuf AKER'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu akademik süreçte yanımda olan değerli çalışma arkadaşım Ömer Burkay ÇİFTÇİ'ye ve yakın çevreme verdikleri manevi destek için şükranlarımı sunarım.

Bu çalışma, BEÜN Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimi tarafından 2023-75737790-02 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Sağladıkları destek için üniversiteme ve BAP Birimine teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL:	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ.....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xix
 BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	 1
 1.1 GÜNEŞ ENERJİSİ.....	 2
1.1.1 Dünya’da Güneş Enerjisi	3
1.1.2 Türkiye’de Güneş Enerjisi	5
1.1.3 Zonguldak’ta Güneş Enerjisi	9
1.2 FOTOVOLTAİK SİSTEMLER	11
1.2.1 Off-Grid Fotovoltaik Sistemler.....	11
1.2.2 On-Grid Fotovoltaik Sistemler	11
1.2.3 PV Paneller	12
1.2.4 İnverter	12
1.2.5 Akü.....	13
1.2.6 Şarj Regülatörü	13
1.2.7 Senkronoskop.....	13
1.3 FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN VERİMİNİ ETKİLEYEN ÇEVRESEL FAKTÖRLER	 13

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 2 LİTERATÜR TARAMASI	15
2.1 SİMÜLASYON PROGRAMI VERİLERİ İLE GES VERİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	15
2.2 PV PANEL YÖNÜNÜN ENERJİ ÜRETİMİNE ETKİSİ	17
2.3 TOZLANMANIN PV PANEL VERİMİNE ETKİSİ	18
BÖLÜM 3 MATERYAL METOD	21
3.1 SİSTEM ÖZETİ	21
3.2 SİMÜLASYON PROGRAMLARI	25
3.2.1 PVsyst Simülasyon Programı	25
3.2.2 PVGIS Simülasyon Programı	26
3.2.3 Helioscope Simülasyon Programı	27
3.2.4 SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) İstatistik Programı	28
3.2.5 Verilerin Analizi	29
BÖLÜM 4 BULGULAR	31
4.1 BEUN GES PROJESİ BULGULARI	31
4.2 PVsyst SİMÜLASYON PROGRAMI BULGULARI	36
4.3 PVGIS SİMÜLASYON PROGRAMI BULGULARI	38
4.4 HelioScope SİMÜLASYON PROGRAMI BULGULARI	40
4.5 SİMÜLASYON PROGRAMLARI İLE BEUN GES SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI	41
BÖLÜM 5 SONUÇLAR VE TARTIŞMA	49
BÖLÜM 6 ÖNERİLER	51

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
KAYNAKLAR.....	53
EK AÇIKLAMALAR	59
ÖZGEÇMİŞ	89





ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 Dünya güneşlenme potansiyeli haritası	5
Şekil 1.2 GEPA Türkiye güneş enerji potansiyeli haritası	6
Şekil 1.3 Türkiye güneşlenme süreleri	7
Şekil 1.4 Türkiye global radyasyon değerleri	7
Şekil 1.5 2013 ve 2023 yılları için birincil enerji kaynaklarına göre Türkiye kurulu gücü	8
Şekil 1.6 2023 yılı Türkiye elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı	9
Şekil 1.7 Zonguldak güneşlenme süreleri-saat	10
Şekil 1.8 Zonguldak global radyasyon değerleri-KWh/m ² -gün	11
Şekil 1.9 Güneş paneli	12
Şekil 3.1 Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi GES PV panel yerleşim görüntüsü.	22
Şekil 3.2 Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi GES inverter yerleşimi.	23
Şekil 3.3 Tek hat şeması.....	24
Şekil 4.1 Panel yönelimine bağlı olarak İnverter 1 ve İnverter 2'nin aylık enerji üretimindeki değişim.....	33
Şekil 4.2 Tozlanmanın İnverter 2 ve İnverter 3 tarafından üretilen enerji miktarları üzerindeki etkisi.....	35
Şekil 4.3 İnverter 2 ve 3'e bağlı fotovoltaiik panellerin temizlik uygulanmış ve doğal bırakılmış durumlarının karşılaştırmalı gösterimi.	36
Şekil 4.4 BEUN GES ile simülasyon programları sonuçlarının durumu.	42
Şekil 4.5 BEUN GES ile simülasyon programları sonuçlarının durumu.	42
Şekil 4.6 BEUN GES ve PVGIS veri tabanlı PVsyst programı ilişkisi.	44
Şekil 4.7 BEUN GES ve Meteonorm veri tabanlı PVsyst programı ilişkisi.	45
Şekil 4.8 BEUN GES ve Meteonorm veri tabanlı PVsyst programı ilişkisi.	45
Şekil 4.9 BEUN GES ve SARA 2 veri tabanlı PVGIS programı ilişkisi.	46
Şekil 4.10 BEUN GES ve Meteonorm veri tabanlı Helioscope programı ilişkisi.	46



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1 Zonguldak ili iklim istatistiği	9
Çizelge 1.2 Zonguldak yağışlı gün sayısı	10
Çizelge 3.1 Schmid PV panel özellikleri.	22
Çizelge 3.2 Huawei inverter özellikleri.....	23
Çizelge 3.3 Zonguldak ortalama aylık güneşlenme süreleri	27
Çizelge 4.1 BEUN GES Enerji Üretim Verileri.....	32
Çizelge 4.2 Panel yönelimine bağlı olarak İnverter 1 ve İnverter 2'nin aylık enerji üretim değerlerinin karşılaştırılması ve tek yönlü varyans analizi sonuçları.....	33
Çizelge 4.3 Tozlanmanın etkisine bağlı olarak İnverter 2 ve İnverter 3 tarafından üretilen enerji miktarlarının karşılaştırılması.	34
Çizelge 4.4 PVsyst simülasyon programında PVGIS, Meteonorm ve NASA-SSE meteorolojik veri tabanları kullanılarak elde edilen sonuçlar.....	37
Çizelge 4.5 PVGIS simülasyon programı kullanılarak BEUN GES için elde edilen aylık elektrik üretimi, küresel ışıınım ve standart sapma değerleri.....	39
Çizelge 4.6 HelioScope simülasyon program sonuçları.....	40
Çizelge 4.7 BEUN GES verilerinin simülasyon programları verileri ile karşılaştırması.....	41
Çizelge 4.8 BEUN GES ile simülasyon programı çıktılarının karşılaştırmalı analizi.	43



EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
EK A: BEUN GES Sonuçları.....	59
EK B: PVsyst Simülasyon Programı- PVGIS Veri Tabanı Sonuçları	66
EK C: PVsyst Simülasyon Programı - Meteonorm Veri Tabanı Sonuçları	72
EK D: PVsyst Simülasyon Programı- NASE SSE Veri Tabanı Sonuçları	78
EK E: PVGIS Simülasyon Program Sonuçları	84
EK F: HelioScope Simülasyon Program Sonuçları.....	86



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

°	: Derece
m ²	: Metrekare
r	: Pearson Korelasyon Katsayısı
R ²	: Determination Coefficient (Belirleme Katsayısı)
$\bar{X}$	: Aritmetik ortalama
%	: Yüzde

KISALTMALAR

A	: Amper
AB	: Avrupa Birliği
AC	: Alternatif Akım
BEUN	: Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi
DC	: Doğru Akım
GEPA	: Güneş Enerji Potansiyeli Atlası
GES	: Güneş Enerji Santrali
GW	: Gigawatt
GWh	: Gigawatt saat
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
kWh	: Kilowatt saat
kWp	: Kilowatt peak
MAE	: Mean Absolute Error (Ortalama Mutlak Hata)
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MBE	: Mean Bias Error (Ortalama Sapma Hatası)
Min- Max	: Minimum ve Maksimum değerler

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

mm	: Milimetre
MPPT	: Maksimum Güç Noktası Takipçisi
mW	: Megawatt
p	: Anlamlılık düzeyi (olasılık değeri)
PV	: Fotovoltaik
RMSE	: Root Mean Square Error (Kök Ortalama Kare Hata)
SPSS	: Statistical Package for the Social Sciences (Sosyal Bilimler için İstatistik Paketi)
SS	: Standart Sapma
T.C.	: Türkiye Cumhuriyeti
W	: Watt
Wp	: Watt peak
V	: Volt

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Gelecekte yeterli enerji kaynaklarına erişim sağlanmasına yönelik kaygılar, günümüzün en önemli küresel sorunları arasında yer almaktadır. Dünya nüfusunun hızla artması, enerjiye duyulan ihtiyacın artmasına sebep olmaktadır. Bununla birlikte günlük yaşantımızda kullanımı ve üretimi hızla artan, daha kaliteli bir hayat sürdürebilmemiz için yaşantımızı kolaylaştıran teknolojik ürünlerin kullanılabilmesi için de çok fazla enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Artan enerji ihtiyaçlarından dolayı; doğalgaz, petrol, kömür gibi sınırlı kaynaklardan elde edilen fosil yakıtların fazla kullanımı, hem insan hem de çevre üzerinde ciddi olumsuz etkilere yol açmaktadır [1-3]. Bu bağlamda, fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılması amacıyla alternatif enerji kaynakları gündeme gelmiştir. Bu alternatifler arasında yer alan nükleer enerji, teknik, çevresel ve toplumsal boyutlarıyla tartışılmaya devam etmektedir.

Fosil yakıtlara alternatif olarak değerlendirilen nükleer enerji, beraberinde önemli sorunlara neden olabilmektedir. Nükleer atıkların yok edilememesi ve bu atıkların ya da kullanılan yakıtların çevreye sızma ihtimali bu sorunlar arasında yer almaktadır. Bu nedenle, çevreye zarar vermeyen, sağlığı tehdit etmeyen, sürdürülebilir ve ekonomik maliyetli yeni enerji çözümlerine ihtiyaç duyulmaktadır [1, 2]. Nükleer enerjinin barındırdığı bu riskler, enerji politikalarının daha güvenli ve çevre dostu alternatiflere yönelimini hızlandırmıştır.

Günümüzde artan enerji talebini karşılamak amacıyla, çevresel riskleri yüksek ve sınırlı rezervlere sahip fosil yakıtlar ile nükleer enerjiye alternatif olarak; güneş, rüzgâr, hidroelektrik, biyoyakıt, dalga ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelinmiştir. Bu kapsamda, elektrik üretiminde sürdürülebilirliğin sağlanması amacıyla söz konusu tekniklerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması hedeflenmiştir [1, 2]. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında ise güneş enerjisi, geniş kullanım alanı ve yüksek potansiyeli nedeniyle ön plana çıkmaktadır.

Güneş enerjisi dünyaya yüksek miktarda enerji sağlayan yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Yenilenebilir, doğal ve sonsuz kapasiteye sahip olması sebebiyle enerji üretimi açısından çok fazla tercih edilmektedir [1, 2]. Güneş ışınlarındaki yüksek enerji potansiyelini kullanabilmek amacıyla farklı teknolojiler geliştirilmiştir. Geliştirilen bu teknolojiler içerisinde özellikle güneş enerji santralleri, güneş panelleri ve güneş kolektörleri öne çıkmaktadır. Geliştirilen bu teknoloji ile güneş ışınlarını doğrudan ısı enerjisine dönüştürebilir hem de dolaylı olarak elektrik enerjisine çevrilebilir.

Türkiye, coğrafi konum itibarıyla yüksek ölçüde güneş ışını alan, yenilenebilir enerji kaynağı ve enerji üretimindeki potansiyeli açısından oldukça avantajlı ülke konumundadır. Güneş enerjisinden etkin şekilde yararlanmak için geliştirilen başlıca teknolojilerden biri ise fotovoltaik (PV) sistemlerdir. Fotovoltaik sistemlere dayalı güneş enerji santrali (GES) kurulumları, son yıllarda ülkemizde de hızla yaygınlaşmaktadır. Ancak GES'lerden yüksek verim elde edilebilmesi için başta güneşlenme süresi, sıcaklık, bulutluluk, panel eğimi ve yönelimi gibi çevresel ve iklimsel faktörlerin optimum koşullarda olması gerekmektedir [4, 5].

1.1 GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş, yaklaşık olarak Dünya'nın 110 katı büyüklüğünde ve 330.000 katı kütleye sahiptir. Çekirdeğinde gerçekleşen füzyon reaksiyonları sırasında hidrojen gazı helyuma dönüşmekte ve bu süreçte sıcaklık yaklaşık 15–16 milyon °C'ye ulaşmaktadır. Güneşten yayılan enerjinin, Dünya yüzeyindeki 1 metrekarelik alana watt cinsinden düşen güç miktarı “Güneş Işınımı” olarak adlandırılır ve W/m^2 birimiyle ifade edilir [1, 6, 7].

Güneş enerjisinin yoğunluğu, Dünya atmosferinin dışında yaklaşık olarak sabit ve $1.370 W/m^2$ olarak kabul edilmektedir. Ancak atmosferin etkisiyle, yeryüzüne ulaşan güneş ışınımı 0 - $1.100 W/m^2$ arasında değişiklik göstermektedir. Güneşten gelen ışınımın yaklaşık %30'u atmosfer tarafından geri yansıtılmakta, %20'si atmosfer ve bulutlar tarafından soğurulmakta, yalnızca yaklaşık %50'si yeryüzüne ulaşabilmektedir [8]. Yeryüzüne ulaşan bu enerjinin ise yalnızca yaklaşık %20'si elektrik enerjisine dönüştürülebilmekte, geri kalan kısmı yansıma yoluyla kaybolmakta veya ısı enerjisine dönüşmektedir [9].

Buna rağmen, Dünya'ya ulaşan bu enerjinin az bir miktarı dahi günümüzde insanlığın tüketmiş olduğu enerjiden kat kat fazladır. Güneşten Dünya'ya bir yılda ulaşan toplam enerji miktarının,

Dünya'nın yıllık enerji tüketiminin yaklaşık 20.000 katı olduğu ifade edilmektedir. Bu bağlamda güneş enerjisi, çevre dostu yapısı ve Dünya'nın enerji ihtiyacını uzun vadede karşılayabilecek yüksek potansiyeli ile yenilenebilir enerji kaynakları arasında stratejik bir öneme sahiptir [1, 6, 7].

Güneş enerjisini kullanabilme konusundaki çalışmalar 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerji sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyeti bakımından düşme göstermiş, çevresel anlamda kendini temiz bir enerji kaynağı olarak kabul ettirmiştir [1, 6, 7].

Güneş enerjisi geniş kapsamlı, temiz, yerel uygulamalara elverişli, sürdürülebilir ve küresel ölçekte erişilebilir bir enerji kaynağı olması; bunun yanı sıra kurulum maliyetindeki indirimler ile petrol fiyatlarındaki artışlar, güneş enerji sistemlerinin yaygınlaşmasında etkili olman faktörler arasındadır [10, 11].

Güneş enerjisinden enerji üretimi aşamaları, çevre dostu olmasının yanı sıra elektrik ve ısı enerjisi üretimini birlikte veya ayrı ayrı karşılayabilen doğal bir kaynaktır. Elektrik enerjisi üretiminde genellikle kullanılan yöntem, güneşten gelen ışınların güneş hücreleri tarafından soğurulup elektrik akımına dönüştürüldüğü PV sistemlerdir [12].

1.1.1 Dünya'da Güneş Enerjisi

Dünya'da güneş ışınlarından enerji elde edilmesinin tarihçesi oldukça eskidir. Güneş enerjisinin bilinen en eski kullanımının, Milattan önce 215'te Siraküza'yı saran gemileri, güneş ışınlarını odaklayarak yanmasını sağlayan Arşimet tarafından olduğu bilinmektedir. Modern anlamda güneş enerjisinin kullanımı 18. ve 19. yüzyıla dayanmaktadır. 1767'de dünyanın ilk güneş kollektörü İsviçreli bilim insanı Horace de Saussure tarafından yapılmıştır. Melvin Seryer 1894'te güneş hücresini icat etmiştir. Aleksandr Stoletov 1891'de ilk güneş pilini icat etmiştir. Hoffman Electronics 1959'da %10 verimlilikte çalışan ilk ticari güneş pilini yapmıştır. 1967'de uzay aracı Soyuz 1'de güneş pilleri kullanılmıştır. ABD Başkanı Jimmy Carter 1977'de Beyaz Saray'da güneş panelleri kullanımını başlatmıştır. Güneş enerjisinden elektrik üretimi 1980'lerde 21 MW iken, 2000 yılına gelindiğinde 1.000 MW civarına ulaşmıştır [13].

1971'de Farrington Daniels yayınladığı makalesinde dünyadaki büyük enerji kaynaklarından olan fosil yakıtların uluslararası düzeyde eşit dağılmadığını bunun sonucunda da eşit olmayan

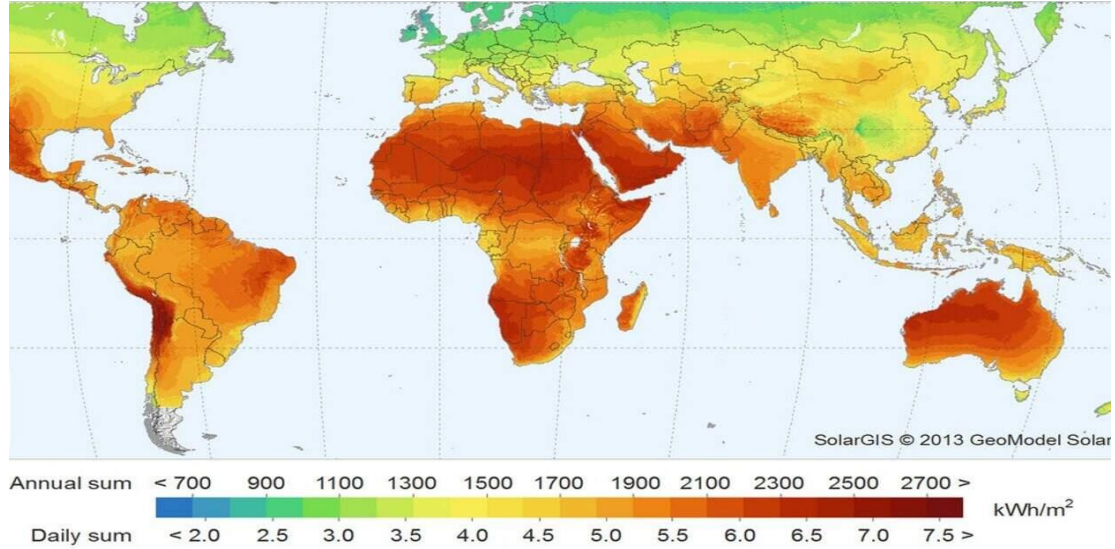
ekonomik fırsatlara, siyasi gerginliklere yol açtığını ve güneş enerjisinden doğrudan yararlanabileceğinden bahsetmiştir. Farrington Daniels Dünyada bir milyardan fazla elektriksiz insan olduğunu ve bunların çoğunun Ekvator'un 30° kuzeyi ile 30° güneyinde yaşadığını yani bu bölgedeki ülkelerin doğal enerji kaynağı olan güneş enerjisinden bolca enerji üretebileceğini ve güneş enerjisinden yararlanabilme ekipmanlarının ekonomik olduğunu ve uzmanlaşmış teknikler gerektirmediğinden bahsetmiştir [14].

1970'li yıllarda yaşanan petrol krizi, uygulanan petrol ambargosu ve nükleer enerji kaynaklı çevresel kirlilik, temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi önemli ölçüde artırmıştır. Bu süreçle birlikte güneş enerjisinin kullanımı dünya genelinde yaygınlaşmıştır. 1984 yılında Los Angeles'ta Luz Corporation tarafından gerçekleştirilen ilk endüstriyel ölçekli güneş enerjisi üretimi, parabolik aynalar kullanılarak 354 MW güç elde edilmesiyle sonuçlanmıştır. 1990'lı yıllarda ise Kaliforniya'da 10 MW kapasiteli ve Ürdün'de 30 MW kapasiteli iki güneş kulesi sistemi kurulmuştur [15].

Avrupa ve Amerika, yoğunlaştırılmış güneş enerjisi pazarının gelişimine hakimdir. Küresel anlamda yoğunlaştırılmış güneş enerjisi son 10 yılda yaklaşık 10 kat büyümüştür. Politika desteği, özellikle küresel toplam kurulu kapasitenin %80'inden fazlasını oluşturan Amerika Birleşik Devletleri ve İspanya'da yoğunlaştırılmış güneş enerjisinin erken genişlemesini teşvik etmiştir. Ancak diğer yenilenebilir enerji teknolojileriyle karşılaştırıldığında, yoğunlaştırılmış güneş enerjisi dağıtımının ölçeği büyük değildir. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi endüstrisinin geleceği umut verici, ancak daha fazla politika desteğine ihtiyaç vardır. Greenpeace, Avrupa Güneş Termal Elektrik Birliği ve Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) 'nın araştırmalarına göre, güneş termal enerjisi 2030 yılına kadar küresel elektrik talebinin % 6'sını karşılayacak ve 2050 yılına kadar %12'ye ulaşacaktır. Almanya ve diğer Avrupa ülkelerinde yenilenebilir enerji giderek ana akım haline gelmiştir. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki yenilenebilir enerji oranı da her yıl artmıştır. Hindistan, Brezilya, Güney Afrika ve Suudi Arabistan da yenilenebilir enerji güç üretim projeleri inşa etmektedir [16].

Güneş enerjisinin en yaygın kullanım alanı, düzlemsel güneş kolektörleri aracılığıyla elde edilen ısı ile sıcak su teminidir. Bunun dışında güneş havuzları, güneş bacaları, güneş ocakları, güneş pilleri, parabolik oluk ve çanak sistemleri gibi çeşitli teknolojilerle güneş enerjisi yoğunlaştırılarak farklı sıcaklık seviyelerine ulaşmak mümkündür. Bu sistemlerin temel amacı, güneş enerjisinden faydalanarak elektrik üretmektir. Günümüzde teknolojik gelişmeler

sayesinde bu üretim mümkün hâle gelmiş olsa da maliyetler hâlâ yüksektir. Şekil 1.1’de görüldüğü üzere, Afrika, Avustralya ve Güney Amerika gibi bölgeler yüksek güneşlenme potansiyeline sahip olmasına rağmen, güneş enerjisi yatırımları daha çok Avrupa ve Amerika gibi gelişmiş ülkelerde yoğunlaşmıştır. Türkiye de özellikle güney bölgeleriyle yüksek güneşlenme kapasitesine sahiptir ve bu potansiyel enerji üretimi açısından değerlendirilmeye açıktır [15].



Şekil 1.1 Dünya güneşlenme potansiyeli haritası [13].

1.1.2 Türkiye’de Güneş Enerjisi

Mevcut enerji kaynaklarının son yıllarda tükenmeye başlaması ve çevre kirliliğine sebep olmasından dolayı yenilenebilir enerji kaynakları konusundaki çalışmalar hız kazanmıştır. Türkiye matematiksel konumu itibarıyla her ne kadar “dünya güneş kuşağı” sahasının bir miktar dışında kalsa da, orta kuşak ülkesi olduğu ve güneşlenme süreleri esas alındığında önemli bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir (Şekil 1.1).

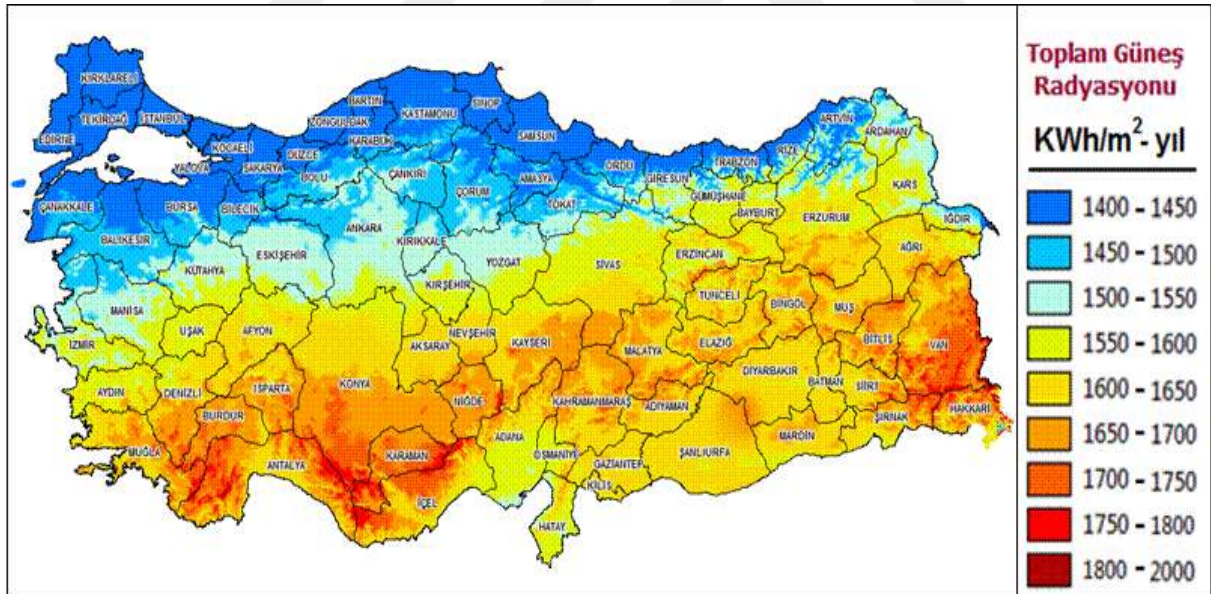
Güneş enerjisi, diğer enerji kaynaklarına bakıldığında oldukça avantajlı, bol, temiz ve yerel uygulamalara elverişlidir. Hem çevre kirliliği hem de enerji ekonomisine yapacağı katkı düşünüldüğünde bu temiz enerji kaynağının kullanılması son derece önemlidir [11, 13].

Türkiye’de fosil enerji kaynakları yetersizdir ve ülkemiz fosil enerji kaynağı ham maddesi bakımından bağımlıdır. Enerjiye duyulan ihtiyaç ekonomik büyüme ile arttığından enerji

hammaddesi ithalatı önemli ölçüdedir. Giderek gelişmekte olan sanayi ile birlikte enerji ihtiyacı artmakta, bu artış enerji ithalatına sebep olmakta ve dış ticaret açığının artmasına neden olmaktadır. Bu enerji açığının kapatılması için Türkiye’de bol miktarda bulunan hidrolik, rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir enerji payının arttırılması önem arz etmektedir [17, 18].

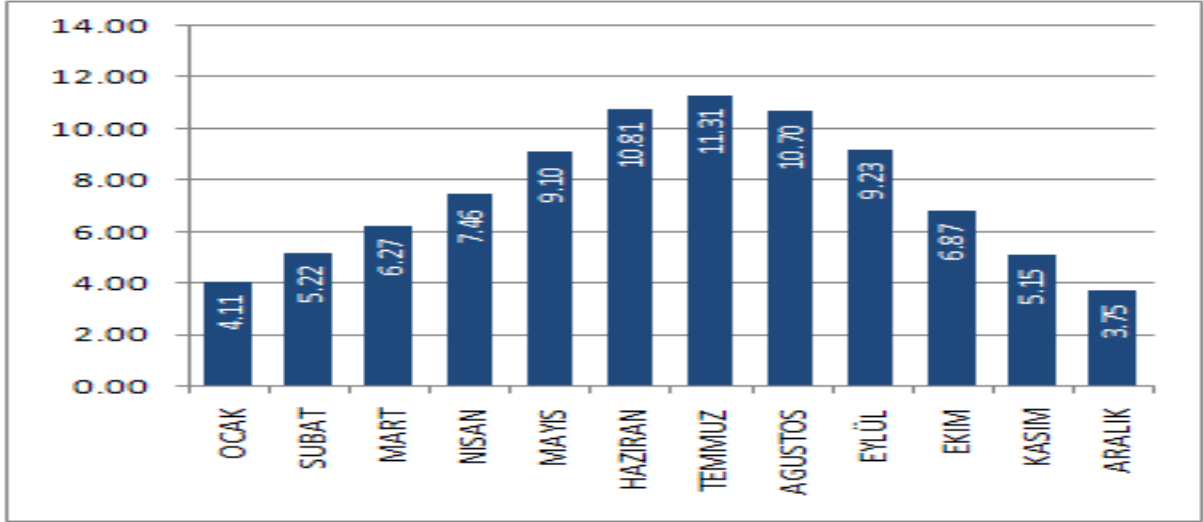
Türkiye Avrupa sıralamasına bakıldığında, suyu ısıtma tekniğiyle güneş enerjisinden faydalanma bakımından ön sıralarda olmasına rağmen güneş enerjisinden etkili bir biçimde faydalanamamaktadır [17, 18].

Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA), Türkiye güneş enerji potansiyeli haritasına göre (Şekil 1.2) güneş ışınlarının en fazla geldiği bölge Güney Doğu Anadolu Bölgesi’dir. Ardından Akdeniz Bölgesi gelmektedir. Güneş ışınlarının geliş açısı ve güneşli gün sayısı bakımından Akdeniz Bölgesi’nden sonra da Doğu Anadolu Bölgesi; sonrasında da sırasıyla İç Anadolu Bölgesi ve Ege Bölgesi gelir. Karadeniz Bölgesi ve Marmara Bölgesi ise güneş enerjisi yönünden en az verimliliğe sahip olan coğrafi bölgedir [19].



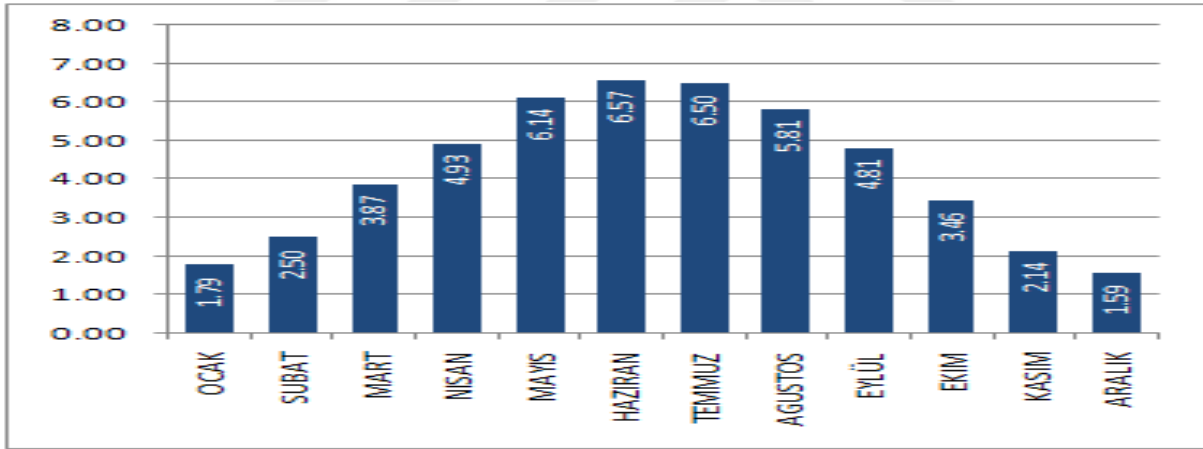
Şekil 1.2 GEPA Türkiye güneş enerji potansiyeli haritası [19].

GEPA Türkiye güneşlenme süreleri verilerine göre (Şekil 1.3), Türkiye’de güneşlenme züresi En fazla Temmuz ayında olmakla birlikte, ortalama günlük güneşlenme süresi 7.5 saat/gün’dür [19].



Şekil 1.3 Türkiye güneşlenme süreleri [19].

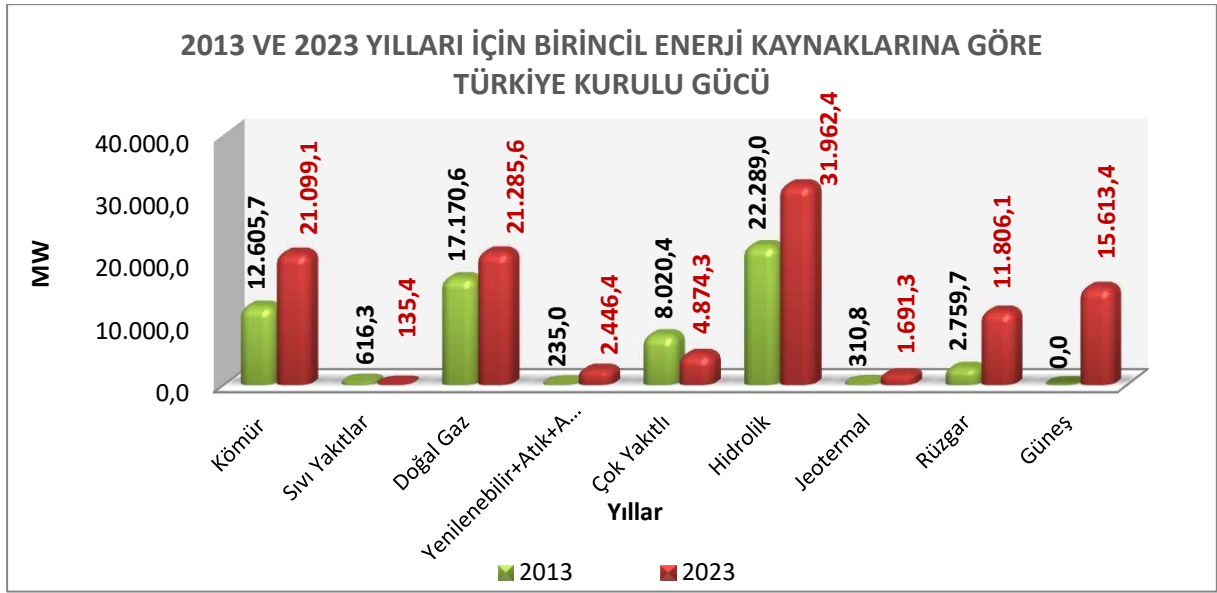
GEPA Türkiye yıllık radyasyon miktarı verilerine göre, yıllık radyasyon 1.503 kWh/m^2 ve günlük ortalama radyasyon ise $4.11 \text{ kWh/m}^2\text{-gün}$ değerindedir. Radyasyon değerinin en yüksek olduğu aylar ise Haziran ve Temmuz aylarıdır (Şekil 1.4) [19].



Şekil 1.4 Türkiye global radyasyon değerleri[19].

Türkiye güneş enerjisini kullanma açısından son yıllarda büyük bir ivme kazanmıştır. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığına göre, Türkiye kurulu gücü bakımından güneş enerjisi 2013 yılında 0 MW iken 2023 yılında 15.613,4 MW değerine ulaşmış ve % 14.08 lik bir paya sahip olmuştur (Şekil 1.5) [20].

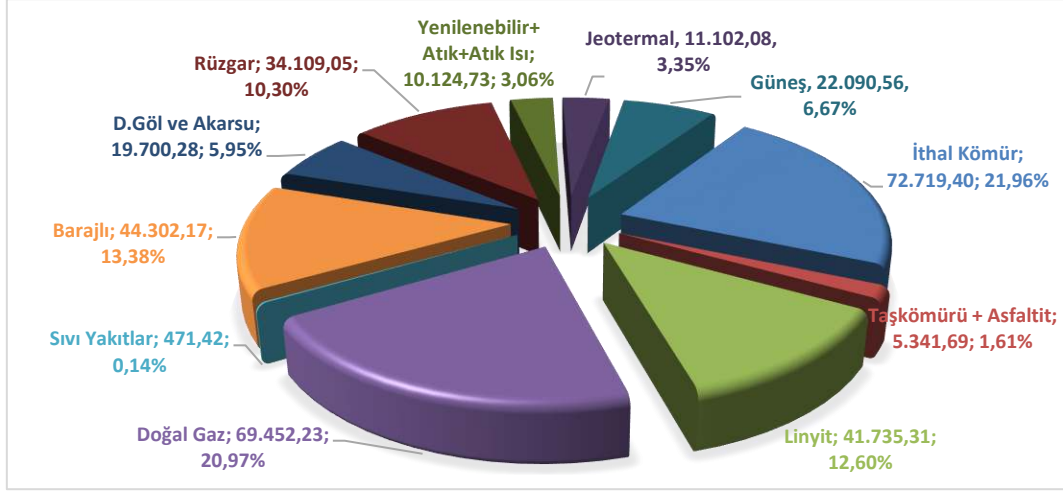
IEA'ya göre ise, Türkiye'de güneş enerjisinden PV yöntemle elektrik üretimi 2014'te 17 GWh iken 2023 yılında 1.872,6 GWh çıkmıştır [21].



Şekil 1.5 2013 ve 2023 yılları için birincil enerji kaynaklarına göre Türkiye kurulu gücü [20].

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verilerine göre, 2023 yılında elektrik üretiminin, %36.2'si kömürden, %21'i doğal gazdan, %19.3'ü hidrolik enerjiden, %10.3'ü rüzgardan, %6.7'si güneşten, %3.4'ü jeotermal enerjiden ve %3.2'si diğer kaynaklardan elde edilmiştir. Ayrıca ülkemizde elektrik enerjisi üretim santrali sayısı, 2024 yılı Ekim ayı sonu itibarıyla 32.003'e (Lisanssız santraller dâhil) yükselmiştir. Mevcut santrallerin 765 adedi hidroelektrik, 69 adedi kömür, 365 adedi rüzgâr, 63 adedi jeotermal, 339 adedi doğal gaz, 29.929 adedi güneş, 473 adedi ise diğer kaynaklı santrallerdir (Şekil 1.6) [20].

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığına'a göre ülkemizin elektrik sisteminin, mevcut durumda sahip olduğu ve önümüzdeki dönemde sahip olabileceği esneklik imkanları ve yenilenebilir enerji potansiyeli dikkate alınarak, güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam elektrik üretimi içindeki paylarının yükseleceği öngörülmektedir. Bu doğrultuda 2035 yılında kurulu güç güneş enerjisinde 52.9 GW düzeyine yükselmesi hedeflenmektedir [20].



Şekil 1.6 2023 yılı Türkiye elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı [20].

1.1.3 Zonguldak'ta Güneş Enerjisi

Zonguldak, Karadeniz ikliminin hâkim olduğu, her mevsim yağışlı ve ılıman bir şehirdir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) verilerine göre Zonguldak ilinin iklim istatistikleri Çizelge 1.1'deki gibidir.

Çizelge 1.1 Zonguldak ili iklim istatistiği [22].

ZONGULDAK	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ortalama Sıcaklık (°C)	6.3	6.4	7.6	11.3	15.4	19.7	22.0	22.0	19.0	15.4	11.9	8.5	13.8
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	9.3	9.6	10.9	14.9	18.9	23.1	25.2	25.4	22.5	18.8	15.3	11.7	17.1
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	3.6	3.6	4.6	8.1	12.2	16.0	18.1	18.3	15.5	12.3	8.9	5.8	10.6
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.3	2.8	3.8	5.2	6.8	9.0	9.9	9.2	7.2	4.9	3.4	2.4	5.6
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	18.07	15.74	15.30	12.10	10.87	8.70	6.64	6.80	8.45	12.29	13.76	17.43	146.2
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	139.7	98.8	98.2	64.9	54.7	74.4	69.3	80.9	102.8	146.8	141.9	154.0	1226.4

Zonguldak'ta kıyıda iç kesimlere doğru gidildikçe iklimin sertleştiği gözlemlenmektedir. Şehirde mevsimler arası sıcaklık farkı ile gece-gündüz sıcaklık farkı oldukça düşük seviyelerde seyretmektedir. Yağış miktarı ise güneyden kuzeye doğru artış göstermektedir. 1939-2024 yılları arasında yapılan meteorolojik ölçümlere göre, toplam yağış ortalaması en fazla 154.0 mm ile Aralık ayında, en az yağış ortalaması ise 54.2 mm ile Mayıs ayında belirlenmiştir. [22].

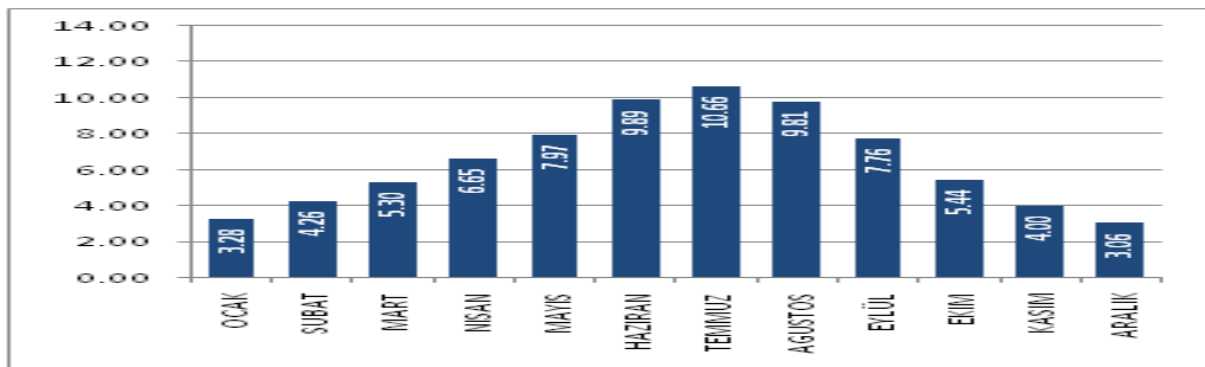
Zonguldak Meteoroloji Müdürlüğü verilerine göre Kasım 2024 ve Ekim 2025 tarihleri arasındaki aylık yağışlı gün sayısı da Çizelge 1.2 de verilmiştir. Çizelge 1.2’den de anlaşılacağı gibi Zonguldak her mevsim yağışlı ve yıllık yağışlı gün sayısı fazla olan bir şehirdir.

Çizelge 1.2 Zonguldak yağışlı gün sayısı [MGM].

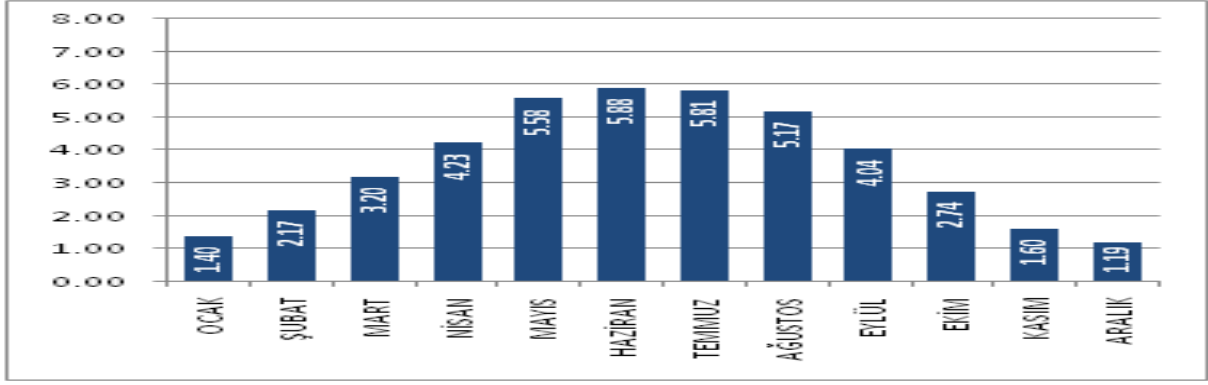
Aylar	Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	Aylar	Ortalama Yağışlı Gün Sayısı
Kasım 2024	15	Mayıs 2025	9
Aralık 2024	17	Haziran 2025	1
Ocak 2025	14	Temmuz 2025	1
Şubat 2025	22	Ağustos 2025	4
Mart 2025	8	Eylül 2025	7
Nisan 2025	17	Ekim 2025	18
Toplam yağışlı gün sayısı: 133			

Zonguldak, kışları serin, yazları ılıman ve deniz etkisine yakın bir iklime sahiptir. MGM verilerine göre, ortalama en yüksek sıcaklık Ağustos ayında, en düşük sıcaklık ise Ocak ve Şubat aylarında ölçülmektedir. Ortalama güneşlenme süresi en fazla 9,7 saat ile Temmuz ayında gerçekleşirken, en düşük değer 2,1 saat ile Ocak ayındadır [22].

GEPA verilerine göre Zonguldak ili ortalama günlük güneşlenme süresi 6,46 saat/gün, yıllık radyasyon miktarı 1.290,3 kWh/m² olarak hesaplanmıştır ve günlük ortalama 3,54 kWh/m² değerindedir (Şekil 1.7-1.8). Zonguldak ili günlük güneşlenme süresi ve radyasyon miktarı Türkiye ortalamasının altındadır [19].



Şekil 1.7 Zonguldak güneşlenme süreleri-saat [19].



Şekil 1.8 Zonguldak global radyasyon değerleri-KWh/m²-gün [19].

1.2 FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

Fotovoltaik (PV) sistemler, güneş ışınımını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürmek için hücrelerden veya dizelerden oluşan bir güneş enerji sistemidir.

PV sistemler, güneş ışığını daha yüksek bir enerji seviyesine düşürerek doğru akım (DC) elektriği oluşturur. Bununla birlikte uygun güç dönüştürme ekipmanı ile tüm geleneksel cihazlarla uyumlu alternatif akım (AC) üretebilir ve şebekeyle paralel olarak çalışabilir ve birbirine bağlanabilir [23, 24].

1.2.1 Off-Grid Fotovoltaik Sistemler

Off-grid PV sistemler, güneş paneli ile üretilen elektriği elektrik şebekesinden ayrı olarak aküler ile depolayarak inverterler aracılığıyla evlerde kullanılan elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Güneş panellerinden üretilen elektrik enerjisi akülerde şarj kontrol cihazıyla düzenlenerek depolanır [23].

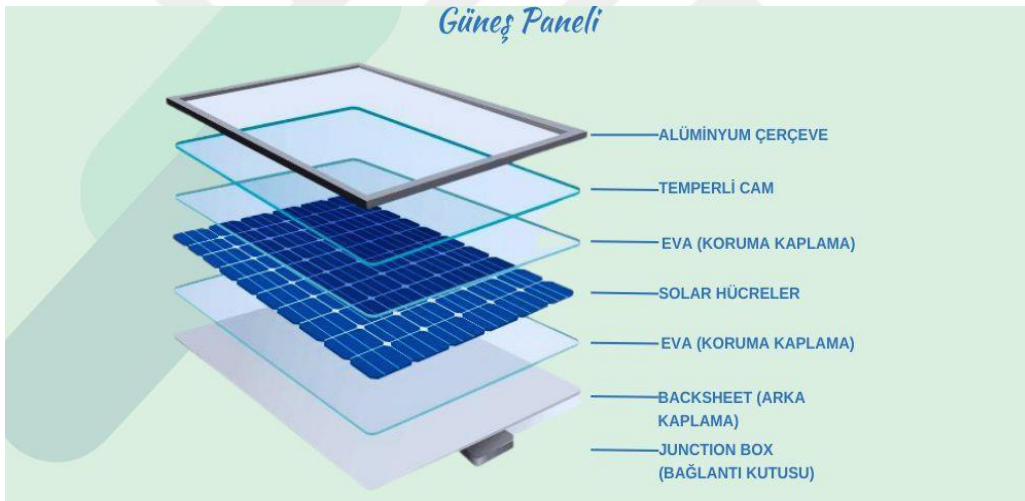
1.2.2 On-Grid Fotovoltaik Sistemler

Bu sistemler, boyutlarından bağımsız olarak bir santral sistemi olarak işlev gösterir. Sistem, güneş panellerinden elde edilen elektrik enerjisinin şebeke bağlantılı inverterlere iletilerek düzenlenmesini ve elektrik hattına aktarılacak uygun forma dönüştürülmesini sağlamaktadır. Üretilen elektrik, öncelikle doğrudan yüke kullanılmakta, fazlası şebekeye

iletilmektedir. Hava kapalı olduğu veya üretim düşük olduğu durumlarda, ihtiyaç duyulan elektrik şebekeden yüke aktarılmaktadır [23, 25].

1.2.3 PV Paneller

PV sistemlerin en temel bileşeni, güneş hücreleridir. Güneş hücreleri, farklı iki tip yarı iletken malzemenin bir araya getirilmesiyle oluşturulan, elektriksel alan sayesinde, üzerine düşen fotonların taşıdığı enerjiyi elektronlar tarafından emilerek elektrik akımına dönüştüren enerji dönüşüm araçlarıdır. Hücreler dizilerek panelleri oluşturur (Şekil 1.9). Her panel nispeten az miktarda elektrik üretir, ancak paneller bir güneş paneli dizisi olarak birbirine bağlanarak daha yüksek miktarda enerji üretebilir. PV paneller, üretim kapasitelerine göre çeşitlilik gösterir. Piyasada en yaygın olarak kullanılan güneş panelleri arasında monokristal, polikristal ve ince film gibi çeşitli türler bulunmaktadır [24, 26, 27].



Şekil 1.9 Güneş paneli [28].

1.2.4 İnverter

İnverter, doğru akımı alternatif akıma dönüştürmek için kullanılan cihazlardır. Bu cihaz, anahtarlama ve kontrol devrelerine bağlı olarak herhangi bir frekansta çalışabilme özelliğine sahiptir. Bağlantı türlerine göre üç farklı inverter çeşidi vardır. Bunlar büyük alanlar için kullanılan merkezi inverter, her dizi için ayrı olarak kullanılan dizi tip inverterler ve tüm birimler için ayrı ayrı kullanılan mikro inverterlerdir [24].

1.2.5 Akü

PV sistemlerde kullanılan aküler, şebeke bağlantısı bulunmayan tesisler için enerjinin yalnızca üretim anında değil, üretim yapılamayan saatlerde de kullanılabilmesine olanak tanır. Üretim gerçekleştirilen saatlerde akülerin dolumu sağlanarak, ihtiyaç duyulan zaman diliminde enerjinin erişilebilir olması mümkün hale gelir [23].

1.2.6 Şarj Regülatörü

PV santrallerde, şebeke bağlantısı bulunmayan sistemler için üretilen enerjinin akülere sağlıklı bir şekilde aktarımı ve dolum süreci için şarj regülatörleri kullanılmaktadır. Akülerin dolum işlemi tamamlandıktan sonra, akımı keserek akünün zarar görmesini önler. Bu regülatör, akü ile PV santrali arasında bağlantı kurarak sorunsuz bir şarj işlemi gerçekleştiren önemli bir devre elemanıdır [23].

1.2.7 Senkronoskop

Senkronoskop, bağımsız ya da şebekeye bağlı üretim tesislerinde gerekli gerilim ve frekans değerlerinin uyumunu gösteren bir cihazdır. Bu cihaz, giriş ve çıkış ünitelerinin gerilim ve frekans ölçümlerini inceleyerek sistemin uygunluğunu test eder [23].

1.3 FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN VERİMİNİ ETKİLEYEN ÇEVRESEL FAKTÖRLER

PV sistemi kullanılarak elektrik enerjisi üretimi hava koşullarından doğrudan etkilenir. Tozlanma, kirlenme, çalışma sıcaklığı, rüzgar, yağış durumu, gölgeleme, güneş ışıınımı ve güneşlenme süresi gibi birçok çevresel faktör PV sistemlerinin verimine etki etmektedir [9, 29, 30]. Güneşli günlerde, üretilen güç maksimuma ulaşmakta, güneş ışıınımı arttıkça verim artmaktadır. Aynı zamanda güneşlenme süresi arttıkça da, PV panelin güneş enerjisi toplama kapasiteside artmaktadır. Bulutlanma gibi gölgelenmeye neden olan durumlar PV panellerine gelen güneş ışıınımını engelleyerek sistemin verimliliğini ve çıktısının azalmasına neden olmaktadır [9, 29]. Toz, su buharı ve çevredeki diğer kirleticiler, güneş ışığının panele ulaşmasını engelleyerek PV panelin verimliliğinin azalmasına neden olur. Ayrıca PV panelin yüzeyinde biriken tozlar zamanla yüzeyde kalın bir tabaka oluşmasına neden olabilir. Bu toz

tabakası, bir PV panelin özelliklerini değiştirerek, ışığı daha fazla yansıtmasına ve yüzeyden geçebilen ışık miktarının azalmasına neden olabilmektedir. Özellikle yarı kurak ve kurak bölgelerde, tozlanma nedeniyle panel verimliliğinde kayıplar yaşanabilmektedir [9, 29, 31]. Rüzgâr, PV panellerin performansı üzerinde hem olumlu hem de olumsuz bir etkiye sahip olabilir. Rüzgâr, paneller üzerinde biriken tozu uzaklaştırarak, panel yüzeyinde toz katman oluşmasının önüne geçebilir ya da atmosferdeki toz ve kum parçacıklarını paneller üzerine taşıyarak daha fazla katman oluşmasına sebep olabilir. Böylece toz birikiminin artması, panellerin verimi olumsuz yönde etkilenmesine sebep olmaktadır [9, 29]. Rüzgar hızı, ortam sıcaklığı, güneş ışınımı aynı zamanda PV panellerin çalışma sıcaklığını da etkiler. Çalışma sıcaklığı PV panellerin çıktılarına doğrudan etki eder. PV panellerin sıcaklığının artması elektriksel verimliliğin azalmasına sebep olur [9, 29]. Yağmur da PV panellerin verimi bakımından hem olumlu hem de olumsuz etkisi olabilmektedir. Hafif yağmur normalde paneller için büyük bir tehdit oluşturmasa da, uzun süreli şiddetli sağanak yağışlar verimi düşürebilir. Kurak mevsimlerde panelin yüzeyinde kir ve kalıntı birikmesi verimliliğini düşürebilir. Yağmur biriken tozu temizlemede etkili olsa da, panelin yüzeyindeki fazla su, verimliliğini azaltabilmektedir [9, 29].

BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

Bu çalışmada, şebekeye bağlı güneş enerji santralinden (GES) elde edilen gerçek veriler ile PVsyst, PVGIS ve Helioscope simülasyon programlarından elde edilen veriler karşılaştırılarak, söz konusu programların doğruluk ve güvenilirlik düzeyleri değerlendirilmiştir. Ayrıca aynı kurulu güce sahip, farklı yönlerdeki PV panellerden elde edilen enerji üretimleri karşılaştırılarak, panel konumunun, bununla birlikte, tozlu ve temiz panellerin enerji üretimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmanın literatürdeki benzer ve farklı yönlerini ortaya koymak amacıyla kapsamlı bir literatür taraması yapılmış ve aşağıda ilgili çalışmalara yer verilmiştir.

2.1 SİMÜLASYON PROGRAMI VERİLERİ İLE GES VERİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Güneş enerjisi kullanımını en üst düzeye çıkarmak, enerji üretiminin doğru ve güvenilir bir şekilde tahmin edilmesi gerekmektedir. Ancak, güneş radyasyonu, rüzgâr hızı ve sıcaklık gibi meteorolojik faktörlerin stokastik yapısı gibi nedenler PV sistem çıktısının doğru bir şekilde tahmin edilmesini güçleştirmektedir. Bu belirsizlikler, güç dağıtımı, şebeke istikrarı, planlama ve genel operasyonel güvenlik üzerinde önemli etkiler yaratabilmektedir. Gerçekleşen ve tahmin edilen güneş enerjisi üretimi arasındaki tutarsızlıklar, elektrik şebekelerinin yönetimi ve sürdürülmesinde ciddi sorunlara yol açabilmektedir. Bu nedenle literatürde, PV sistemlerinin performansını daha doğru biçimde modelleyebilmek ve bahsedilen zorlukların üstesinden gelebilmek amacıyla çeşitli simülasyon programlarının kullanıldığı çok sayıda çalışma yer almaktadır [32].

Şahin ve Salihmuhsin (2024), Kahramanmaraş'ta gerçekleştirdikleri çalışmada gerçek zamanlı GES verilerini, PVsyst simülasyon yazılımı ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırmıştır. Gerçek ölçümler ile simülasyon verileri arasında yalnızca % 0.203 oranında bir fark tespit edilmiştir.

Bu düşük sapma oranı, PVsyst programının güneş enerjisi santrallerini yüksek doğrulukla modelleyebildiğini ve simülasyon sonuçlarının güvenilir olduğunu göstermektedir [33].

Öztürk ve ark. (2023), Ağrı’da yaptıkları çalışmada gerçek zamanlı GES sonuçları ile PVsyst ve PVGIS yazılımları ile simüle edilmiş sonuçları karşılaştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda PVsyst yazılımının PVGIS yazılımına göre gerçek santral verilerine daha yakın sonuçlar verdiğini görmüşlerdir [34].

Limem ve Sezen (2021), PVsyst, PVGIS, PV*SOL ve RETScreen yazılımlarının Kocaeli İli iklim koşullarında etkinliğini değerlendirilmek amacıyla yaptıkları çalışmada PVsyst ve PV*SOL ile elde edilen sonuçların gerçek değerlere en yakın sonuçlar olduğunu bulmuşlardır [35].

Ceylan ve Taşdelen (2018), Isparta ilinde Helioscope, PVGIS, Polysun ve PV*SOL simülasyon programlarını kullanarak, gerçek zamanlı GES verileri ile simülasyon programları sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Simülasyon programı sonuçlarının, gerçek sonuca ne kadar yakın olduğunu araştırdıkları çalışmada, Helioscope programı ile elde edilen sonuçların % 1.2’lik bir hata payı ile gerçek sonuca en yakın sonucu olduğunu tespit etmişlerdir [36].

Chandrakant ve ark. (2018), şebekeye bağlı bir çatı üstü güneş fotovoltaik sisteminin teknik performansını belirlemek amacıyla bir simülasyon çalışması yürütölmüşlerdir. Çalışmada, PV*SOL, PVGIS, SolarGIS ve SISIFO' simülasyon programlarını kullanmışlardır. PVGIS ve PV*SOL tarafından elde edilen performans oranlarını, SOLARGIS ve SISIFO'dan önemli ölçüde daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir [37].

Çınaroğlu ve Nalbantoğlu (2021), Kilis’te yaptıkları çalışmada, 3 adet kurulu gücü bulunan GES’in son 3 yıllık üretimlerinin sonuçlarını, Meteonorm veri tabanı kullanılan PVsyst simülasyon programı ile karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma neticesinde; elde edilen verilerin birbirlerine yakın olduğunu, ancak santral enerji üretim değerlerinin daha az olduğunu tespit etmişlerdir [38].

2.2 PV PANEL YÖNÜNÜN ENERJİ ÜRETİMİNE ETKİSİ

Pv panellerin doğru şekilde konumlandırılması, panelin güneşten gelen ışığı yeterince alması ve verimliliği açısından oldukça önemlidir. Kuzey ve güney yarım kürede konumlandırılacak paneller için uygun yönlendirme farklılık göstermektedir. Yanlış yöne bakan bir panel, doğru yöne bakan bir panelden daha az elektrik üretmektedir. Literatürde farklı yönlere yerleştirilen panellerin enerji üretimine etkisinin karşılaştırıldığı birçok çalışmaya yer verilmiştir.

Şimşek ve Uçum (2022), İstanbul’da güney ve kuzey yönlerine 7° ve 25° eğim açısına sahip Monokristal ve Polikristal PV tasarımlı sistem simülasyonu kullanarak, güneş enerjisi üretim sistemlerinin tasarım ve performansının karşılaştırılması yapmıştır. 7° ’lik monokristal panellerde güney yönünde %83.33, kuzey yönünde %82.74 lük bir verim elde etmiş ve 7° ’lik polikristal panellerde güney yönünde %83.29, kuzey yönünde %82.72 lik bir verim elde etmiştir [39].

Yılankıran ve İsaogulları (2024) PV*SOL yazılım programı ile Sivas’ta yaptıkları çalışmada, kuzey ve güneye bakan güneş enerji sistemi tasarlayarak panel yönünün enerji üretimine etkisini incelemiştir. Güneye bakan PV sistem için yıllık 126.000 kWh ve kuzeye bakan PV sistem için yıllık 113.400 kWh’lik enerji elde edilebileceği bilgisine ulaşmışlardır [40].

Khatib ve Deria (2022) Filistin’in Birzeit şehrinde yaptıkları çalışmada güney yönünde 18° eğim açısıyla yerleştirilen panellerle, doğu-batı yönelimli 7° eğim açısıyla yerleştirilen panellerdeki enerji üretimini karşılaştırmıştır. Güney yönünde yerleştirilen PV panelin doğu-batı yönelimli PV panelden %8 daha fazla enerji ürettiği sonucuna varmışlardır [41].

Kayrı’nın (2023) Batman’da yaptığı deneysel çalışmada sabit açılı PV panel ile güneşi doğu-batı yönünde izleyen PV sistemin enerji verimliliğindeki farkını incelemiştir. Gerçekleştirilen bir yıllık ölçüm sonuçları bir arada değerlendirildiğinde, doğu-batı yönünde hareket eden güneş panellerinin, sabit açılı güneş panellerine kıyasla %30.84 oranında bir verim artışı sağladığı tespit edilmiştir [42].

Adıgüzel ve Javani’nin (2015) Antalya’da yaptığı çalışmada, güney cepheye monte edilen sistemin, kuzey cepheye monte edilen sistemden %39.79 daha fazla elektrik enerjisi ürettiği tespit edilmiştir [43].

2.3 TOZLANMANIN PV PANEL VERİMİNE ETKİSİ

PV panel verimini önemli derecede etkileyen faktörlerden biri de panellerin tozlanmasıdır. Tozlanmanın yalnızca PV panelinin ürettiği gücü azaltmakla kalmadığı, aynı zamanda kullanım ömrünü de azalttığı belirtilmiştir [44, 45]. PV panellerinin tozlanmasında rüzgâr, nem, sıcaklık, yağış gibi etmenlerin etkisi büyüktür. PV panel performansını arttırmak için, panel tozlanması konusuna önem verilmelidir [46]. Literatürde tozlanmanın PV panel verimliliği üzerine etkisini inceleyen çok sayıda çalışma bulunmaktadır.

Rusănescu ve arkadaşları (2023) 1990 ile 2023 yılı arasında yaptıkları sistematik incelemede, toz tabakasının kalınlığı, PV modüllerin performansını olumsuz yönde etkilediğini ve artan toz miktarının PV hücrelerin ürettiği enerjinin azalmasına yol açtığını belirlemişlerdir. Eğimi düşük PV panellerin daha fazla tozlandığı ve yağmurun panel kaplamasını temizleyerek daha verimli hale getirdiği sonucuna varmışlardır [47].

Kayri ve Bayar'ın (2021) Batman'da yaptıkları çalışmada, PV paneller üzerindeki tozlanmanın verime olan etkisini incelemişlerdir. Deneysel çalışmada, güneye 30° açıyla yerleştirilen temiz PV panel ile yüzeyinde sırasıyla 5 gün, 1 ay ve 6 ay boyunca toz biriken bir PV panelin enerji üretim değerleri ölçülmüştür. Çalışmanın sonucunda temiz panele oranla 5 günlük tozlanmaya maruz kalan panel %5.26; 1 aylık tozlanmaya maruz kalan panel %28.49 ve 6 aylık tozlanmaya maruz kalan panelde ise %78.38 daha az enerji elde edildiği tespit edilmiştir [48].

Akkoyunlu ve arkadaşlarının (2024) Konya'da, tozlanmanın PV paneller üzerine etkisini inceledikleri çalışmada; Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarındaki güç üretimi FusionSolar takip sistemi kullanılarak gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda Haziran ayında santralin güç üretiminde önemli bir düşüş yaşandığını tespit etmişlerdir. Bu düşüşün, santralin toz etkisinden kaynaklanan kirlenmesinden kaynaklandığı belirlemişlerdir. Temmuz ayında yapılan panel temizliği sonrasında, güç üretimi önceki aylara oranla %17.5 oranında yükseldiğini gözlemlenmiştir [49].

Saidan ve arkadaşları (2016) Bağdat'ta PV paneller üzerinde tozlanmanın etkisini araştırmışlardır. PV panellerin verimliliğinde, bir günlük, bir haftalık ve bir aylık toza maruz kalma süreleri için hesaplandığında % 6.24, % 11.8 ve % 18.74 oranında azalma olduğunu tespit etmişlerdir [50].

Vaishak ve Bhale (2019) Hindistan'da yaptıkları çalışmada, sekiz haftalık bir süre boyunca ilerleyen toz birikiminin camın spektral geçirgenliğini % 91'den % 46.09'a düşürdüğü, buna bağlı olarak sistemin elektriksel veriminin % 44.14 ve performans katsayısının % 8.53 oranında azaldığı gözlemlenmiştir [51].

Guan ve arkadaşları (2017), Xi'an'daki Chang'andaki çalışmalarında, toz birikiminin yalnızca PV cam panelinin geçirgenliğini azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda modül sıcaklığını da düşürdüğünü ve böylece PV modülünün çıkış gücünü etkilediği sonucuna varmışlardır. Ayrıca deney, doğal toz birikimi nedeniyle bir PV modülünün bağlı geçirgenliğinin sadece 8 gün içinde %20 oranında azalabileceğini ortaya koymuştur [52].

Hachicha ve arkadaşları (2019), Birleşik Arap Emirlikleri Sharjah şehrinde tozlanmanın ve eğimin, PV modüller üzerindeki etkisini araştırmışlardır. 0°, 25° ve 45° eğimle yerleştirilen PV modüllerdeki toz birikimi sırasıyla temiz modüle kıyasla % 37.63, % 14.11 ve % 10.95 oranında arttığı ve eğim açısının artmasıyla toz birikiminin azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca yağmurun PV modülün performansını arttırdığını ve toz yoğunluğunun azalmasına katkıda bulunduğu sonucuna varmışlardır [53].

Gholami ve arkadaşları (2018), İran'ın Tahran şehrinde tozlanmanın PV paneller üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Yağmursuz geçen 70 günün sonunda PV panellerde toz biriktiğini ve bununla güç çıkışında % 21.47'lik bir azalmaya neden olduğu sonucuna varmışlardır [54].

Uz ve arkadaşları (2022) İzmir'de GES'te üretilen enerji miktarını meteorolojik hava durumuyla değerlendirdikleri çalışmada, PV verimi en çok etkileyen hava koşulları sırasıyla güneşlenme şiddeti, bulutluluk ve yağışlı günler olduğu sonucuna varmışlardır. Yapılan çalışmada temmuz ve Ağustos aylarında yağmur yağmamasından dolayı PV panellerin yüzeylerinin kirlendiği bulgusu elde edilmiştir [55].

Umut İ. (2023) Edirne'de yaptığı çalışmada, 3 ay boyunca panellerden birini haftada bir cam temizleyici ile temizlemiş ve diğer paneli doğal şartlar altında temizlemeden takip etmiştir. 3 ay sonra haftada bir temizlenen panel temizlenmeyen panele göre yaklaşık olarak %4 daha fazla elektrik enerjisi ürettiği sonucuna varmıştır [56]. Abderrezek ve Fathi (2017) yaptıkları deneysel çalışmada PV panellerde oluşan tozlanma, güçte %10 ile %16 arasında bir kayıp oluşumuna neden olduğunu belirlemişlerdir [57].

Tamoor ve arkadaşları (2022) Pakistan'ın Sargodha bölgesindeki taş kırma bölgesinin yakınına kurulan PV sistemde tozlanmanın PV verime etkisini incelemişlerdir. 4 aylık inceleme sonucunda tozlu PV panelin enerji üretimi temiz panele kıyasla Mayıs ayında %7.48, Haziran ayında % 7.342, Aralık ayında % 10.68 ve Ocak ayında % 8.03 oranında azaldığı sonucuna varmışlardır [58].

Umar ve arkadaşları (2023) gerçekleştirdikleri çalışmalarda 23°, 33° ve 43° eğim açılarında yerleştirilen panellerin kirlenme kayıplarının sırasıyla % 16.20, % 14.12 ve % 11.64 olduğunu ortaya koymuşlardır. Ayrıca, suyla yapılan etkili bir temizleme sonrası geri kazanılan güç oranlarının ise % 12.07, % 11.40 ve % 9.92 olduğunu tespit etmişlerdir [59].

Erişgin ve arkadaşları (2022) tamamen tozlanmış ve güç üretimi olamayan bir PV panelin, mekanik, temassız ve kendi kendini temizleme yöntemlerinden üçünü kullanarak yaptığı deneysel bir çalışmada, seçilen temizleme yöntemlerine bağlı olarak maksimum güç çıkışının % 53.80'e, % 55.48'e ve % 68.6'ya çıkarılabileceğini tespit etmişlerdir [60].

Yücel (2022) Çanakkale ili Çan ilçesinde yaptığı çalışmada 5 ayrı bölgeye yerleştirilen PV panellerin tozlanma oranı ve enerji verimine olan etkisini incelemiştir. Bir yıllık gözlemden sonra şehre yakın beş farklı bölgede yapılan ölçümlerde, kirlenmenin etrafındaki kirleticilerin varlığıyla ilişkili olarak arttığı gözlemlenmiştir. Temiz ve kirli paneller arasındaki enerji üretim farkları 1. bölge % 9; 2. bölge % 12; 3. bölge % 4; 4. bölge % 3.8 ve 5. bölge de % 3 oranında bir farklılık göstermiştir [61].

Anana ve arkadaşları (2016) Fas'ta yaptıkları çalışmada kirlenmenin ve eğim açısının PV panel verimine olan etkisini incelemişlerdir. 1.610 µm kalınlığındaki kirlenme tabakasının, bir aylık sürede modül performansını %7.64 oranında azalttığı gözlemlenmiştir. 3 aylık deney sürecinde PV panellerin temizlenmesi ile %10 daha fazla enerji elde edilmiştir. PV paneller ne kadar düz yerleştirilirse tozlanmanın ve enerji kaybının o kadar fazla olacağı sonucuna varmışlardır [62].

Babatunde ve arkadaşları (2018) Kuzey Kıbrıs Kıbrıs Uluslararası Üniversitesi'nde yaptıkları çalışmada PV panellerde temizleme işlemi uyguladıktan sonra %2.5 oranında bir artış elde etmişlerdir [63].

BÖLÜM 3

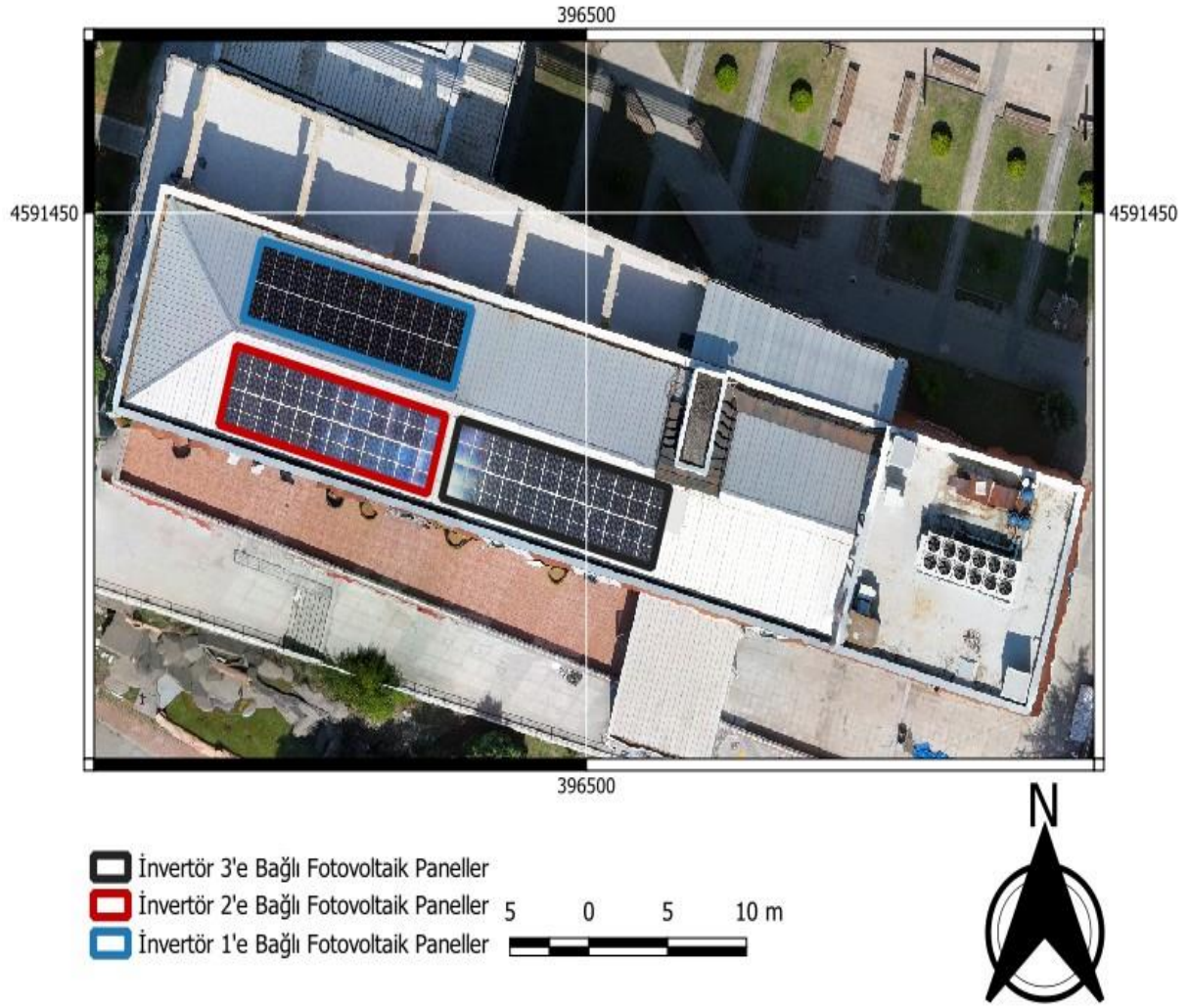
MATERYAL METOD

Zonguldak ili Merkez ilçesi İncivez mahallesi Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi (BEUN) Farabi Kampüsü yerleşkesinde, F27b01d4c pafta, 336 ada, 4 parselde bulunan yemekhane binası çatısına kurulu, şebekeye bağlı bir güneş enerji santralinden (GES) elde edilen üretim verileri kullanılmıştır. GES, 30° eğim açısıyla, -165° (kuzeydoğu) azimut açılı 13.2 kW kurulu güce sahip PV paneller ve 15° (güneybatı) azimut açılı 13.2+13.2 kW olmak üzere toplam 39.6 kW kurulu güce sahip PV panellerden oluşmaktadır.

Kasım 2024-Ekim 2025 tarihleri arasında elde edilen gerçek üretim verileri ile PVsyst, PVGIS ve HelioScope simülasyon programlarından elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Ayrıca, aynı güce sahip kuzeydoğu ve güneybatı yönlerindeki PV panellerden elde edilen enerji üretimleri karşılaştırılmış ve yönlerin enerji verimi üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Bununla birlikte, aynı kurulu güce sahip güneybatı yönelimli PV panellerden bir grup ayda bir kez manuel olarak temizlenmiş; bu panellerden elde edilen enerji üretim değerleri, temizlenmeyen (kirli) panellerle karşılaştırılarak tozlanmanın verim üzerindeki etkisi analiz edilmiştir.

3.1 SİSTEM ÖZETİ

Toplam 39.6 kW DC kurulu güce sahip Zonguldak BEUN GES'te; herbiri 2278mm x1134mm x 35mm boyutlarında 550 W Schimid marka (SPE550-144M) monokristal PV panel bulunmaktadır. Santralde toplam 72 adet PV panel bulunmaktadır. Bunların 24 tanesi kuzeydoğu yönünde toplam 13.2 kW DC, 48 tanesi ise güneybatı yönünde 26.4 kW DC kurulu güce sahiptir (Şekil 3.1).



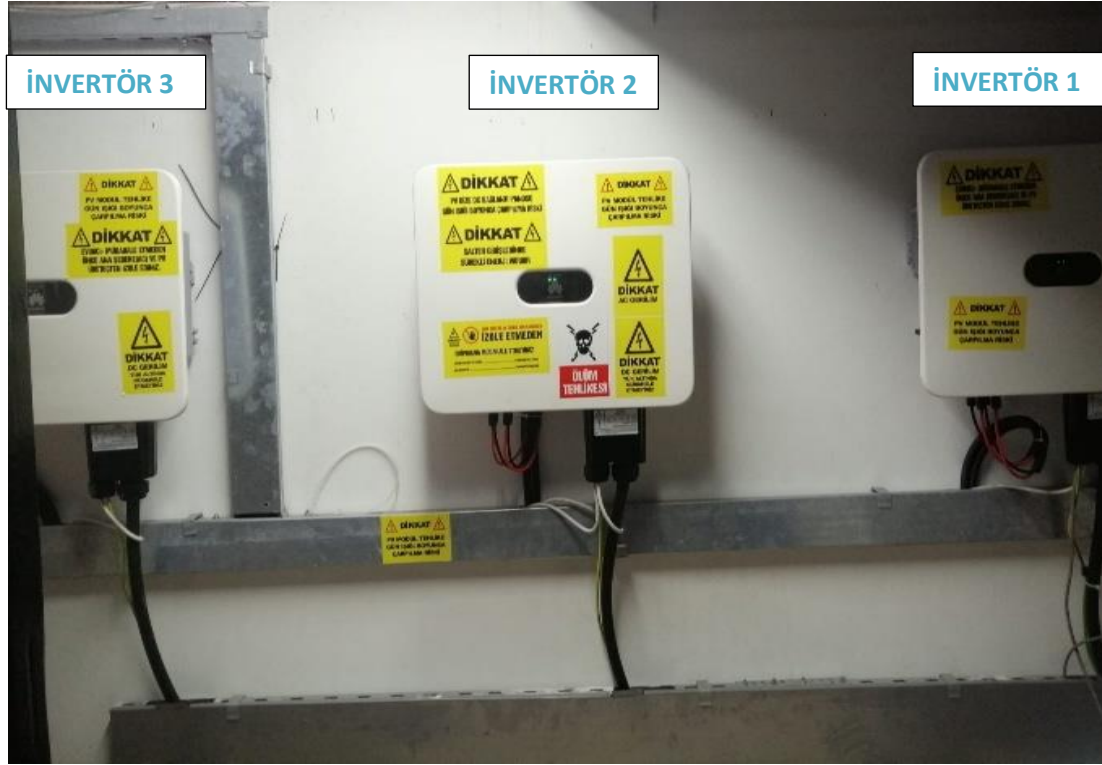
Şekil 3.1 Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi GES PV panel yerleşim görüntüsü.

Kullanılan PV panellerine ait elektriksel özellikler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Schmid PV panel özellikleri.

Elektriksel Özellikler	
Model SPE 550	
Maksimum güç	550 Wp
Maksimum Güçte Gerilim	42.15 V
Maksimum Güçte Akım	13.07 A
Açık Devre Gerilimi	49.74 V
Kısa Devre Akımı	13.86 A
Verimlilik	21.3 %
Pozitif Güç Toleransı	±5 W

BEUN GES'te PV panellerinin bağı bulunduğı Huawei marka SUN2000-15KTL-M5 model toplam 3 adet inverter yer almaktadır (Şekil 3.2). Her bir inverterde 2 adet maksimum güç noktası takipçisi (MPPT) girişi ve her bir MPPT'ye 1 dizi (string) bağlanacak şekilde toplam 6 dizi bulunmaktadır. Her bir dizi 12 PV panelden oluşmaktadır (Şekil 3.2).



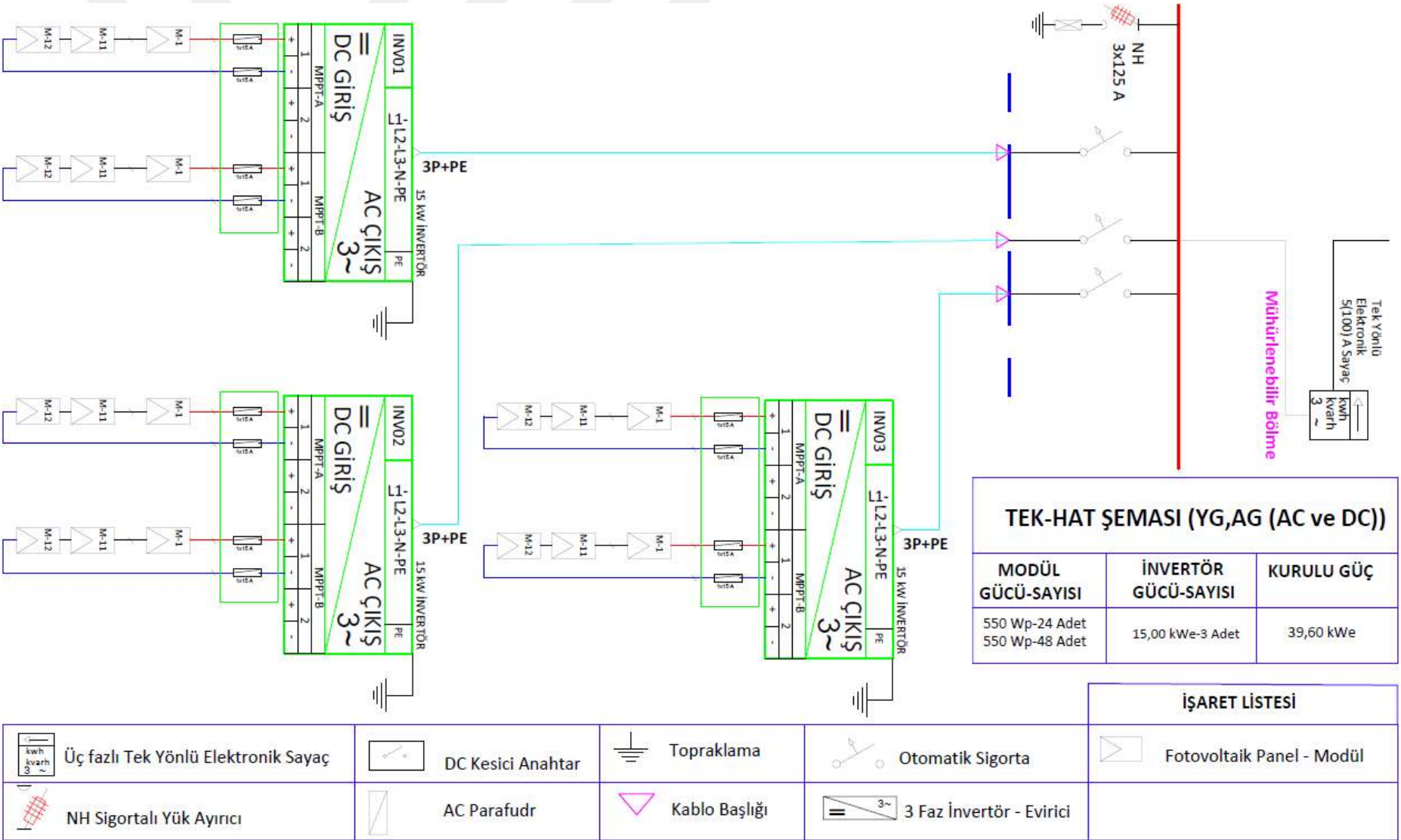
Şekil 3.2 Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi GES inverter yerleşimi.

İnverter 1, kuzeydoğu yönüne yerleştirilen 24 adet PV panele bağlanmıştır. İnverter 2 ve İnverter 3 ise güneybatı yönüne yerleştirilen 24'er adet PV panele bağlanmıştır (Şekil 3.3).

İnverterlerin özellikleri aşağıdaki Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Huawei inverter özellikleri.

Huawei SUN2000-15KTL-M5		
Maksimum Verimlilik	%	98.4
Maksimum Pv Gücü	Wp	22500
Maksimum Giriş Voltajı	V	1100
MPPT Voltaj Aralığı	V	200 ~1000
Maksimum Kısa Devre Akımı	A	40
Maksimum Giriş Sayısı		4
Nominal Çıkış Gücü	W	15000



Şekil 3.3 Tek hat şeması.

3.2 SİMÜLASYON PROGRAMLARI

Simülasyon programları, PV santraller yapılmadan önce elektriksel açıdan en uygun sistem tasarımı yapma ve santralde kullanılacak ekipmanları belirleme ve tasarıma göre meydana gelecek kayıp miktarlarını belirleme; santral devreye alındıktan sonra aylara göre beklenen üretim ve performans oranı miktarı, yıllık beklenen üretim ve performans oranı miktarı ve engellenecek CO₂ salınımı hakkında bilgi edinme amacı ile kullanılan yazılımlardır. PV sistemlerin performans analizinde yaygın olarak kullanılan PVsyst, PVGIS ve HelioScope simülasyon yazılımlarından yararlanılmıştır.

3.2.1 PVsyst Simülasyon Programı

PVsyst konseptörü ve kurucusu Andre Mermoud 1992'de PV sistemlerin incelenmesi ve simülasyonu için PVsyst yazılımını geliştirmiştir [64].

PVsyst, geniş bir seçim yelpazesi sunması, PV sistem elemanlarını detaylı bir şekilde içermesi, hızlı erişim imkânları sağlaması, sistemdeki kayıpların ayrıntılı bir biçimde analiz edilebilmesi, 3D çizim özelliği ile gölgeleme kayıplarının tespit edilebilmesi, ekonomik analiz yapabilme yeteneği gibi pek çok özelliği sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadır. PVsyst programı, güneş enerji sistemleri için özel bir tasarıma sahiptir. Bu yazılım, şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız ve pompalama sistemlerinin detaylı tasarımını gerçekleştirmek amacıyla özel olarak geliştirilmiştir. Program güneş enerjili sistemlerinin modellenmesi ve simülasyonu için kullanıcılara kolay, hızlı, esnek ve özelleştirmelere açık bir program ortamı sunmaktadır [33].

PVSyst, simülasyonlarda Meteonorm, PVGIS, NASA-SSE, HelioClim-3 ve SolarGIS gibi çeşitli meteorolojik veri tabanlarını kullanır. PVSyst, bu verileri kullanarak geçmiş hava durumu verilerine dayalı olarak enerji üretimini tahmin eder. Bu sayede, tasarım aşamasında güneş enerjisi santralının performansı hakkında öngörülerde bulunulabilir.

PVSyst, güneş enerjisi santrallerinin performansını tahmin etmek için kapsamlı ve detaylı simülasyon yetenekleri sunar. Bu sayede, farklı senaryoların ve hava koşullarının etkilerini incelemek mümkün olur. Bu yazılım, güneş enerjisi santrallerinin ilk tasarım aşamalarında ve fizibilite çalışmalarında büyük bir avantaj sağlar. Farklı yapılanmalar ve bileşenler değerlendirilerek, verimli ve uygun maliyetli bir çözüm belirlenebilir. Çeşitli PV sistem

yapılandırmalarını ve bileşenlerini simüle etme yeteneği sayesinde, farklı PV modülleri, invertörler ve montaj sistemleri arasındaki karşılaştırmaları yapmaya yardımcı olur.

PVSyst'in sağladığı bu avantajlar, güneş enerjisi santrallerinin verimli ve doğru bir şekilde tasarlanmasına ve optimize edilmesine büyük katkıda bulunur. Ancak, sahadaki gerçek zamanlı verilerin önemi göz önünde bulundurulduğunda, izleme sistemlerinin sunduğu avantajlar da dikkate alınmalıdır [65].

Bu çalışmada PVSyst simülasyon programında Meteonorm, PVGIS, NASA-SSE veri tabanları kullanarak simülasyon gerçekleştirilmiştir. Meteonorm meteorolojik veri tabanı, Zonguldak'ın 2003-2013 tarihleri arasındaki; PVGIS meteorolojik veri tabanı 2005-2020 tarihleri arasındaki, NASA-SSE meteorolojik veri tabanı 1983-2005 tarihleri arasındaki meteorolojik verilerinin ortalamalarını alarak, simülasyon programında kullanılmak üzere veri oluşturmaktadır. Belirtilen zaman dilimlerindeki Zonguldak'ın ortalama aylık güneşlenme süreleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

3.2.2 PVGIS Simülasyon Programı

Bu simülasyon programı Avrupa Komisyonu Çevre ve Sürdürülebilirlik Enstitüsü araştırma merkezi tarafından geliştirilmiştir. PVGIS güneş panellerinin üretimini tahmin etmek için yönelim, güneş radyasyonu, güneş ışığı saatleri, sıcaklık, gölgeleme, kullanılan malzemeler gibi birçok faktörü çapraz referanslayarak hesaplamalar yapar [66]. PVGIS herkesin ücretsiz kullanabileceği çevrimiçi bir programdır. PVGIS programı uydu trafikli meteorolojik verileri kullanarak programlama işlemlerini gerçekleştirir. PVGIS, meteorolojik veri tabanı ile istenilen coğrafi konum ve tava eğim açısına bağlı olarak optimum özellikler, günlük, aylık ve yıllık güneş ışıınımı değerlerini farklı seçeneklerde simüle etmektedir. Bu program, harita üzerinden istenilen enlem ve boylam parametreleri, toplam DC kurulu güç, panel açılai gibi parametrelerin belirlenmesiyle bir PV sistemin aylık ve yıllık güneş ışıınım değerlerini kWh/m², yıllık beklenen elektrik üretimini kWh cinsinden hesaplayarak grafik ve çizelge olarak sunmaktadır [67].

Bu çalışmada BEUN GES'in tasarlanması, boyutlandırılması ve analiz sonuçları için PVGIS 5.2 sürümü, SARA 2 meteorolojik veri tabanı kullanılmıştır. SARA 2 meteorolojik veri tabanı, Zonguldak'ın 2005-2020 tarihleri arasındaki meteorolojik verilerinin ortalamalarını

arak, simülasyon programında kullanılmak üzere veri oluşturmaktadır. Belirtilen zaman dilimlerindeki Zonguldak'ın ortalama aylık güneşlenme süreleri Çizelge 3.3' te verilmiştir.

Çizelge 3.3 Zonguldak ortalama aylık güneşlenme süreleri (MGM).

Aylar	BEUN GES 2024-2025 (saat)	PVsyst			PVGIS 2005-2020 (saat)	HelioScope 2003-2013 (saat)
		PVGIS	NASA-SSE	METEONORM		
		2005-2020 (saat)	1983-2005 (saat)	2003-2013 (saat)		
Kasım	108	82	91	75	82	75
Aralık	82	61	68	67	61	67
Ocak	114	57	67	47	57	47
Şubat	67	58	85	47	58	47
Mart	149	92	131	87	92	87
Nisan	148	133	160	126	133	126
Mayıs	294	154	233	179	154	179
Haziran	364	205	282	222	205	222
Temmuz	384	238	317	255	238	255
Ağustos	336	240	294	239	240	239
Eylül	232	161	234	153	161	153
Ekim	127	99	156	102	99	102

3.2.3 Helioscope Simülasyon Programı

HelioScope, yenilenebilir enerji projeleri geliştirme sürecinin başlangıç aşamaları için giderek daha fazla tercih edilen bir PV sistem simülasyonu yazılımıdır. San Francisco merkezli Folsom Labs tarafından oluşturulan HelioScope, Paul Gibbs ve Paul Grana tarafından geliştirilmiştir ve aboneliğe erişilebilen bulut tabanlı bir güneş enerjisi proje tasarım aracıdır. Resmi olarak 2014 yılında kullanıma sunulan HelioScope, enerji modellemeleri için PVsyst ile benzer temel matematik hesaplamalarını kullanmaktadır. Ancak, PVsyst'in aksine HelioScope, Google Earth ve SketchUp ile uyumlu, kullanıcı dostu bir grafik arayüzü sunmakta, işletim sisteminden bağımsız çalışmakta ve karmaşık işlem yeteneklerine ihtiyaç duymamaktadır [68]. HelioScope yazılımı ile PV sistem tasarımı gerçekleştirmek için belirli adımlar izlenmektedir. İlk olarak, harita tabanlı arayüz üzerinden istenilen enlem ve boylam koordinatları girilir. Ardından, kullanılacak PV modüllerin teknik özellikleri, toplam kurulu kapasiteleri ve montaj bilgileri (eğim açısı, yatay azimut ve saha özellikleri) tanımlanır. Evirici sayısı, teknik detayları ve bağlantı düzeni belirlenir. Sistem kurulumunda kullanılacak enerji kablolarının uzunluk ve kesit bilgileri girildikten sonra, 3 boyutlu görselleştirme seçeneği ile PV bileşenlerinin yerleşimi

modellenir. Program, kurulu gücü 5 MW'a kadar olan sistemlerin simülasyonunu gerçekleştirerek performans analizleri sunabilmektedir [69].

Çalışmamızda Meteonorm veri tabanını kullanan Helioscope simülasyon programı kullanılmıştır. Meteonorm meteorolojik veri tabanı, Zonguldak'ın 2003-2013 tarihleri arasındaki meteorolojik verilerinin ortalamalarını alarak, simülasyon programında kullanılmak üzere veri oluşturmaktadır. Belirtilen zaman dilimlerindeki Zonguldak'ın ortalama aylık güneşlenme süreleri Çizelge 3.3' te verilmiştir.

3.2.4 SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) İstatistik Programı

IBM® SPSS® yazılım platformu, gelişmiş istatistiksel analiz olanakları, kapsamlı makine öğrenimi algoritmaları kütüphanesi, metin analizi yetenekleri ve açık kaynaklı genişletilebilirlik özellikleriyle öne çıkmaktadır. Ayrıca büyük veri sistemleriyle entegrasyon sağlayabilmekte ve farklı uygulamalara sorunsuz biçimde dağıtılabilmektedir. Kullanıcı dostu arayüzü, esnek yapısı ve ölçeklenebilirliği sayesinde her düzeydeki araştırmacının erişimine imkân tanımakta; bu yönüyle yeni fırsatların keşfedilmesine, verimliliğin artırılmasına ve risklerin azaltılmasına katkı sunmaktadır.

SPSS, özellikle sosyal bilimler, işletme ve çeşitli disiplinlerde nicel veri analizinde yaygın olarak kullanılan bir yazılımdır. Bu platform, kullanıcıların farklı istatistiksel yöntemler aracılığıyla verileri yönetmesine, analiz etmesine ve görselleştirmesine olanak tanır. Tanımlayıcı istatistikler, hipotez testleri, regresyon modelleri, varyans analizi (ANOVA) ve diğer birçok yöntem için kapsamlı araçlar sunmaktadır. Bunun yanında sezgisel grafikler, menüler ve diyalog kutuları aracılığıyla programlama bilgisi gerektirmeden veri analizi yapılabilmesini mümkün kılar.

Başlangıçta sosyal bilimler için geliştirilmiş olan SPSS, günümüzde ekonomi, sağlık, pazarlama ve benzeri alanlarda da etkin biçimde kullanılmaktadır. Bu çok yönlü yapısı sayesinde araştırmacılar, farklı disiplinlerdeki nicel verileri sistematik ve güvenilir bir biçimde analiz edebilmektedir. [70, 71].

Bu çalışmada verilerin istatistiksel analizi için Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi'ne ait SPSS programı kullanılmıştır.

3.2.5 Verilerin Analizi

Projelerin başarısını bilimsel olarak kanıtlamanın yolu, doğru ölçme ve doğrulama yöntemlerinden geçer. Bu kapsamda, özellikle regresyon analizi, proje sonrası enerji üretimi ve tasarrufu, hava şartları gibi değişkenlerden arındırarak net bir şekilde ortaya koyar. Enerji performansının ölçülmesi ve doğrulanmasına yönelik uluslararası alanda kabul görmüş en önemli standartlardan biri Uluslararası Performans Ölçme ve Doğrulama Protokolü (International Performance Measurement and Verification Protocol, IPMVP)'dür.

IPMVP ve benzeri uluslararası standartlar, enerji performansının ölçülmesi ve doğrulanması için regresyon analizlerinde; belirleme katsayısı (R^2), ortalama karesel hata (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE), korelasyon katsayısı (r), ortalama sapma hata (MBE) gibi istatistiksel metriklerin hesaplanmasını önermektedir. Bu metrikler, simülasyon sonuçları ile gerçek üretim verileri arasındaki uyumu nicel olarak ortaya koymakta ve model seçimindeki güvenilirliğin bilimsel bir temelde değerlendirilmesini sağlamaktadır. Bu metriklerin kullanımı, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji projelerinde yaygın olarak kabul görmekte ve literatürde sıklıkla tercih edilmektedir [72, 73].

Verilerin istatistiksel analizleri SPSS 25.0 programı kullanımı ile gerçekleştirilmiştir. İnverterlerden elde edilen üretim verilerinin tanımlayıcı istatistikleri; ortalama±standart sapma ($\bar{X} \pm SS$), minimum ve maksimum (Min-Max) değerler olarak verilmiştir. Üretim verilerinin normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk testi ile yapılmış ve verilerin normal dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. Panel yönünün ve tozlanmanın inverterlerdeki enerji üretimine etkisi tek yönlü varyans analizi (One Way Anova) ile değerlendirilmiş, anlamlılık düzeyi $p < 0.05$ kabul edilmiştir. Simülasyon yazılımlarının güvenilirliğini değerlendirmek amacıyla ise ortalama mutlak hata (MAE), ortalama karesel hata (RMSE), ortalama sapma hatası (MBE), korelasyon katsayısı (r) ve belirleme katsayısı (R^2) gibi istatistiksel performans metrikleri hesaplanmıştır. Bu metrikler aracılığıyla, simülasyon sonuçlarının gerçek üretim verileriyle ne ölçüde uyumlu olduğu nicel olarak ortaya konulmuştur.



BÖLÜM 4

BULGULAR

BEUN GES projesi toplam 39.6 kWp kurulu güce sahip, şebekeye bağlı bir PV sistemdir. Sistem, 3 adet HUAWEI marka inverter, herbiri 550 Wp'lık güce sahip 72 adet SCHMID marka PV panelden oluşmaktadır. Kurulumda 2 adet inverter ve 48 adet panel, 15° azimut açısıyla güneybatı yönünde, 30° eğim açısıyla konumlandırılmıştır. 1 adet inverter ve 24 adet panel ise -165° azimut açısıyla kuzeydoğu yönünde, 30° eğim açısıyla konumlandırılmıştır.

Bu çalışmada BEUN GES'ten elde edilen gerçek üretim verileri ile simülasyon programlarından elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte, panel yönünün ve tozlanma etkisinin PV sistem performansı üzerindeki etkilerini ortaya koymak amacıyla, farklı yönlere yerleştirilmiş panellerden elde edilen gerçek üretim verileri ile kirli ve temiz panel koşullarında ölçülen gerçek GES üretim sonuçları karşılaştırılmıştır.

4.1 BEUN GES PROJESİ BULGULARI

BEUN GES üretim tesisinde Kasım 2024 - Ekim 2025 tarihleri arasında üretilen elektrik enerjisi, farklı yönlere yerleştirilmiş PV paneller aracılığıyla elde edilmiştir. Kuzeydoğu yönünde konumlandırılan ve inverter 1'e bağlı toplam 24 adet PV panelden sağlanan enerji ile güneybatı yönünde konumlandırılan ve inverter 2 ile inverter 3'e bağlı toplam 48 adet PV panelden sağlanan enerji miktarları, inverter bazında ve toplam üretim değerleriyle birlikte Çizelge 4.1'de sunulmuştur. Çizelgede ayrıca aylık üretim değerlerinin yanı sıra toplam üretim, aritmetik ortalama, standart sapma ile minimum ve maksimum üretim değerleri yer almakta olup, ilgili detaylar Ek A'da verilmiştir.

Çizelge 4.1 BEUN GES Enerji Üretim Verileri

	İnverter 1 kWh	İnverter 2 kWh	İnverter 3 kWh	TOPLAM kWh
Kasım 2024	291.76	692.84	697	1681.6
Aralık 2024	214.37	583.19	580.07	1377.63
Ocak 2025	317.46	795.01	796.27	1908.74
Şubat 2025	286.12	472.76	480.55	1239.43
Mart 2025	1010.56	1461.22	1425.45	3897.23
Nisan 2025	1149.87	1380.08	1396.7	3926.65
Mayıs 2025	1984.85	2281.31	2275.24	6541.4
Haziran 2025	2410.21	2552.22	2577.62	7540.05
Temmuz 2025	2345.76	2515.71	2551.99	7413.46
Ağustos 2025	1916.53	2342.82	2363.24	6622.59
Eylül 2025	1236.58	1767.9	1779.59	4784.07
Ekim 2025	703.16	1216.42	1227.28	3146.86
TOPLAM	13867.23	18061.48	18151	50079.71
$\bar{X} \pm SS$	1155.60$\pm$830.12	1505.12$\pm$778.79	1512.58$\pm$786.63	
Min-Max	214.37-2410.21	472.76-2552.22	480.55-2577.62	

Çizelge 4.1’de verilen gerçek üretim verileri, tesisin farklı yönlerde konumlandırılan panel gruplarının performansının ortaya konulması açısından önemli bir veri seti oluşturmaktadır. Bu bağlamda, üretilen elektrik enerjisinin mevsimsel değişiklik gösterdiği açıkça görülmektedir. Kış aylarında (Kasım-Şubat) inverter bazında aylık üretim değerleri düşük seviyede gerçekleşirken, ilkbahar aylarından itibaren üretimde artış görülmektedir. En yüksek enerji üretimi, Haziran ve Temmuz aylarında kaydedilmiştir.

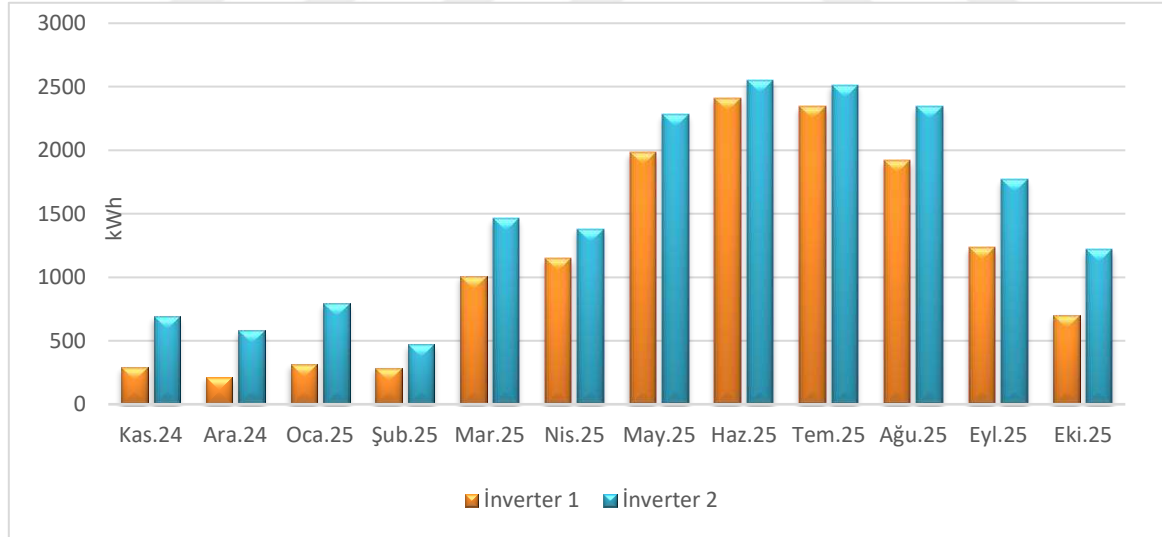
Toplam yıllık üretim değerleri incelendiğinde, tesisin 50.079,71 kWh elektrik enerjisi ürettiği belirlenmiştir. Aylık üretim değerlerine ait aritmetik ortalama ve standart sapma sonuçları, yaz aylarında üretimin hem mutlak değer hem de değişkenlik açısından arttığını göstermektedir. Minimum ve maksimum üretim değerleri arasındaki farkın özellikle İnverter 2 ve İnverter 3’te daha yüksek olması, bu inverterlerin mevsimsel koşullara karşı daha duyarlı bir üretim karakteristiğine sahip olduğunu göstermektedir.

Kuzeydoğu yönüne konumlandırılan 24 adet PV panelin bağlı olduğu inverter 1 ile güneybatı yönüne konumlandırılan 24 adet PV panelin bağlı olduğu inverter 2’den üretilen aylık enerji miktarları Çizelge 4.2 ve Şekil 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Panel yönelimine bağlı olarak İnverter 1 ve İnverter 2'nin aylık enerji üretim değerlerinin karşılaştırılması ve tek yönlü varyans analizi sonuçları.

	İnverter 1 kWh	İnverter 2 kWh	Fark kWh
Kasım 2024	291.76	692.84	401.08
Aralık 2024	214.37	583.19	368.82
Ocak 2025	317.46	795.01	477.55
Şubat 2025	286.12	472.76	186.64
Mart 2025	1010.56	1461.22	450.66
Nisan 2025	1149.87	1380.08	230.21
Mayıs 2025	1984.85	2281.31	296.46
Haziran 2025	2410.21	2552.22	142.01
Temmuz 2025	2345.76	2515.71	169.95
Ağustos 2025	1916.53	2342.82	426.29
Eylül 2025	1236.58	1767.9	531.32
Ekim 2025	703.16	1216.42	513.26
TOPLAM	13867.23	18061.48	4194.25

f: 1.131; p: 0.299



Şekil 4.1 Panel yönelimine bağlı olarak İnverter 1 ve İnverter 2'nin aylık enerji üretimindeki değişim.

Çizelge 4.2 ve Şekil 4.1 birlikte değerlendirildiğinde, Kasım 2024 – Ekim 2025 döneminde İnverter 1'den toplam 13.867,23 kWh, İnverter 2'den ise 18.061,48 kWh elektrik enerjisi üretildiği görülmektedir. Bu kapsamda, İnverter 2'nin aynı dönem boyunca İnverter 1'e kıyasla

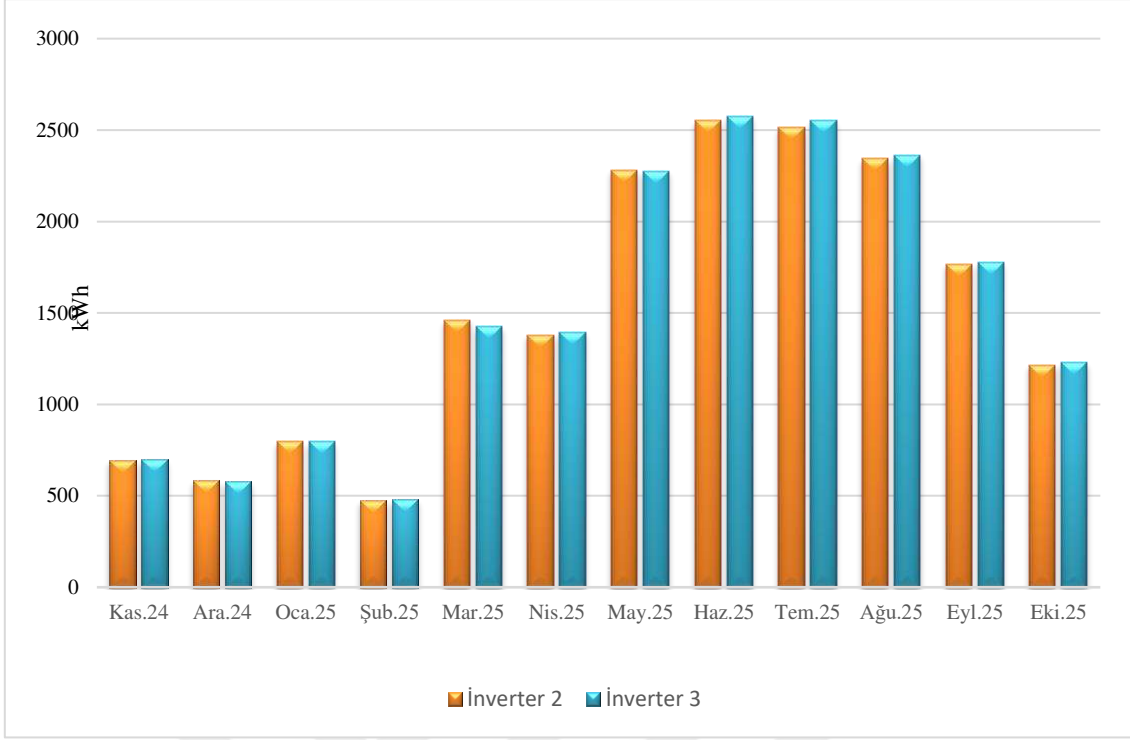
toplam 4.194,25 kWh daha fazla enerji ürettiği belirlenmiştir. Aylık üretim farkları incelendiğinde, Haziran ve Temmuz aylarında iki inverter arasındaki farkın en düşük seviyelerde gerçekleştiği, diğer aylarda ise üretim farklarının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Farklı yönlerde konumlandırılmış inverterlerin enerji üretim değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik olarak uygulanan Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA) sonuçlarına göre, kuzeydoğu yönünde konumlandırılmış İnverter 1 ile güneybatı yönünde konumlandırılmış İnverter 2 arasında üretilen enerji miktarları açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığı belirlenmiştir ($p > 0,05$). Bu sonuç, konumlandırmaya bağlı olarak sayısal üretim farkları gözlenmesine rağmen, bu farkların istatistiksel anlamlılık düzeyine ulaşmadığını ortaya koymaktadır.

Güneybatı yönüne konumlandırılmış 24 adet PV panelin bağlı olduğu inverter 2 ile yine aynı yönde konumlandırılmış, ayda bir kez temizlenen, 24 adet PV panelin bağlı olduğu inverter 3'ün ürettiği enerji miktarları Çizelge 4.3 ve Şekil 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Tozlanmanın etkisine bağlı olarak İnverter 2 ve İnverter 3 tarafından üretilen enerji miktarlarının karşılaştırılması.

	İnverter 2 kWh	İnverter 3 kWh	Fark kWh
Kasım 2024	692.84	697	4.16
Aralık 2024	583.19	580.07	-3.12
Ocak 2025	795.01	796.27	1.26
Şubat 2025	472.76	480.55	7.79
Mart 2025	1461.22	1425.45	-35.77
Nisan 2025	1380.08	1396.7	17.16
Mayıs 2025	2281.31	2275.24	-6.07
Haziran 2025	2552.22	2577.62	25.4
Temmuz 2025	2515.71	2551.99	36.28
Ağustos 2025	2342.82	2363.24	20.42
Eylül 2025	1767.9	1779.59	11.69
Ekim 2025	1216.42	1227.28	10.86
TOPLAM	18061.48	18151	89.52
f: 0.001; p: 0.982			



Şekil 4.2 Tozlanmanın İnverter 2 ve İnverter 3 tarafından üretilen enerji miktarları üzerindeki etkisi.

Çizelge 4.3 ve Şekil 4.2 incelendiğinde Kasım 2024- Ekim 2025 arasında inverter 2’den toplam 18061.48 kWh, ayda bir temizlenen inverter 3’ten 18151 kWh enerji üretilmiştir. Toplamda inverter 3, inverter 2’den 89.52 kWh daha fazla enerji üretmiştir. Nitekim şekil 4.3 de karşılaştırmalı görsellerde de görüldüğü üzere doğal haline bırakılan panel yüzeyinde belirgin bir kirlilik gözlenmemekte, bu durum panellerden elde edilen enerji miktarları arasındaki farkın yok denecek kadar az olmasını açıklamaktadır.



Şekil 4.3 İnverter 2 ve 3'e bağlı fotovoltaik panellerin temizlik uygulanmış ve doğal bırakılmış durumlarının karşılaştırmalı gösterimi.

Ayda bir kez temizlenen ve temizlenmeyen inverterlerin ürettikleri enerjinin karşılaştırılmasına yönelik tek yönlü varyans analizi sonuçları değerlendirildiğinde; temizlenmeyen inverter 2 ile ayda bir kez temizlenen inverter 3'ün ürettikleri enerji miktarları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığı tespit edilmiştir ($p > 0.05$).

4.2 PVsyst SİMÜLSYON PROGRAMI BULGULARI

BEUN GES'in kurulu gücü, konumu, PV panel marka ve adeti, inverter marka ve adeti, eğim açısı ve azimut açısı PVsyst simülasyon programında modellenmiştir.

PVsyst simülasyon programı; PVGIS, Meteonorm ve NASA-SSE meteorolojik veri tabanları kullanılarak, 3 ayrı hava durumu verisi için simüle edilmiştir (EK-B, EK-C, EK-D). Simülasyon sonucunda, sistemin aylık ve belirtilen zaman dilimindeki toplam enerji üretim verileri, enerji kayıp yüzdeleri, panel yüzeyine gelen ışıınım miktarı, ortalama sıcaklık değerleri elde edilmiştir.

BEUN GES, Kasım 2024 - Ekim 2025 arasındaki dönemde, PVsyst simülasyon sonuçları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4 PVsyst simülasyon programında PVGIS, Meteonorm ve NASA-SSE meteorolojik veri tabanları kullanılarak elde edilen sonuçlar

		GlobHor (kWh/m ²)	DiffHor (kWh/m ²)	GlobInc (kWh/m ²)	GlobEff (kWh/m ²)	EArray (kWh)	E_Grid (kWh)	PR (oran)
PVGIS (2005-2020)	Kasım	48.4	26.23	53.7	50.9	1895	1816	0.853
		49.9	32.02	55.2	52.2	1978	1900	0.869
		55.5	24.90	65.2	61.8	2338	2254	0.873
	Aralık	46.3	20.78	57.7	54.7	2082	2004	0.877
		41.0	23.91	48.8	46.2	1765	1693	0.876
		40.9	20.46	50.4	47.8	1834	1760	0.881
	Ocak	51.4	27.83	60.9	57.4	2203	2120	0.879
		49.1	21.50	58.5	56.2	2153	2073	0.894
		47.1	23.56	54.5	52.1	2006	1929	0.894
	Şubat	62.7	33.38	66.9	62.7	2419	2336	0.881
		59.9	32.69	64.4	60.7	2318	2235	0.877
		65.0	29.68	71.5	67.4	2602	2515	0.888
	Mart	96.4	45.85	98.2	92.9	3485	3372	0.867
		100.5	57.71	101.3	95.7	3632	3518	0.877
		110.4	45.88	113.9	107.7	4122	4000	0.887
	Nisan	149.2	56.06	145.5	139.3	5182	5033	0.874
		135.5	75.40	130.5	123.9	4648	4511	0.873
		142.2	57.60	139.2	132.7	4991	4848	0.879
	Mayıs	184.5	63.71	174.4	167.7	6089	5914	0.856
		184.4	83.39	174.1	166.4	6094	5921	0.859
		194.4	65.41	183.2	175.4	6452	6273	0.865
	Haziran	181.0	74.01	168.2	162.0	5810	5640	0.847
		207.3	85.10	192.3	184.4	6631	6446	0.847
		214.5	62.70	199.1	191.3	6918	6729	0.853
	Temmuz	206.4	67.82	193.4	186.3	6603	6415	0.838
		206.0	68.42	191.8	183.5	6477	6289	0.828
		227.2	57.97	212.8	204.3	7281	7079	0.840
	Ağustos	199.3	64.42	192.7	185.2	6489	6303	0.826
		186.0	74.99	178.9	171.1	6062	5884	0.830
		198.4	51.2	191.4	183.4	6533	6347	0.838
	Eylül	117.3	49.19	116.5	110.9	3990	3862	0.837
		132.6	54.52	133.3	126.5	4558	4419	0.837
		148.5	41.4	150.7	143.3	5161	5011	0.840
	Ekim	102.6	40.72	110.0	103.9	3778	3659	0.840
		81.1	49.26	84.5	79.3	2953	2850	0.852
		94.9	35.65	102.7	96.8	3576	3460	0.850
	Toplam	1445.5	569.99	1438.2	1373.8	50025	48474	0.851
		1433.3	658.93	1413.7	1346.0	49268	47741	0.853
		1538.9	516.4	1534.5	1464.0	53814	52204	0.859

PVsyst simülasyon programı çıktılarında; “GlobHor” global yatay ışımayı, “DiffHor” yatay difüz ışınlamayı, “GlobInc” kolektöre yansıyan global ışınlama miktarını, “GlobEff” PV modüllerdeki etkin ışınlamayı, “EArray” PV modüllerden çıkan doğru akım (DC) enerjisini, “E_Grid” şebekeye enjekte edilen alternatif akım (AC) enerjisini ve PR performans oranını ifade etmektedir.

Çizelge 4.4 incelendiğinde, PVsyst - PVGIS meteorolojik veri tabanına göre, global yatay ışınlam değeri, 206.4 kWh/m² ile Temmuz ayında en yüksek, 46.3 kWh/m² ile Aralık ayında en düşük seviyededir. PV modüller üzerindeki etkin ışınlam değeri 186.3 kWh/m² ile Temmuz ayında maksimum, 50.9 kWh/m² ile Kasım ayında minimum değerini almıştır. Şebekeye enjekte edilen enerji miktarı 6415 kWh ile Temmuz ayında en yüksek, 1816 kWh ile Kasım ayında en düşük olmuştur.

PVsyst - Meteonorm meteorolojik veri tabanı kullanılarak elde edilen sonuçlara göre, global yatay ışınlam değeri, 207.3 kWh/m² ile Haziran ayında maksimum seviyede iken, 41.0 kWh/m² ile Aralık ayında minimum seviyededir. PV modüllerdeki etkin ışınlam değeri 183.5 kWh/m² ile Temmuz ayında maksimum iken, 46.2 kWh/m² ile Aralık ayında minimumdur. Şebekeye enjekte edilen enerji miktarı 6446 kWh ile Haziran ayında maksimum, 1693 kWh ile Aralık ayında minimum seviyeye ulaşmıştır.

PVsyst - NASA-SSE meteorolojik veri tabanına göre ise global yatay ışınlam değeri, 227.2 kWh/m² ile Temmuz ayında en yüksek, 40.9 kWh/m² ile Aralık ayında en düşük seviyededir. PV modüllerdeki etkin ışınlam değeri 204.3 kWh/m² ile Temmuz ayında maksimum, 47.8 kWh/m² ile Aralık ayında minimumdur. Şebekeye enjekte edilen enerji 7079 kWh ile Haziran ayında en yüksek, 1760 kWh ile Aralık ayında en düşük olmuştur.

Genel olarak, PVsyst simülasyon sonuçlarının farklı meteorolojik veri tabanları kullanılsa dahi mevsimsel üretim davranışını tutarlı bir şekilde yansıttığını ve enerji üretiminin yıl içindeki dağılımını görsel olarak açık biçimde ortaya koymaktadır.

4.3 PVGIS SİMÜLASYON PROGRAMI BULGULARI

BEUN GES’in kurulu gücü, konumu, eğim açısı ve azimut açısı PVGIS simülasyon programında modellenelerek, aylık ortalama elektrik üretimi, aylık küresel ışınlam toplamı ve

elektrik üretimine ait standart sapma varyasyon değerleri elde edilmiştir (EK E). PVGIS simülasyonlarında SARAH 2 meteorolojik veri tabanı kullanarak simülasyon yapılmıştır.

BEUN GES’e ait Kasım - Ekim ayları arasındaki, PVGIS simülasyon sonuçları Çizelge 4.5’te verilmiştir.

Çizelge 4.5 PVGIS simülasyon programı kullanılarak BEUN GES için elde edilen aylık elektrik üretimi, küresel ışıınım ve standart sapma değerleri.

	E_m (kWh)			H(i)_m (kWh/m ²)			SD_m (kWh)		
	KD	GB	Toplam	KD	GB	Toplam	KD	GB	Toplam
Kasım	229.29	1923.31	2152.6	25.52	92.06	117.58	11.17	314.81	325.98
Aralık	203.97	1485.56	1689.53	21.34	69.45	90.79	12.56	257.77	270.33
Ocak	228.51	1378.94	1607.45	23.61	64.20	87.81	21.20	277.26	298.46
Şubat	311.93	1703.91	2015.84	33.14	80.57	113.71	26.08	317.56	343.64
Mart	639.19	2479.51	3118.70	64.59	119.52	184.11	36.59	261.49	298.08
Nisan	1086.72	3194.4	4281.12	107.29	157.86	265.15	91.42	371.33	462.75
Mayıs	1455.40	3542.12	4997.52	145.30	179.86	325.16	113.12	319.57	432.69
Haziran	1692.21	3778.15	5470.36	171.09	195.02	366.11	132.09	299.33	431.42
Temmuz	1763.24	4144.07	5907.31	179.18	214.43	393.61	52.47	142.25	194.72
Ağustos	1401.02	3994.64	5395.66	144.38	206.85	351.23	68.70	244.94	313.64
Eylül	839.65	3164.67	4004.32	87.86	160.20	248.06	46.78	329.29	376.07
Ekim	439.86	2390.99	2830.85	48.63	118.25	166.88	31.23	299.32	330.55
Toplam	10290.99	33180.27	43471.26	1051.93	1658.27	2710.20	643.41	3434.92	4078.33

PVGIS çıktılarında; “E_m” sistemden elde edilen aylık ortalama elektrik üretimini, “H(i)_m” metrekare başına alınan ortalama aylık küresel ışıınım toplamı, “SD_m” ise yıldan yıla aylık elektrik üretimine ait standart sapma varyasyon değerlerini ifade etmektedir.

PVGIS simülasyon programına göre; aylık ortalama elektrik üretiminin 5907.31 kWh ile en yüksek olduğu ay Temmuz, en düşük olduğu ay ise 1607.45 kWh ile Ocak ayıdır. BEUN GES için hesaplanan toplam elektrik üretimi 43.471,26 kWh olup, bu üretimin 33.180,27 kWh’lık kısmı güneybatı yönünde konumlandırılan paneller tarafından sağlanmıştır. PVGIS simülasyon sonuçlarına göre, toplam elektrik üretiminin büyük bölümü güneybatı (GB) yönünde

konumlandırılan panellerden elde edilmiş, kuzeydoğu (KD) yönündeki panellerin toplam üretime katkısı ise görece daha düşük seviyede kalmıştır

Aylık ortalama küresel ışıınının ise en yüksek değeri 393.61 kWh/m² ile Temmuz ayında, en düşük değeri ise 90.79 kWh/m² Aralık ayında olduğu belirlenmiştir. Küresel ışıınındaki bu aylık değişim, elektrik üretimindeki artış ve azalış eğilimi ile uyumlu bir dağılım sergilemektedir.

4.4 HelioScope SİMÜLASYON PROGRAMI BULGULARI

BEUN GES'in kurulu gücü, konumu, eğim açısı ve azimut açısı HelioScope simülasyon programında modellenelerek sonuçlar elde edilmiştir (EK F).

HelioScope simülasyon programından elde edilen sonuçlar Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6 HelioScope simülasyon program sonuçları.

	GHI (kWh/m ²)	POA (kWh/m ²)	Nameplate (kWh)	Grid (kWh)
Kasım	49.6	57.1	2139.5	1900.3
Aralık	40.9	49.6	2376.2	1671.8
Ocak	48.4	57.9	2179.1	1945.8
Şubat	59.7	63.8	2376.2	2137.2
Mart	100.4	102.1	3809.4	3382.8
Nisan	135.1	131.8	4925.6	4311.5
Mayıs	184.6	173.9	6510.8	5538.3
Haziran	207.3	193.7	7248.1	6073.3
Temmuz	206.0	193.6	7245.5	6012.6
Ağustos	186.0	179.7	6720.2	5575.1
Eylül	132.4	133.8	4984.6	4215.0
Ekim	80.3	85.0	3168.0	2754.1
Toplam	1430.7	1422.0	53683.2	45517.8

HelioScope simülasyon programında kullanılan parametrelerden Global Horizontal Irradiance (GHI), belirli bir anda yatay düzleme yerleştirilmiş bir kolektörün alabileceği toplam güneş ışıınıını ifade etmektedir. Plane of Array (POA), panel yüzeyine dik olarak etki eden ışıının

şiddetini göstermektedir. Nameplate değeri, sistemin nominal gücünü belirtirken; Grid değeri ise şebekeye enjekte edilen AC enerji miktarını temsil etmektedir.”

Çizelge 4.6’da yer alan HelioScope simülasyon programı sonuçlarına göre 6073.3 kWh ile en yüksek üretim Haziran ayında, en düşük üretim ise 1671.8 kWh ile Aralık ayında görülmüştür. Kasım 2024-Ekim 2025 arasında toplam üretimin 45517.8 kWh olduğu bulunmuştur.

Aylık ortalama en yüksek ışıınım ise 193.7 kWh/m² ile Haziran ayında, en düşük ışıınım ise 49.6 kWh/m² ile Aralık ayında görülmüştür.

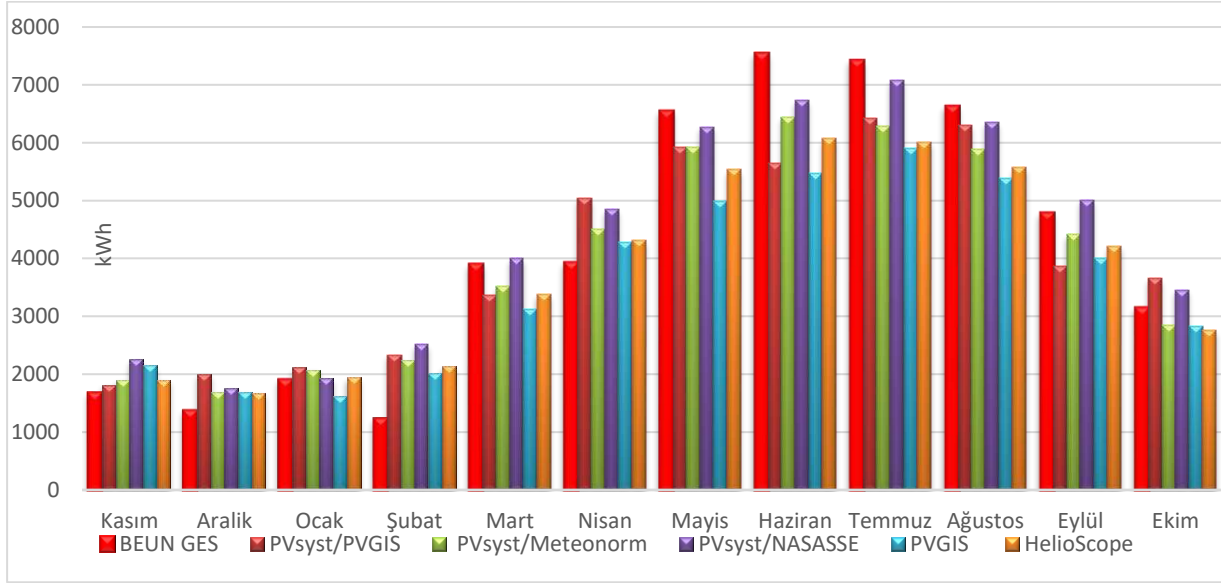
4.5 SİMÜLASYON PROGRAMLARI İLE BEUN GES SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

BEUN GES’ten elde edilen gerçek zamanlı veriler ile simülasyon programlarından elde edilen verilerin karşılaştırılmaları Çizelge 4.7’de verilmiştir.

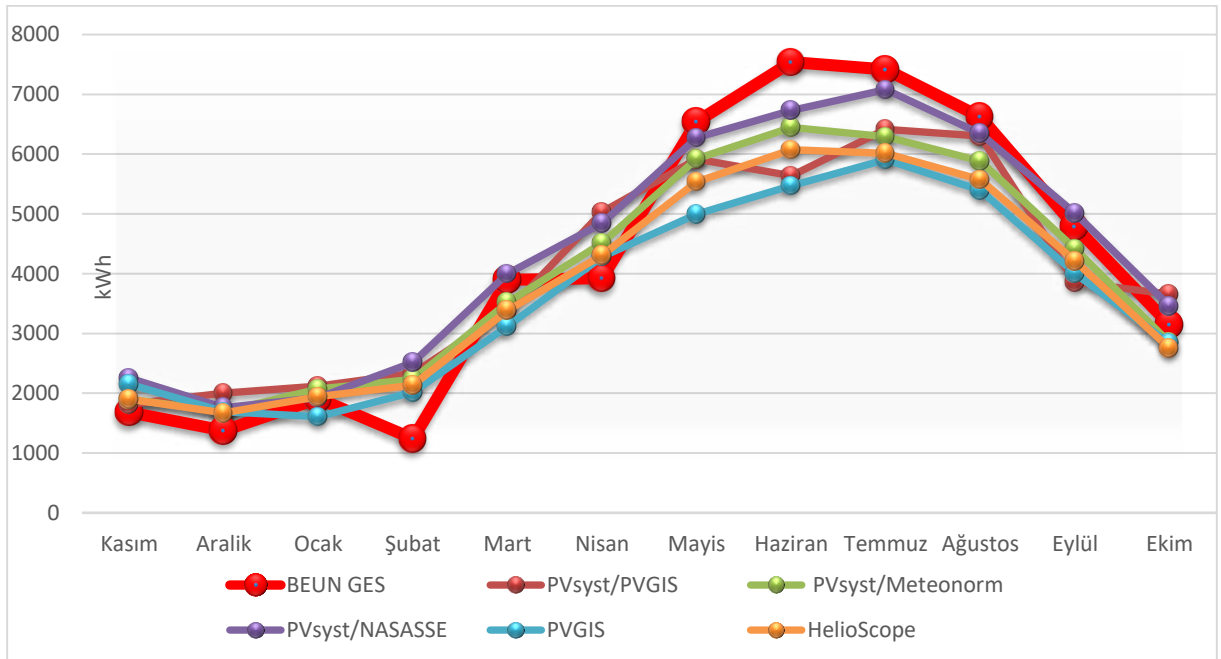
Çizelge 4.7 BEUN GES verilerinin simülasyon programları verileri ile karşılaştırması.

Aylar	BEUN GES (kWh)	PVsyst			PVGIS	HelioScope
		PVGIS (kWh)	Meteonorm (kWh)	NASA-SSE (kWh)	SARAH 2 (kWh)	Meteonorm (kWh)
Kasım 2024	1681.6	1816	1900	2254	2152.6	1900.3
Aralık 2024	1377.63	2004	1693	1760	1689.53	1671.8
Ocak 2025	1908.74	2120	2073	1929	1607.45	1945.8
Şubat 2025	1239.43	2336	2235	2515	2015.84	2137.2
Mart 2025	3897.23	3372	3518	4000	3118.70	3382.8
Nisan 2025	3926.65	5033	4511	4848	4281.12	4311.5
Mayıs 2025	6541.4	5914	5921	6273	4997.52	5538.3
Haziran 2025	7540.05	5640	6446	6729	5470.36	6073.3
Temmuz 2025	7413.46	6415	6289	7079	5907.31	6012.6
Ağustos 2025	6622.59	6303	5884	6347	5395.66	5575.1
Eylül 2025	4784.07	3862	4419	5011	4004.32	4215.0
Ekim 2025	3146.86	3659	2850	3460	2830.85	2754.1
Toplam	50079.71	48474	47741	52204	43471.26	45517.8

Çizelge 4.7 incelendiğinde Kasım 2024-Ekim 2025 tarihleri arasında BEUN GES'ten elde edilen gerçek zamanlı toplam enerji üretiminin 50079,71 kWh olduğu görülmektedir. Simülasyon programlarından elde edilen toplam tahmini enerji üretim değerleri; PVsyst programında PVGIS veri tabanı kullanılarak 48.474 kWh, Meteonorm veri tabanı kullanılarak 47.741 kWh, NASA-SSE veri tabanı kullanılarak 52.204 kWh, PVGIS programında 43.471,26 kWh ve HelioScope programında 45.517,8 kWh olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.4 BEUN GES ile simülasyon programları sonuçlarının durumu.



Şekil 4.5 BEUN GES ile simülasyon programları sonuçlarının durumu.

Şekil 4.4 ve Şekil 4.5 incelendiğinde, BEUN GES'ten elde edilen gerçek enerji üretim değerleri ile simülasyon programlarından elde edilen sonuçlarına göre elde edilen veri setlerinde, enerji üretimi kış aylarında düşük seviyelerde gerçekleşirken, ilkbahar aylarından itibaren artmakta ve yaz aylarında maksimum değerlere ulaşmaktadır. Sonbahar aylarında ise üretim değerlerinde belirgin bir azalma eğilimi gözlenmektedir.

BEUN GES'ten elde edilen gerçek zamanlı üretim verileri ile simülasyon programlarından elde edilen tahmini verilerin istatistiksel analizleri Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8 BEUN GES ile simülasyon programı çıktılarının karşılaştırmalı analizi.

	MAE	RMSE	MBE	R ²
BEUN GES-PVsyst (PVGIS)	748.32	883.78	-133.81	0.90
BEUN GES-PVsyst (Meteonorm)	574.72	662.30	-195.06	0.97
BEUN GES-PVsyst (NASA-SSE)	458.69	579.37	177.11	0.97
BEUN GES-PVGIS (SARAH 2)	869.67	1036.56	-550.70	0.95
BEUN GES- HelioScope (Meteonorm)	685.58	819.03	-380.16	0.97

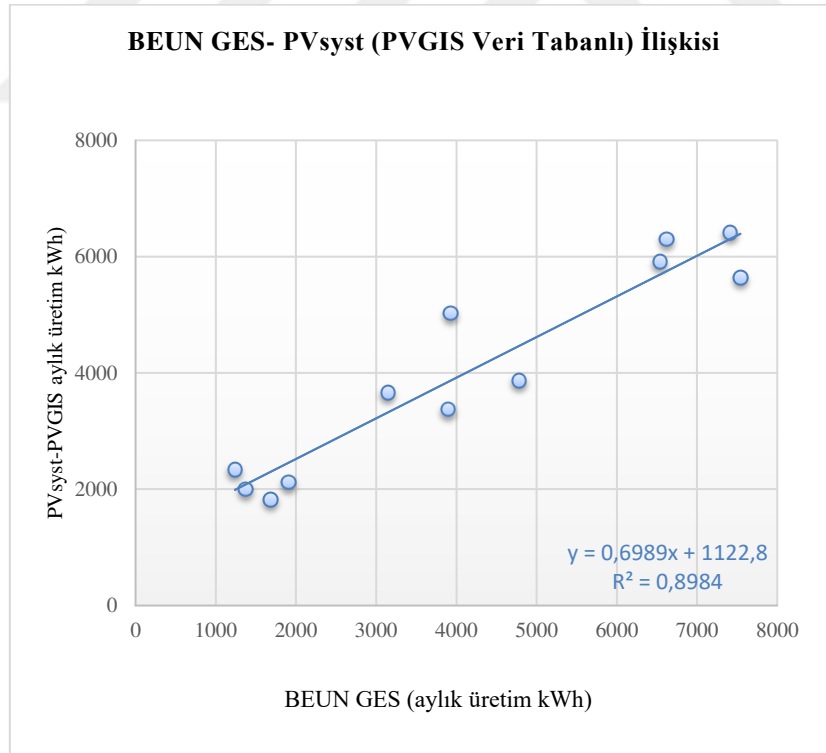
Çizelge 4.8'de BEUN GES'ten elde edilen gerçek üretim verileri ile simülasyon programlarından elde edilen sonuçların karşılaştırılmasına ait istatistiksel performans metrikleri sunulmuştur. Bu kapsamda kullanılan MAE (mean absolute error) değeri ortalama mutlak hatayı ifade etmektedir. Simülasyon sonuçları ile gerçek sonuçlar arasındaki farkın ortalamasını verir. Simülasyon programının hassasiyetini gösterir. RMSE (root mean square error) değeri hataların karelerinin ortalamasının karekökünü ifade eder. Simülasyonun performansını gösterir. Düşük MAE ve RMSE değerleri, simülasyon programının gerçek verileri daha yüksek doğrulukla temsil ettiğini göstermektedir.

MBE (mean bias error) değeri tahminlerin gerçek sonuçlara göre sistematik olarak daha az ya da daha yüksek olduğunu ifade eder. Simülasyon sonuçlarının taraflılığını gösterir. Buna göre, MBE değeri pozitifse fazla tahmin, negatifse az tahmin eğilimi vardır. R² (determination coefficient) değeri ise simülasyon sonuçlarının gerçek verilerdeki değişimi ne ölçüde açıkladığını göstermekte olup, değer 1'e yaklaşması model ile gerçek veriler arasındaki uyumun arttığını ifade etmektedir.

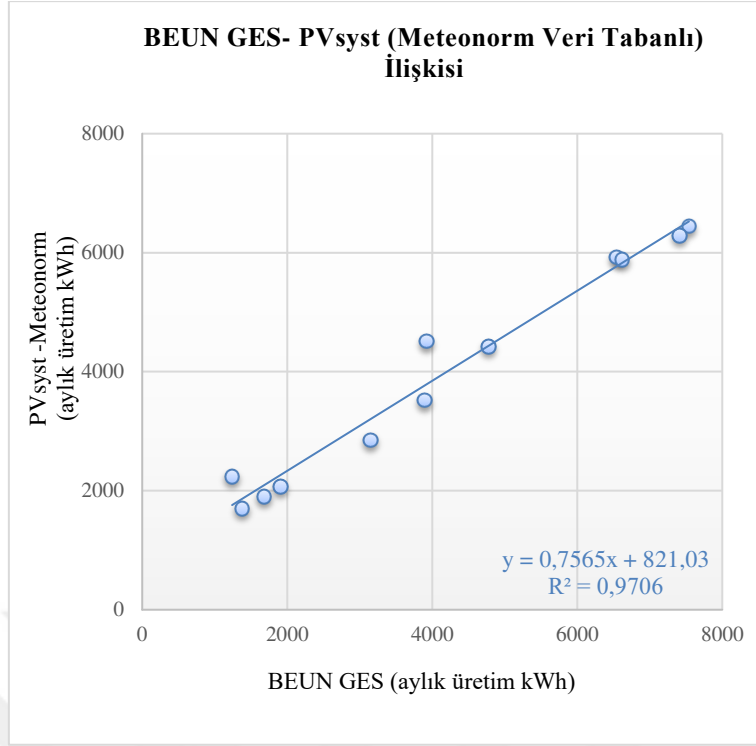
Çizelge 4.8 sonuçları değerlendirildiğinde, NASA-SSE meteorolojik veri tabanının kullanıldığı PVsyst simülasyon programının, BEUN GES’e ait gerçek üretim verileriyle en yüksek uyumu gösterdiği belirlenmiştir. Bu simülasyon, en düşük MAE (458,69 kWh) ve RMSE (579,37 kWh) değerlerine sahip olup, üretim verilerindeki değişimin %97’sini açıkladığını göstermektedir ($R^2 = 0,97$). Elde edilen pozitif MBE değeri (+177,11 kWh), modelin genel olarak fazla tahmin eğiliminde olduğunu ortaya koymaktadır.

Meteonorm meteorolojik veri tabanı kullanılarak gerçekleştirilen PVsyst ve HelioScope simülasyonları da yüksek determinasyon katsayısı ($R^2 = 0,97$) değerleriyle dikkat çekmektedir. Bununla birlikte, bu modellere ait MAE ve RMSE değerlerinin, NASA-SSE veri tabanı kullanılarak elde edilen PVsyst sonuçlarına kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir.

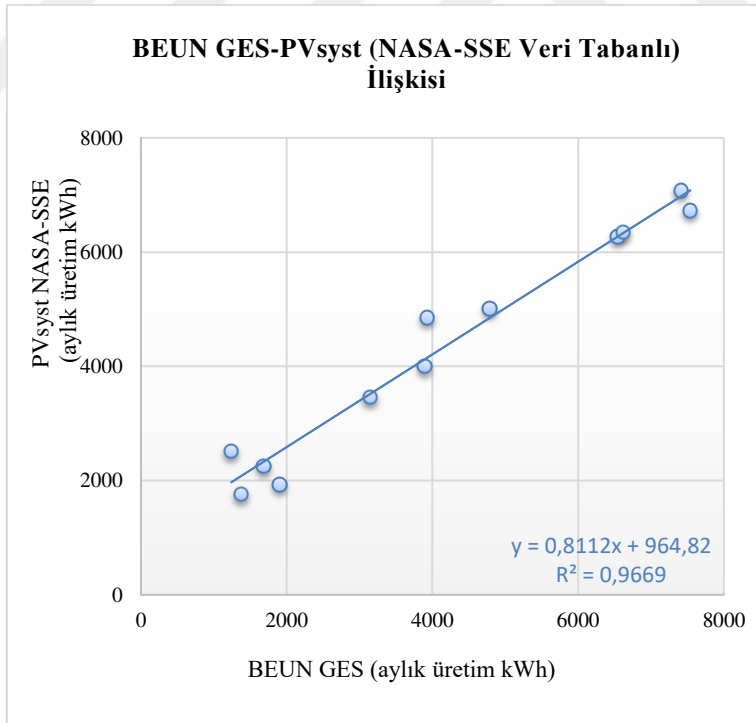
BEUN GES’ten Kasım 2024 – Ekim 2025 tarihleri arasında elde edilen gerçek üretim verileri ile simülasyon programlarından elde edilen tahmini sonuçlara ait saçılım grafikleri, Şekil 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 ve 4.10’da sunulmuştur.



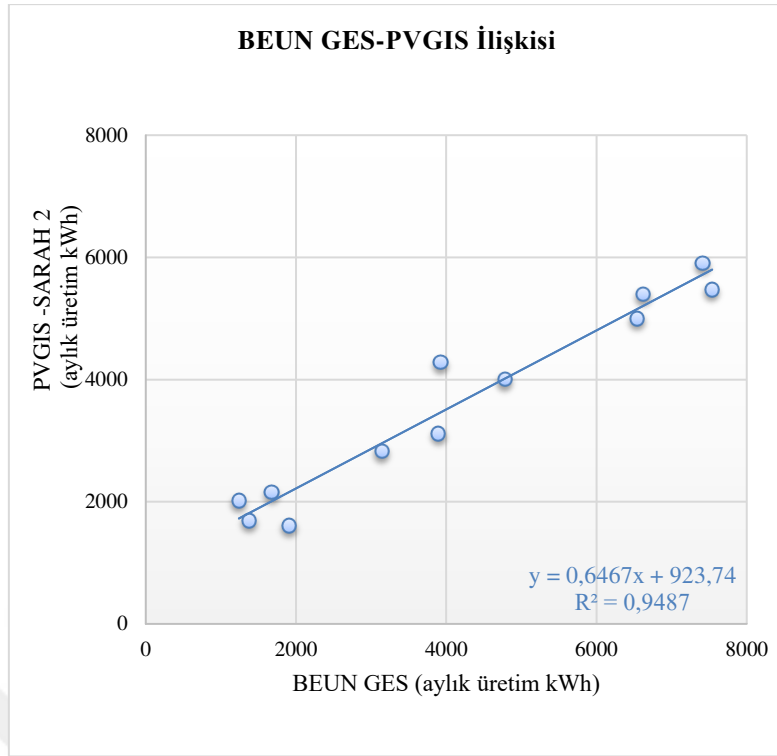
Şekil 4.6 BEUN GES ve PVGIS veri tabanlı PVsyst programı ilişkisi.



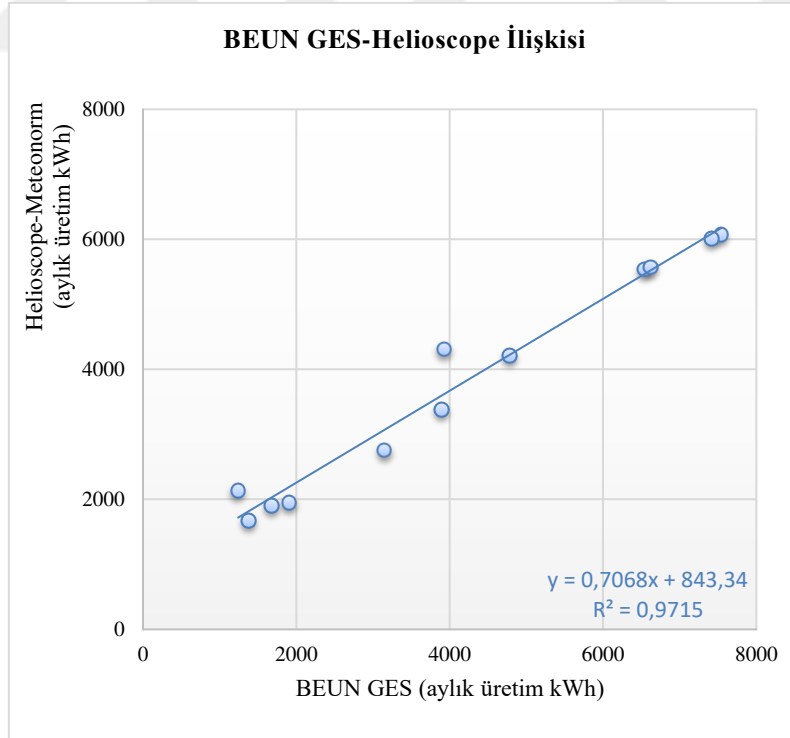
Şekil 4.7 BEUN GES ve Meteonorm veri tabanlı PVsyst programı ilişkisi.



Şekil 4.8 BEUN GES ve Meteonorm veri tabanlı PVsyst programı ilişkisi.



Şekil 4.9 BEUN GES ve SARAH 2 veri tabanlı PVGIS programı ilişkisi.



Şekil 4.10 BEUN GES ve Meteonorm veri tabanlı Helioscope programı ilişkisi.

Simülasyon programlarından elde edilen verilerle BEUN GES'ten elde edilen gerçek zamanlı verilerin saçılım grafikleri incelendiğinde tüm simülasyon programlarının BEUN GES ile pozitif yönde doğrusal bir ilişki içerisinde oldukları görülmektedir. Ancak NASA-SSE ve Meteonorm veri tabanının kullanıldığı PVsyst simülasyon programı ile Meteonorm veri tabanlarının kullanıldığı HelioScope simülasyon programının ilişkisinin çok güçlü pozitif yönde doğrusal bir ilişki olduğu tespit edilmiştir ($R^2 \geq 0,97$).

Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde, NASA-SSE veri tabanının kullanıldığı PVsyst simülasyon programının, BEUN GES'in gerçek sonuçlarını tahmin edebilmesi açısından, hem doğruluk hem de güvenilirlik yönüyle en başarılı simülasyon programı olduğu belirlenmiştir.





BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Kasım 2024-Ekim 2025 arası BEUN GES'te toplam elektrik üretimi 50079,71 kWh'dir. Simülasyon programlarından elde edilen veriler analiz edildiğinde, doğruluğu ve güvenilirliği en yüksek olan ve gerçek sonuçlara en yakın sonucu veren programın NASA-SEE veri tabanı kullanılan PVSyst programının olduğu tespit edilmiştir.

Literatürden de anlaşılacağı üzere; simülasyon sonuçlarını etkileyen en önemli faktörlerden biri simülasyon çalışmasında kullanılan programa ait meteorolojik verilerdir. Bu nedenle PV sisteminin bulunduğu bölgeye yakın konumdaki ve geniş zaman aralığı ortalamalarının kullanıldığı meteorolojik veriler üzerinden yapılan simülasyon çalışmaları daha etkin sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır.

Kasım 2024- Ekim 2025 tarihleri arasında BEUN GES'te, 2 adet inverter ve 48 adet PV panel 15° azimut açısıyla 30° eğim açısıyla güneybatı yönünde, 1 adet inverter ve 24 adet panel -165° azimut açısıyla, 30° eğim açısıyla kuzeydoğu yönünde konumlandırılmıştır. Kuzeydoğu yönüne konumlandırılmış inverter 1 ve güneybatı yönüne konumlandırılmış inverter 2'ye bağlı 24'er adet panel özdeş olmakla birlikte, herhangi bir temizleme işlemi yapılmamıştır.

BEUN GES'te ölçüm yapılan 12 ay boyunca güneybatı yönüne yerleştirilen 24 adet PV panelin bağlı olduğu inverter 2'de elektrik üretiminin, kuzeydoğu yönüne yerleştirilen 24 adet PV panelin bağlı olduğu inverter 1'de üretilen elektrikten 4194,25 kWh daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum istatistiksel olarak anlamlı olmasa bile güneybatı yönündeki PV panellerin veriminin kuzeydoğu yönündekilere göre daha fazla olduğunu göstermektedir.

Çalışmamızın bulguları, Türkiye'de yapılan diğer çalışmalarla benzerlik göstermektedir. Türkiye'nin kuzey yarım kürede bulunması, güney yönünden güneş ışınlarından daha fazla

yararlanılması ve bu durumun da güney yönündeki PV panellerden daha fazla enerji üretilmesi sonucuyla açıklanabilmektedir.

BEUN GES'te güneybatı yönüne yerleştirilen inverter 2 ve inverter 3'e bağlı 48 adet panelden, inverter 3'e bağlı olan 24 adet panel, ayda bir olacak şekilde temizlenmiştir. Kasım 2024-Ekim 2025 tarihleri arasında, ayda bir kez temizlenen inverter 3'ten, temizlenmeyen inverter 2'ye göre 89,52 kWh daha fazla elektrik üretildiği tespit edilmiştir. Belirtilen süre içerisinde bu iki inverterin ürettiği elektrik miktarları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığı tespit edilmiştir.

Çalışmamızın sonucunda, temizlenen ve temizlenmeyen panellerin benzer sonuçlar vermesi, Zonguldak'ta yağışlı gün sayısının fazla olması ve buna bağlı olarak panellerin doğal olarak temizlenmiş olmasıyla ilişkilendirilmiştir. Alzahrani ve arkadaşları (2025), Suudi Arabistan'da yaptıkları çalışmada da benzer bir sonuç elde etmişlerdir. Çalışmalarında, yağmurun 45° eğimli ve tozlu panellerin performansını iyileşerek ilk temiz haline yaklaştırdığını ifade etmişlerdir [74]. Bizim çalışmamızda da yağmurun, 30° eğim açısı bulunan paneller üzerinde toz birikmesini engelleyerek, panellerden benzer çıktılar alınmasını sağladığı düşünülmektedir.

BÖLÜM 6

ÖNERİLER

Farklı simülasyon programından elde edilen verilerle gerçek zamanlı GES sonuçlarının karşılaştırıldığı ve PV panellerin yönünün ve tozlanmanın panel verimliliğine etkisinin incelendiği bu çalışmada, Zonguldak ili için mevcut ve kurulması planlanan GES'ler için NASA-SSE meteorolojik veri tabanı kullanılan PVsyst programının güvenle kullanılabileceği anlaşılmıştır. GES'lerin üreteceği elektrik enerjisinin, belirlenen her bölgenin meteorolojik özelliklerine göre farklılık göstereceği göz önünde bulundurulduğunda, çalışma sonuçlarının birebir diğer bölgeler için aynı olmayacağı açıktır. Bu nedenle farklı lokasyonlarda farklı simülasyon programlarıyla da çalışmalar yapılması önerilmektedir.

Bununla birlikte, çalışmamızda PV paneller 2 farklı yöne konumlandırılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. PV panellerin farklı yönlere konumlandırılarak daha fazla konumun değerlendirilebilmesi açısından gelecek çalışmaların planlanması önerilmektedir.

Ayrıca çalışmamızda PV panel temizliğinin belirtilen zaman diliminde panel verimine katkısı bulunmamıştır. Çalışmamızın yapıldığı Zonguldak ilinin yıllık yağışlı gün sayısının fazla olması panellerin doğal olarak temizlenmesine katkı sağladığı ve temizlenen ve temizlenmeyen paneller arasında fark oluşmasının önüne geçtiği düşünülmüştür. PV panel verimini arttırmak için yağışın daha az olduğu aylarda ve bölgelerde gelecek çalışmaların yapılması önerilir.



KAYNAKLAR

- [1] **Yolcan O O ve Köse R** (2020) Türkiye’ Nin Güneş Enerjisi Durumu Ve Güneş Enerjisi Santrali Kurulumunda Önemli Parametreler. *Kirklareli University Journal of Engineering and Science*, 6 (2): 196-215.
- [2] **Savaş S. Duraklar K. Çınar O A. Koç M. vd.** (2022) Güneş Enerjisi Sistemlerinde Yenilikçi ve Akıllı Bakım Onarım. *Journal of Information Systems and Management Research*. 4 (2): 35-49.
- [3] **Altun Y ve İşleyen Ş** (2018) Bazı OECD Ülkelerinde Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Üretimine Yönelim Üzerine Ampirik Bir Çalışma. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*. 22 (3): 1577-1590.
- [4] **Selbaş R ve Çetin H** (2022) Fotovoltaik Güneş Sanrallerinin Verimlerinin Değişiminin İncelenmesi. *Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi*. 6 (1): 10-17.
- [5] **Macit Sezikli N. Ümit Alkan Ü. Zontul M. ve Elabiad Z** (2024) Forecast Analysis of Renewable Solar Energy Production Using Meteorological Data with Machine Learning Methods. *Journal of Aeronautics and Space Technologies*. 17 (2): 180-202
- [6] **Çifçi A ve Altundağ E** (2017) Burdur Bölgesi Güneş Enerjisi Potansiyelinin Elektrik Üretiminde Kullanılabilirliği. *Mesleki Bilimler Dergisi*. 6 (2): 111-120.
- [7] **Çırak B** (2019) Karaman İlinde Yenilenebilir Enerji Uygulamaları. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi*. 1 (1): 19-49.
- [8] **Güneş Enerjisi ve Teknolojileri.** (2025) Adres: https://evcedyetkilendirme.enerji.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx#top. <www.enerji.gov.tr>. Ziyaret tarihi: 13.12.2024.
- [9] **Laxmikant D J. Ganesan S. Awasarmol U. Nikam K. Shahapurkar K el at.** (2023) Comprehensive Review Of Environmental Factors İnfluencing The Performance Of Photovoltaic Panels: Concern Over Emissions At Various Phases Throughout The Lifecycle. *Environmental Pollution*. 326: 121474
- [10] **Van Ness P and Gurtov M** (Ed.) (2017) *Learning From Fukushima Nuclear Power In East Asia*. ISBN: 9781760461393. ANU Press. (e-book). 386
- [11] **İnce İT** (2021) Güneş Enerjisi İle Elektrik Üretiminde Örnek Uygulamalar. *Disiplinlerarası Yenilik Araştırmaları Dergisi*. 1 (1): 1-10.
- [12] **Deniz Z, Aktaş M, Güven Y ve Şensoy B** (2024) Güneş Enerjisi Destekli Enerji Depolamalı Yeni Nesil Eko Kurutucu Tasarımı. *Politeknik Dergisi*. 27 (6): 2297-2312.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [13] **Oral M** (2020) Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Ve Pv Uygulamalarının Yerel Ölçekte Değerlendirilmesi: Karabük İli Örneği. *International Journal of Geography and Geography Education*. 42: 482-503.
- [14] **Daniels F** (1971) Utilization of Solar Energy-Progress Report. *Proceedings of the American Philosophical Society*. 115 (6): 490-501.
- [15] **Kapluhan E** (2015) Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Güneş Enerjisinin Dünya'daki ve Türkiye'deki Kullanım Durumu. *Coğrafya Dergisi*. 29: 70-98.
- [16] **Li L, Lin J, Wu N, Xie S, Meng C, Zheng Y and Zhao Y** (2022) Review and Outlook on the International Renewable Energy Development. *Energy and Built Environment*. 3 (2): 139-157.
- [17] **Çetin S, Turan E ve Bayrakdar E** (2019) Türkiye'nin Güneş Enerjisi Politikaları. *Third Sector Social Economic Review*. 54 (2): 949-968.
- [18] **Arabacı H ve Özkan N** (2024) Güneş Enerjisi Sistemlerinin Ekonomiye ve Çevreye Katkıları. *Balkan and Near Eastern Journal of Social Sciences*. 10 (3): 26-32.
- [19] **Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası**. (2024.) Adres: <https://gepa.enerji.gov.tr/> <www.enerji.gov.tr>, Ziyaret tarihi: 14.12.2024.
- [20] **Elektrik**. (18.06.2025) Adres: <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik> <www.enerji.gov.tr>, Ziyaret tarihi: 20.06.2025.
- [21] **Where does Türkiye Get Its Electricity?** (t.y.) Adres: <https://www.iea.org/countries/turkiye/electricity> <www.iea.org>, Ziyaret tarihi: 14.12.2024.
- [22] **MGM Zonguldak İli İklim İstatistiği** (2025) Adres: <https://www.mgm.gov.tr/Veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=&m=Zonguldak> <www.mgm.gov.tr>, Ziyaret tarihi: 10.06.2025.
- [23] **Kenç M B** (2024) Fotovoltaik Sistemlerin Şebeke Entegrasyonunun İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Fırat Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı. Elazığ. 73 s.
- [24] **Raman P, Murali J, Sakthivadivel D and Vigneswaran V S** (2012) Opportunities And Challenges In Setting Up Solar Photo Voltaic Based Micro Grids For Electrification In Rural Areas Of India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 16 (5): 3320-3325.
- [25] **Arıcı N ve İskender A** (2020) Fotovoltaik Güneş Santrallerinde Şebeke Bağlantı Sorunları Ve Çözümleri. *Journal of Polytechnic*. 23 (1): 215-222.
- [26] **Selim Saral Y** (2023) Fotovoltaik Panel Verimliliği ve Maksimum Güç Noktası İzleme. *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi*. 18 (67): 1-25.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [27] **Duyan F ve Bayrakdarlar K P** (2022) Enerji Etkin Bina Tasarımında Yapı Elemanı olarak Fotovoltaik Sistemler. *Mimarlık ve Yaşam*. 7 (3): 965-980.
- [28] **Güneş Paneli Nasıl Yapılır?** (08.12.2023) Adres: <https://enerjimar.com/gunes-paneli-nasil-yapilir> <www.enerjimar.com>, Ziyaret tarihi: 12.06.2025.
- [29] **Akhan H, Ezik E İ ve Emirali S** (2025). Fotovoltaik Sistemlerde Verimi Etkileyen Parametrelerin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 26 (1): 17-32.
- [30] **Atılım F, Esen B, ve Demirtaş M** (2019) Balıkesir İlinde Farklı İki GES Tesisinin Panel Yerleşimi Açısından Verimliliklerinin Karşılaştırılması. *BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi*. 21 (2): 679-696.
- [31] **Abraim M, Salihi M, Omaima El Alani O, Hanrieder N, Ghennioui H, Ghennioui A. El Ydrissi M and Azouzoute A** (2022) Techno-Economic Assessment Of Soiling Losses In CSP And PV Solar Power Plants: A Case Study For The Semi-Arid Climate Of Morocco. *Energy Conversion and Management*. 270: 116285.
- [32] **Sadeghi D, Eslami A, Eslami S, Rahbar K and Kari R** (2025) Enhancing PV System Modeling Accuracy: Comparative Analysis Of Radiation Models And Data Sources. *Next Research*. 2 (1): 100165.
- [33] **Şahin Z R ve Salihmuhsin M** (2024) Gerçekten Sanala: 1 Mwp Güneş Santralinin Pvsyst Simülasyon Programıyla Performans Analizi. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 23: 203-215.
- [34] **Öztürk B, Akyazı Ö, Şahin M ve Yılmaz G** (2023) Şebeke Bağlantılı Güneş Enerji Santrali'nin Modellenmesi ve Simülasyon Analizi: Ağrı/Çukurçayır Köyü 999 kW Güneş Enerjisi Santrali Örneği. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi* . 13 (4): 1623-1647.
- [35] **Limem F and Sezen S** (2021) Comparative Analysis of Different Photovoltaic Simulation Software: Case Study on Analyzing the Performance of a 5,1 kWp Grid Connected Photovoltaic System. *European Journal of Science and Technology*. 32: 816-826.
- [36] **Ceylan O ve Taşdelen K** (2018) Isparta İli için Fotovoltaik Programlarının Simülasyon Sonuçlarının Doğruluğunun İncelenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 18 (3): 895-903.
- [37] **Dondariya C, Porwal D, Awasthi A, Shukla A K, Sudhakar K, Murali Manohar S R, and Bhimte A** (2018) Performance simulation of grid-connected rooftop solar PV system for small households: A case study of Ujjain, India. *Energy Reports*. 4: 546-553.
- [38] **Çınaroğlu M S** (2021) Şebekeye Bağlı Üç Adet Fotovoltaik Enerji Santralinin Pvsyst Programı ile Analizi; Kilis Örneği. *ECJSE*. 8 (2): 675–687.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [39] Şimşek S ve Uçum M (2022) Düz Çatılarda Kullanılan Fotovoltaik Sistemlerin Simülasyon Yoluyla Tasarımı ve Performans Karşılaştırılmasının Yapılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*. 38: 529-533.
- [40] Yılkırkan N ve İsaogulları D (2024) Fotovoltaik Sistem Tasarımı ve Analizi: Sivas Teknoloji Geliştirme Bölgesi Örneği. *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*. 3 (1): 14-20.
- [41] Khatib T and Deria R (2022) East-West Oriented Photovoltaic Power Systems: Model, Benefits And Technical Evaluation. *Energy Conversion and Management*. 266:115810.
- [42] Kayri İ (2023) Fotovoltaik Uygulamalar İçin Kararlı Tek Eksenli Bir Güneş Takip Sistemi Tasarımı ve Uygulaması. *Yüzyüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 28 (2): 432-450.
- [43] Adıgüzel E.ve Javani N (2015) Güneş Termal Enerjili ve Fotovoltaik Destekli “Neredeyse Sıfır Enerjili Binaların” Enerji ve Ekonomik Açından İncelenmesi. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*. 8-11.04.2015. İzmir.1239-1252.
- [44] Güngör O, Kahveci H ve Gökçe H S (2023) The Effect of Various Industrial Dust Particles on the Performance Of Photovoltaic Panels in Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*. 30 (6): 15128-15144.
- [45] Gupta V, Sharma M, Pachauri R K and Babu K D (2019) Comprehensive Review on Effect of Dust on Solar Photovoltaic System and Mitigation Techniques. *Solar Energy*. 191: 596-622.
- [46] Kazem H A, Chaichan M T, Al-Waeli A H And Sopian K (2020) A Review of Dust Accumulation and Cleaning Methods For Solar Photovoltaic Systems. *Journal of Cleaner Production*. 276: 123187.
- [47] Rusănescu C O, Rusănescu M, Istrate I A, Constantin G A and Begea M (2023) The Effect Of Dust Deposition On The Performance Of Photovoltaic Panels. *Energies*. 16 (19): 6794.
- [48] Kayri İ ve Tan Bayar M (2021) Toz Faktörünün Fotovoltaik Panellerin Verimi Üzerindeki etkisinin Araştırılması: Batman Örneği. *International Symposium On Engineering*. 25-28.11.2021. Batman. 88-96.
- [49] Akkoyunlu M T, Polat E, Özkılıçaslan R, Keleş V. et al. (2024) Güneş Enerji Santralinin Temizlik Sonrası Üretim Verilerinin İncelenmesi. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 6 (3): 583-591.
- [50] Saidan M, Albaali A G, Alasis E and Kaldellis J K (2016) Experimental Study On The Effect Of Dust Deposition On Solar Photovoltaic Panels In Desert Environment. *Renewable Energy*. 92: 499-505.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

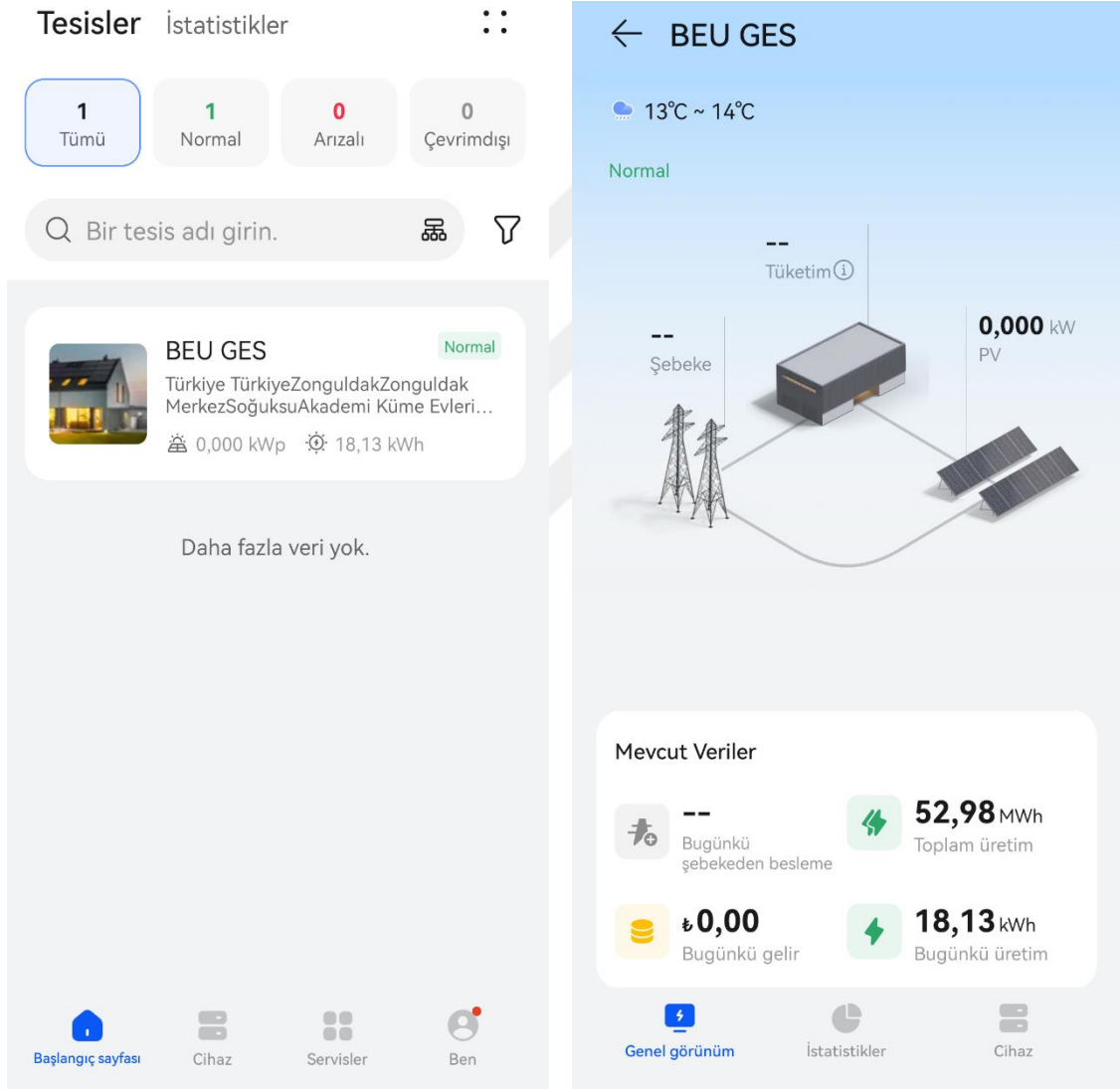
- [51] **Vaishak S and Bhale P V** (2019) Effect Of Dust Deposition On Performance Characteristics Of A Refrigerant Based Photovoltaic/Thermal System. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 36: 100548.
- [52] **Guan Y, Zhang H, Xiao B, Zhou Z and Yan X** (2017) In-Situ Investigation Of The Effect Of Dust Deposition On The Performance Of Polycrystalline Silicon Photovoltaic Modules. *Renewable Energy*. 101: 1273-1284.
- [53] **Hachicha A A, Al-Sawafta I and Said Z** (2019) Impact of Dust on the Performance of Solar Photovoltaic (PV) Systems under United Arab Emirates Weather Conditions. *Renewable Energy*. 141: 287-297.
- [54] **Gholami A, Khazaei I, Eslami S, Zandi M and Akrami E** (2018) Experimental Investigation Of Dust Deposition Effects On Photo-Voltaic Output Performance. *Solar Energy*. 159: 346-352.
- [55] **Uz Ö, Özdemir T ve Özmen Ö T** (2022) Fotovoltaik Enerji Üretiminin Meteorolojik Şartlarla İlişkilendirilmesi: İzmir Bakırçay Üniversitesi Örneği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 13 (1): 49-62.
- [56] **Umut İ** (2023) Experimental Investigation Of The Effect Of Surface Contamination On Power Output In Photovoltaic Panels. *In International Scientific Conference*. 17-18.11.2023. Gabrova. 385.
- [57] **Abderrezek M ve Fathi M** (2017) Experimental Study Of The Dust Effect On Photovoltaic Panels' Energy Yield. *Solar Energy*. 142: 308-320.
- [58] **Tamoor M, Hussain M I, Bhatti A R, Miran S, Arif W, Kiren T and Lee G H** (2022) Investigation Of Dust Pollutants And The Impact Of Suspended Particulate Matter On The Performance Of Photovoltaic Systems. *Frontiers in Energy Research*. 10: 1.
- [59] **Umar S, Waqas A, Tanveer W, Shahzad N, Janjua A K, Dehghan M and Shakir S** (2023) A Building Integrated Solar PV Surface-Cleaning Setup To Optimize The Electricity Output Of PV Modules In A Polluted Atmosphere. *Renewable Energy*. 216: 119.
- [60] **Erişgin D, Kara G ve Özcan H** (2022) Fotovoltaik Panel Temizliğinde Yüzey Akustik Dalgaları Kullanımının Fotovoltaik Panel Performansına Etkilerinin İncelenmesi. *Omujeşt*. 2 (2): 137-154.
- [61] **Yücel M** (2022) Yerleşim Yerleri İçindeki PV Paneller Tozlaşma ve Kirliliğin Enerji Verimliliği Olan Etki Analizi. *Kent Akademisi*. 15 (4): 1926-1937.
- [62] **Anana W, Chaouki F, Laarabi B, Dahlioui D, Sebbar M A, Barhdadi A and Verdilio D** (2016) Soiling Impact On Energy Generation Of High Concentration Photovoltaic Power Plant In Morocco. *4th International Renewable and Sustainable Energy Conference*. 14-17.11.2016. Marrakech. 234-236.

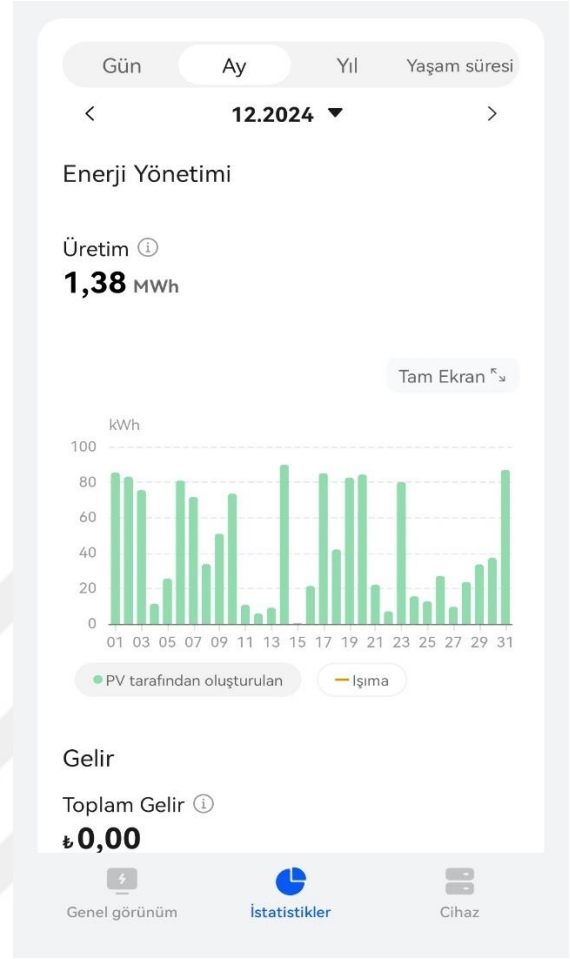
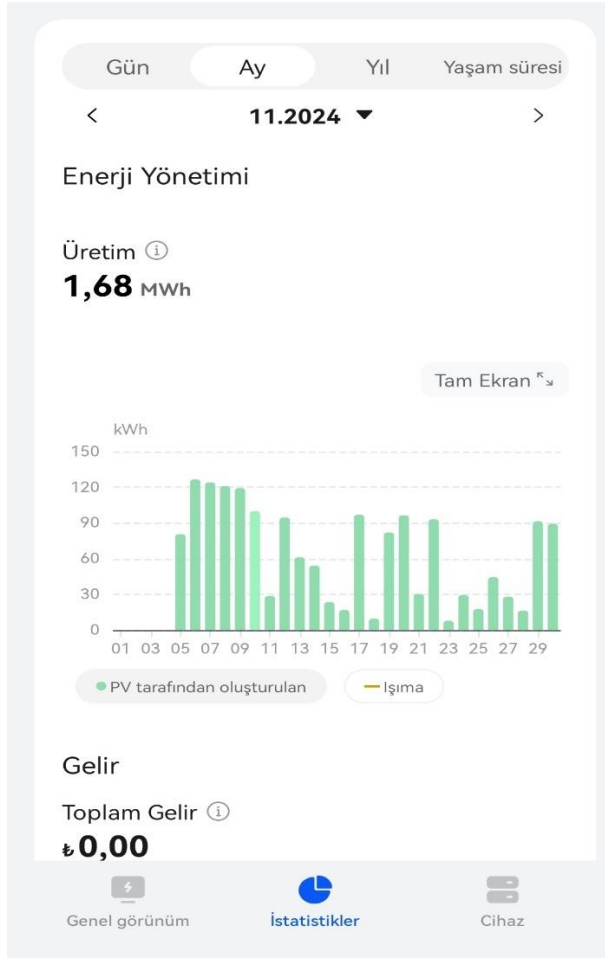
KAYNAKLAR (devam ediyor)

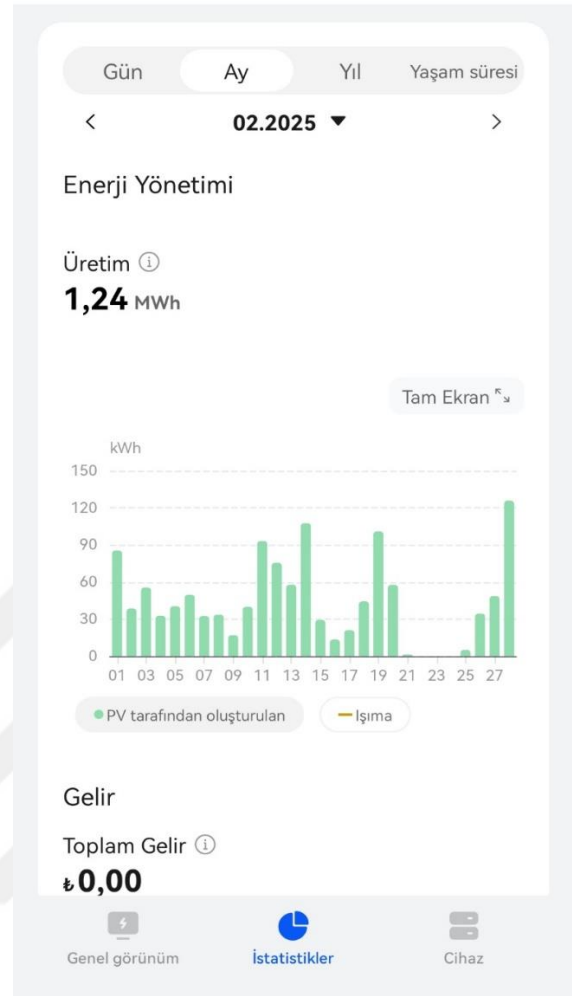
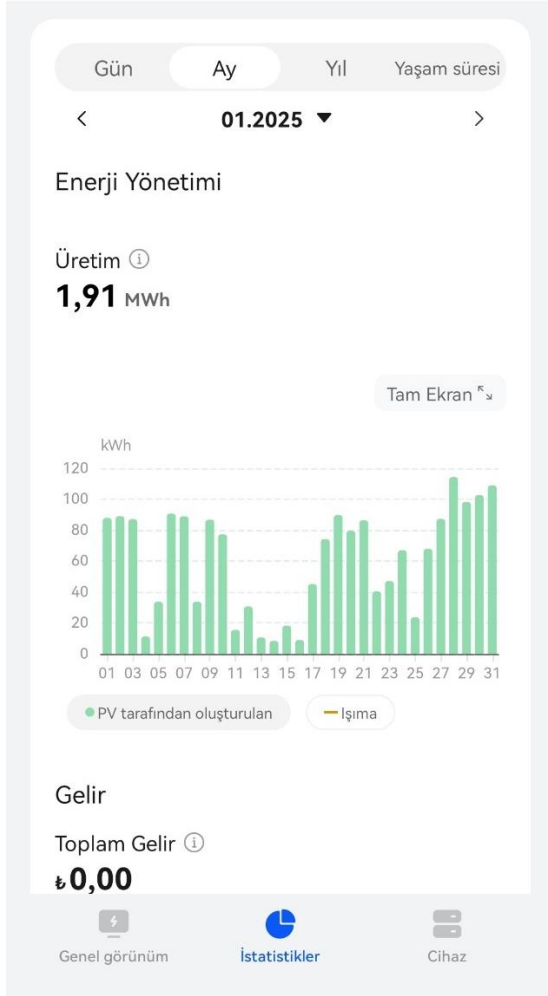
- [63] **Babatunde A A, Abbasoglu S ve Senol M** (2018) Analysis Of The İmpact Of Dust, Tilt Angle And Orientation On Performance Of PV Plants. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*. 90: 1017-1026.
- [64] **PVsyst8**. (t.y.) Adres: <https://www.pvsyst.com/pvsyst-8> < www.pvsyst.com >, Ziyaret tarihi: 06.04.2025.
- [65] **PVSyst ve İzleme Sistemleri**. (07.07.2024) Adres: <https://www.investhinker.com/post/pvsyst-ve-izleme-sistemleri> <<https://www.investhinker.com>>. Ziyaret tarihi: 13.12.2024
- [66] **Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi** (2025) Adres: <https://pvgis.com/tr/blog> URL <www.pvgis.com>, Ziyaret tarihi: 08.04.2025.
- [67] **İşler Y S** (2020) Şebeke Bağlantılı, Depolamalı Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemleri. *Doktora Tezi*. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı. Kahramanmaraş. 217.
- [68] **PVsyst, HelioScope ve SAM Ne Zaman Kullanılır?** (27.12.2022) Adres: <https://www.purepower.com/blog/when-to-use-pvsyst-helioscope-and-sam> <www.purepower.com>. Ziyaret tarihi: 10.07.2025.
- [69] **Ceylan O ve Taşdelen K** (2018) Isparta İli İçin Fotovoltaik Programlarının Simülasyon Sonuçlarının Doğruluğunun İncelenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 18 (3): 895-903.
- [70] **Setiabudhi H and Nugraha G A** (2024) Analisis Data Penelitian Menggunakan SPSS: Langkah Praktis dan Studi Kasus. 1st edition, ISBN: 978-623-10-4167-8, Borneo Novelty Publishing, Balikpapan, Kalimantan Timur, Endonezya, 1-3.
- [71] **IBM SPSS Products**. (08.11.2025) IBM. Adres: <<https://www.ibm.com/products/spss>> URL <www.ibm.com>.
- [72] **Uğuz S, Oral O ve Çağlayan N** (2019) 2 PV Güç Santrallerinden Elde Edilecek Enerjinin Makine Öğrenmesi Metotları Kullanılarak Tahmin Edilmesi. *UMAGD*. 11 (3): 769-779.
- [73] **Efficiency Valuation Organization-International Performance Measurement And Verification Protocol** (2012). Concepts And Options For Determining Energy And Water Sawing 1.
- [74] **Alzahrani M, Rahman T Rawa M and Weddell A** (2025) Impact Of Dust And Tilt Angle On The Photovoltaic Performance İn A Desert Environment. *Solar Energy*. 288: 113239.

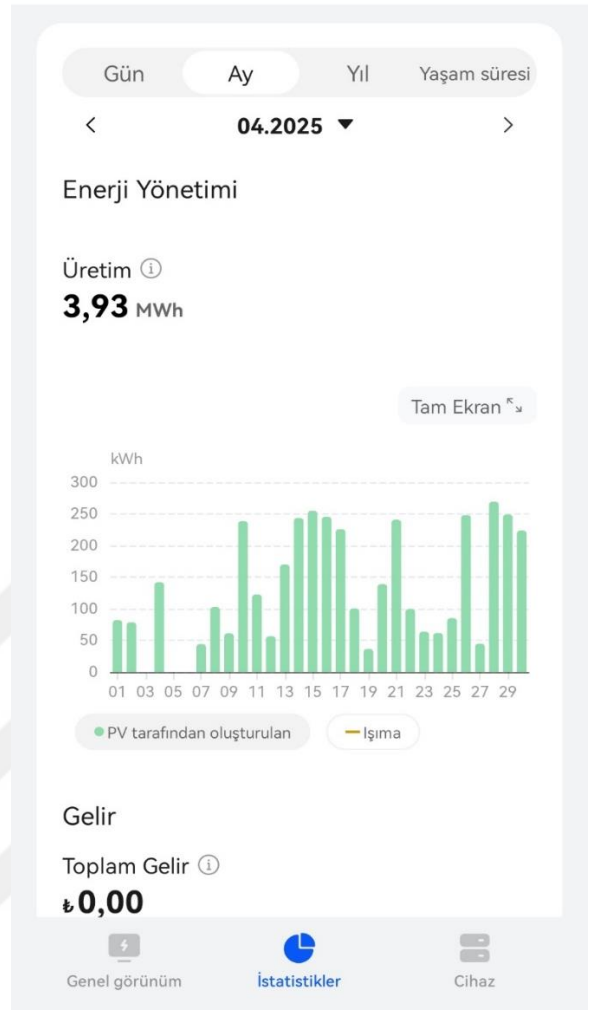
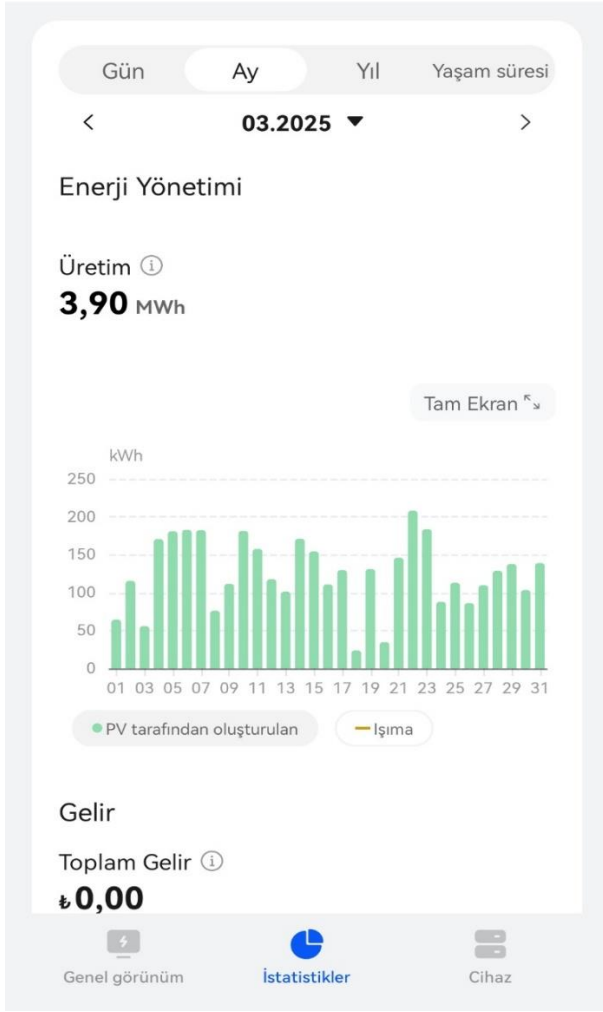
EK AÇIKLAMALAR

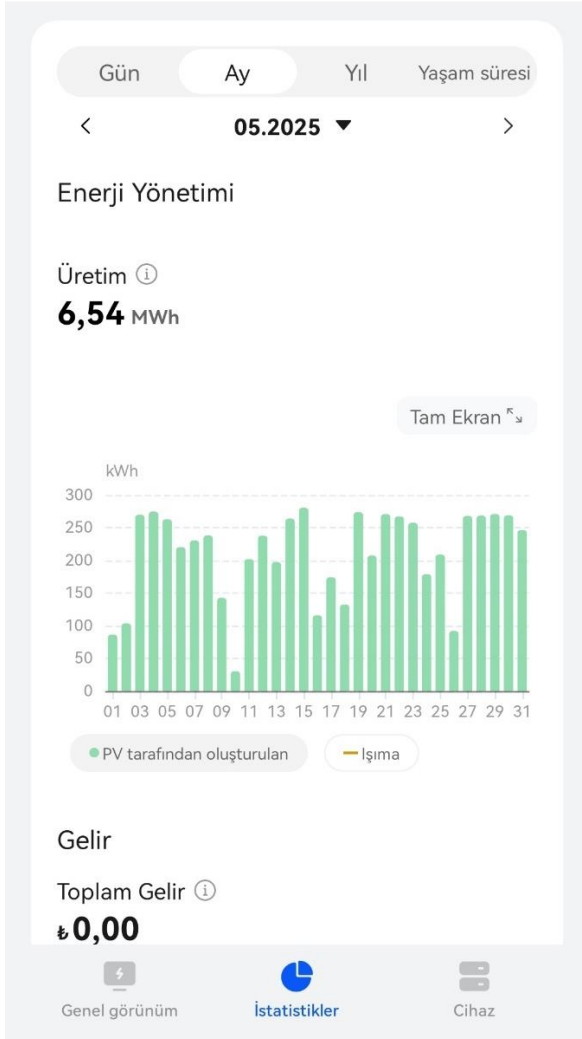
EK A: BEUN GES Sonuçları



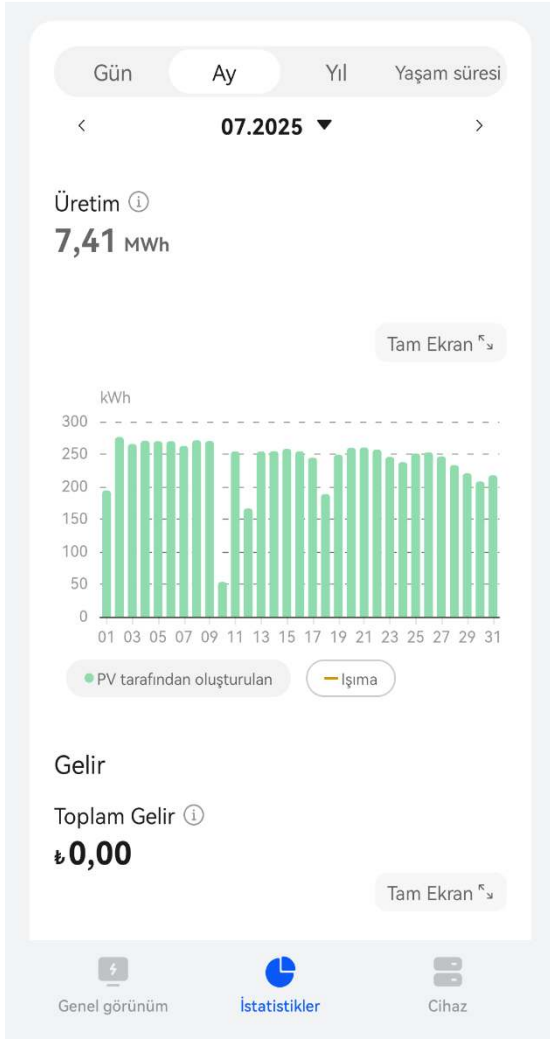




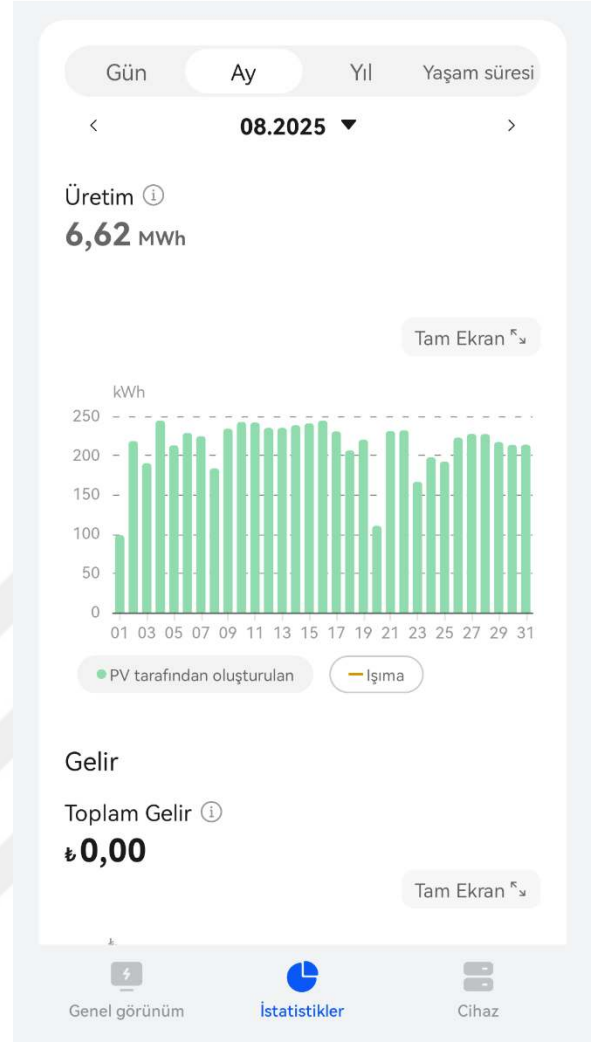


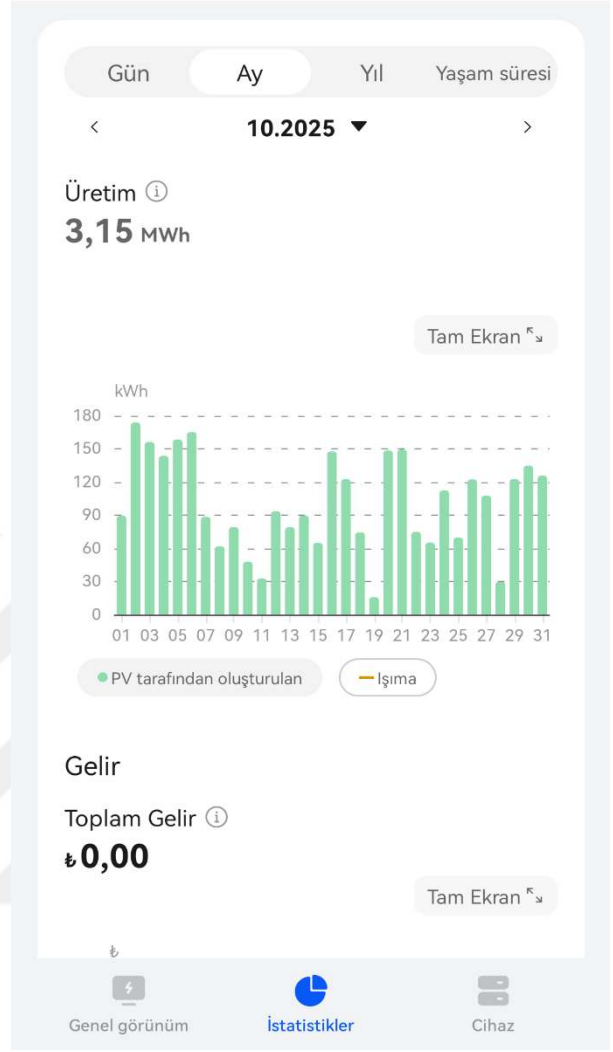
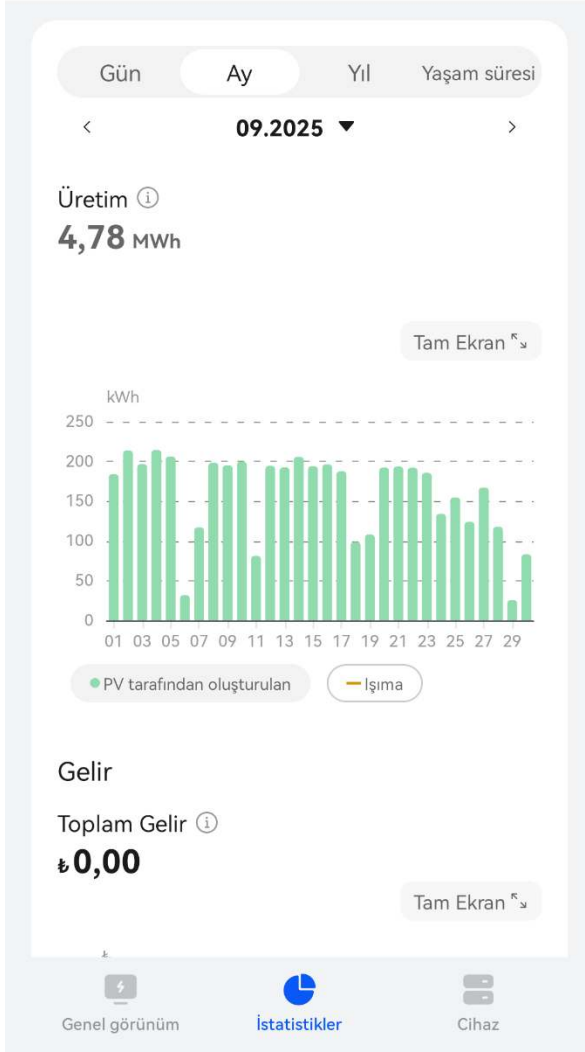


← BEU GES



← BEU GES





EK B: PVsyst Simülasyon Programı- PVGIS Veri Tabanı Sonuçları



PVsyst V8.0.7

PVsyst - Simülasyon raporu

Şebekeye bağlı sistem

Proje: Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi GES Projesi

Varyant: Yeni simülasyon varyantı

Bina üzerinde

Sistem gücü : 39.6 kWp

Kozlu - Türkiye

Proje özeti			
Coğrafi konum Kozlu Türkiye	Konum		
	Enlem	41.45 °K	
	Boylam	31.78 °E	
	Rakım	78 m	
	Saat dilimi	UTC+3	
Proje ayarları			
	Albedo	0.20	
Hava durumu verileri			
Kozlu			
PVGIS apl TMY			

Sistem özeti			
Şebekeye bağlı sistem		Bina üzerinde	
Yönlendirme #1		Yönlendirme #2	
Sabit düzlem		Sabit düzlem	
Eğim/Azimuth	30 / -165 °	Eğim/Azimuth	30 / 15 °
Sistem bilgisi		Yakın gölgelermeler	
PV alanı		Linear gölgelermeler : Yavaş (simul.)	
Panel sayısı	72 adet	Invertör	
Toplam nom. güç	39.6 kWp	Öge sayısı	3 adet
		Toplam nom. güç	45.0 kWac
		Nom. güç oranı	0.880
Kullanıcı ihtiyaçları			
Sınırsız yükleme (şebeke)			

Sonuçların özeti			
Üretilen enerji	48474 kWh/yl	Üretilebilir	1224 kWh/kWp/yl
		Perf. oranı PR	85.11 %

İçindekiler	
Proje ve sonuçların özeti	2
Genel parametreler, Kolektör alanının özellikleri, Sistem kayıpları	3
Ufuk tanımlaması	5
Yakın gölgelermelerin tanımlanması - İzo gölgeleme diyagramı	6
Genel sonuçlar	8
Kayıplar diyagramı	9
Ön tanımlı grafikler	10
Tek hat şeması	11



PVsyst V8.0.7
VC0, Simülasyon tarihi:
08/04/25 20:22
V8.0.7 ile

Proje: Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi GES Projesi

Varyant: Yeni simülasyon varyantı

Genel parametreler					
Şebekeye bağlı sistem		Bina üzerinde			
Yönlendirme #1		Dizi ayarları		Boyutlar	
Sabit düzlem		Dizi sayısı	1 Birim	Dizi aralığı	0.00 m
Eğim/Azimuth	30 / -165 °	Tek masa		Koloktör eni	4.58 m
		Gölgeleme açısı sınırı		ortalama GCR	%
		Profil açısı sınırı	°	Etkisiz üst perit	0.02 m
				Etkisiz alt perit	0.02 m
Yönlendirme #2		Dizi ayarları		Boyutlar	
Sabit düzlem		Dizi sayısı	2 birim	Dizi aralığı	0.00 m
Eğim/Azimuth	30 / 15 °	Masa seti		Koloktör eni	4.58 m
		Gölgeleme açısı sınırı		ortalama GCR	%
		Profil açısı sınırı	°	Etkisiz üst perit	0.02 m
				Etkisiz alt perit	0.02 m
Kullanılan modeller		Ufuk		Yakın gölgelemeler	
Transpozisyon	Perez	Ortalama yükseklik	5.0 °	Lineer gölgelemeler : Yavaş (simul.)	
Diffüz	İndirildi				
Circumsolar	ayrı				
Kullanıcı ihtiyaçları					
Sınırsız yükleme (şebeke)					

Kolektör alanının özellikleri			
PV modül		İnvertör	
Üretici	Generic	Üretici	Generic
Model	SPE550-144M	Model	SUN2000-15KTL-M5-400V
(Kullanıcı tarafından belirlenen parametreler)		(Orijinal PVsyst veritabanı)	
Birim gücü	550 Wp	Birim gücü	15.0 kWac
PV modül sayısı	72 adet	İnvertör sayısı	3 adet
Nominal (STC)	39.6 kWp	Toplam güç	45.0 kWac
Modül	6 zincir x 12 Seri	Çalışma gerilimi	200-1000 V
İşletme şartlarında (50°C)		Maks güç (=>55°C)	16.5 kWac
Pmpp	36.2 kWp	Nom. güç oranı (DC:AC)	0.88
U mpp	454 V	İnvertörde güç paylaşımı	
I mpp	80 A		
Total PV gücü		İnvertör toplam gücü	
Nominal (STC)	40 kWp	Toplam güç	45 kWac
Toplam	72 modül	Maks güç	49.5 kWac
Panel yüzeyi	186 m²	İnvertör sayısı	3 adet
Hücre yüzeyi	172 m²	Nom. güç oranı	0.88

Dizi kayıpları			
Termal kayıp faktörü		DC kablolama kaybı	
Isınımına göre modül sıcaklığı		Global alan direnci	95 mΩ
Uc (sabit)	20.0 W/m²K	Kayıp oranı	1.5 STC'de%
Uv (rüzgar)	0.0 W/m²K/m/s		
Modül uyumsuzluk kaybı		Modül kalite kaybı	
Kayıp oranı	1.0 MPP'de%	Kayıp oranı	0.0 %

Dizi kayıpları								
IAM kayıp faktörü								
Yansıma etkisi (IAM): Fresnel, yansıma önleyici, n(cam)=1.526, n(AR)=1.290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.963	0.892	0.814	0.679	0.438	0.000



Proje: Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi GES Projesi

Varyant: Yeni simülasyon varyantı

PVsyst V8.0.7
VC0, Simülasyon tarihi:
06/04/25 20:22
V8.0.7 ile

Ufuk tanımlaması

Horizon from PVGIS website API, Lat=41°27'5", Long=31°45'40", Alt=78m

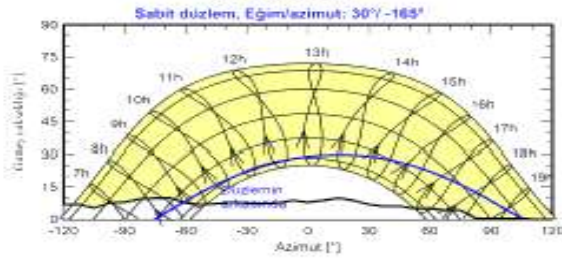
Ortalama yükseklik 5.0 ° Albedo faktörü 0.83
Diffüz faktörü 0.98 Albedo oranı 100 %

Ufuk profili

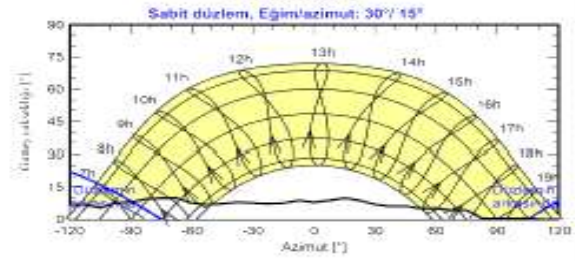
Azmut [°]	-180	-173	-165	-158	-150	-143	-113	-105	-98	-90	-83	-75	-68
Yükseklik [°]	1.1	1.1	1.9	5.0	5.0	8.9	8.9	5.3	7.6	8.0	9.5	9.9	9.9
Azmut [°]	-60	-53	-45	-38	-30	-23	-15	-8	0	8	15	23	30
Yükseklik [°]	7.6	8.9	7.3	8.0	7.6	7.3	7.6	8.8	8.0	8.8	9.9	8.8	8.9
Azmut [°]	38	45	53	60	68	75	83	105	113	143	150	160	
Yükseklik [°]	6.1	6.1	5.0	5.0	4.2	4.2	0.4	0.4	0.0	0.0	1.1	1.1	

Güneş yörüngesi (yükseklik/azimut diyagramı)

Yönlendirme #1

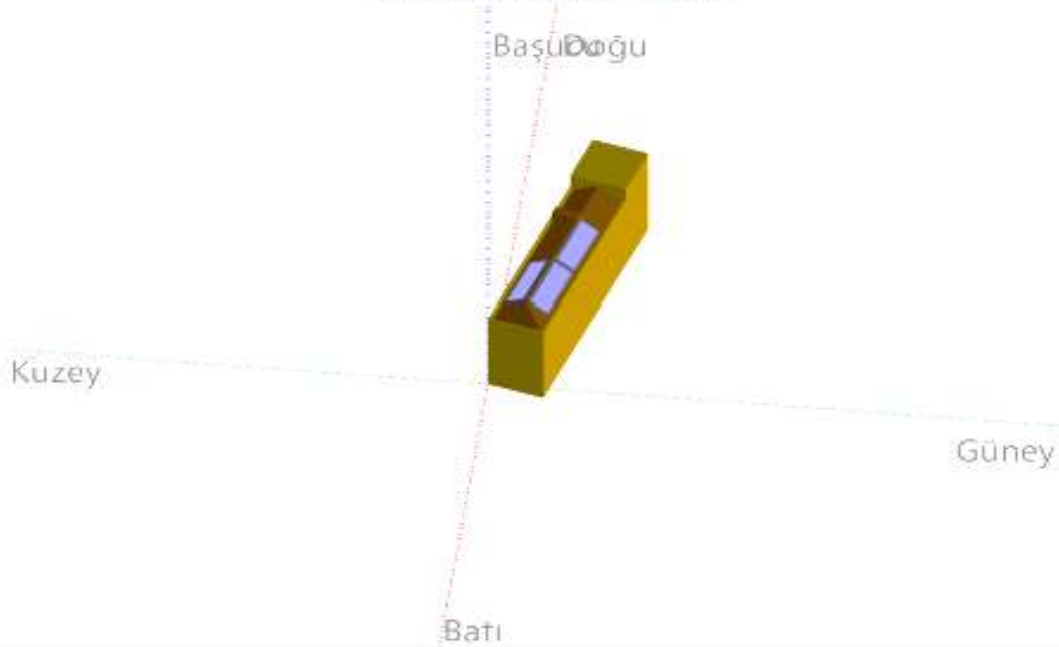


Yönlendirme #2



Yakın gölgemeler için ayarlar

Yakın gölgeleme sahnesinin perspektifi





PVsyst V8.0.7
VC0, Simülasyon tarihi:
08/04/25 20:22
V8.0.7 ile

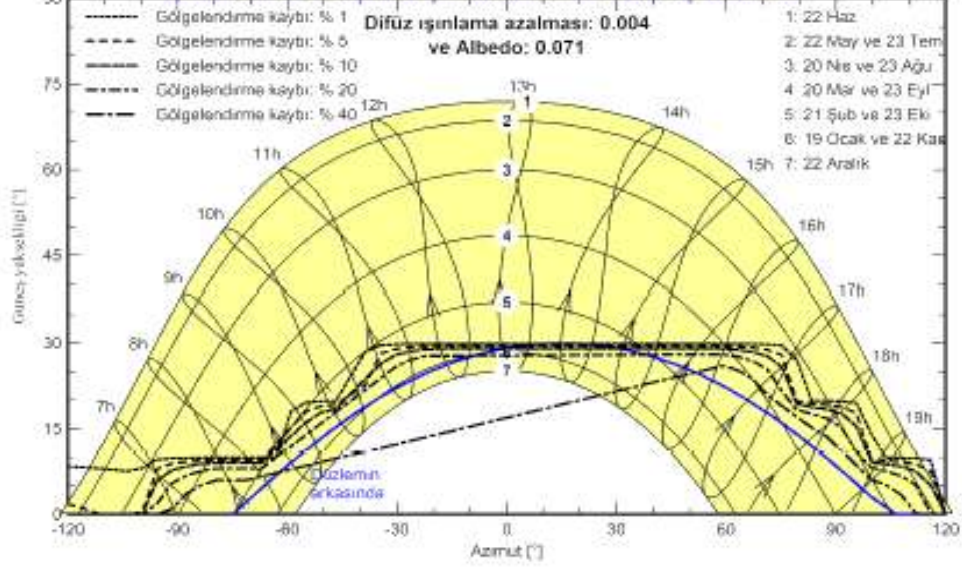
Proje: Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi GES Projesi

Varyant: Yeni simülasyon varyantı

İzo gölgeleme diyagramı

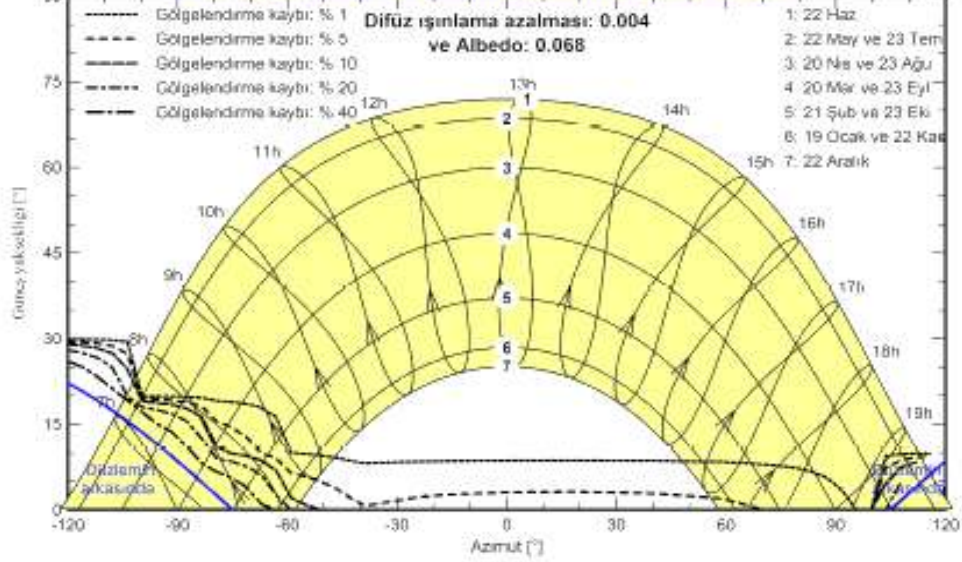
Yönlendirme #1 - Sabit düzlem, Eğim/azimut: 30°/ -165°

Direkt için gölgeleme faktörü (lineer hesaplama) : İzo gölgeleme eğrileri



Yönlendirme #2 - Sabit düzlem, Eğim/azimut: 30°/ 15°

Direkt için gölgeleme faktörü (lineer hesaplama) : İzo gölgeleme eğrileri





Proje: Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi GES Projesi

Varyant: Yeni simülasyon varyantı

PVsyst V8.0.7

VC0, Simülasyon tarihi:

08/04/25 20:22

V8.0.7 ile

Genel sonuçlar

Sistem üretimi

Üretilen enerji

48474 kWh/yıl

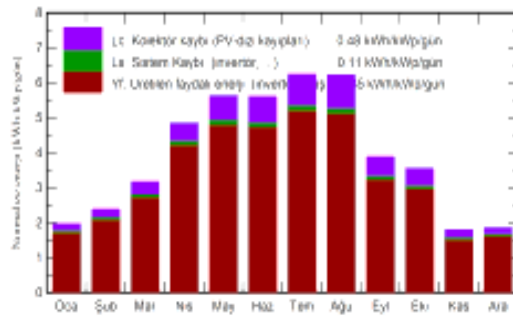
Üretilebilir

1224 kWh/kWp/yıl

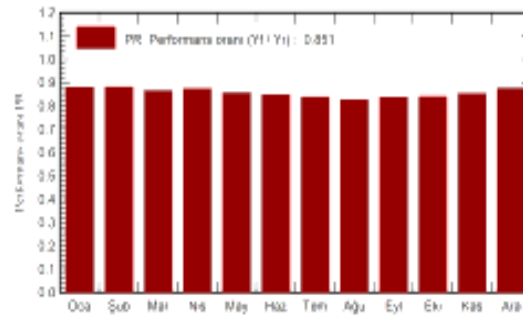
Perf. oranı PR

85.11 %

Normalize üretim (kWp başı)



Performans oranı PR



Bilanço ve genel sonuçlar

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR oran
Ocak	51.4	27.83	6.02	60.9	57.4	2203	2120	0.879
Şubat	62.7	33.38	2.00	68.9	62.7	2419	2338	0.881
Mart	98.4	45.85	8.85	98.2	92.9	3485	3372	0.887
Nisan	149.2	58.06	8.29	145.5	139.3	5182	5033	0.874
Mayıs	184.5	63.71	15.17	174.4	167.7	6089	5914	0.858
Haziran	181.0	74.01	20.55	168.2	162.0	5810	5640	0.847
Temmuz	206.4	67.82	22.00	193.4	186.3	6603	6415	0.838
Ağustos	199.3	64.42	24.62	192.7	185.2	6489	6303	0.826
Eylül	117.3	49.19	18.34	116.5	110.9	3990	3882	0.837
Ekim	102.6	40.72	16.79	110.0	103.9	3778	3659	0.840
Kasım	48.4	26.23	12.44	53.7	50.9	1895	1818	0.853
Aralık	46.3	20.78	7.08	57.7	54.7	2082	2004	0.877
Yıl	1445.5	589.99	13.59	1438.2	1373.8	50025	48474	0.851

Açıklama

GlobHor Global yatay ışınlama

DiffHor Yatay difüz ışınlama

T_Amb Çevre sıcaklığı

GlobInc Kolektöre yansıyan global

GlobEff IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global

EArray Dizinin çıkışında etkin enerji

E_Grid Şebekeye enjekte edilen enerji

PR Performans oranı



Proje: Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi GES Projesi

Varyant: Yeni simülasyon varyantı

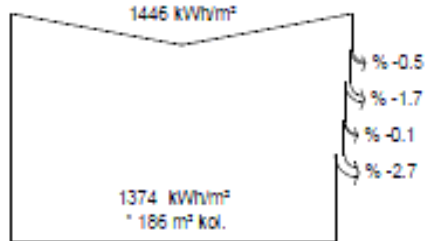
PVsyst V8.0.7

VC0, Simülasyon tarihi:

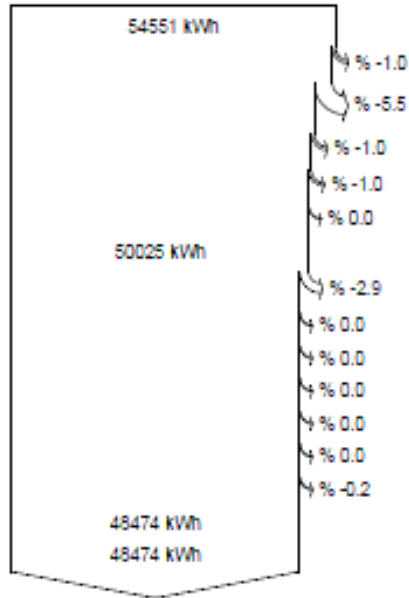
08/04/25 20:22

V8.0.7 ile

Kayıplar diyagramı



STC'de verim = % 21.35



Global yatay ışınlama

Kolektöre yansıyan global

Uzak gölgelermeler / ufuk

Yakın gölgelermeler: ışınlam kaybı

Global'e göre IAM faktörü

Kolektöre isabet eden etkin ışınlama

PV dönüştürme

Nominal dize enerjisi (STC veriminde)

İşinim seviyesi nedeniyle PV kaybı

Sıcaklık nedeniyle PV kaybı

Modül dizi uyumsuzluğu kaybı

Omik kablolama kaybı

Farklı yönler için uyumsuzluk kaybı

MPP'de varsayılan dizi enerjisi

Çalışan İnvertör kaybı (verim)

İnvertör kaybı, aşırı güç

İnvertör kaybı, akım sınırı

İnvertör kaybı, aşırı gerilim

İnvertör kaybı, güç sınırı

İnvertör kaybı, gerilim sınırı

Gece tüketimi

İnvertör çıkışında kullanılabilir enerji

Şebekeye enjekte edilen enerji

EK C: PVsyst Simülasyon Programı - Meteonorm Veri Tabanı Sonuçları

PVsyst V8.0.7

PVsyst - Simülasyon raporu

Şebekeye bağlı sistem

Proje: Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi GES Projesi
Varyant: Yeni simülasyon varyantı
Bina üzerinde
Sistem gücü : 39.6 kWp
Kozlu - Türkiye

Proje özeti				
Coğrafi konum	Konum		Proje ayarları	
Kozlu	Enlem	41.45 °K	Albedo	0.20
Turkey	Boylam	31.76 °E		
	Rakım	78 m		
	Saat dilimi	UTC+3		
Hava durumu verileri				
Kozlu				
Meteonorm 8.2 (2003-2013), Sat=% 100 - Sentetik				

Sistem özeti			
Şebekeye bağlı sistem	Bina üzerinde		
Yönlendirme #1	Yönlendirme #2		Yakın gölgelemeler
Sabit düzlem	Sabit düzlem		Lineer gölgelemeler : Yavaş (simul.)
Eğim/Azimet	Eğim/Azimet	30 / 15 °	
Sistem bilgisi			
PV alanı	İnvertör		
Panel sayısı	Öge sayısı	3 adet	
Toplam nom. güç	Toplam nom. güç	45.0 kWac	
	Nom. güç oranı	0.880	
Kullanıcı ihtiyaçları			
Sınırsız yükleme (şebeke)			

Sonuçların özeti			
Üretilen enerji	47741 kWh/yıl	Üretilebilir	1206 kWh/kWp/yıl
		Perf. oranı PR	85.28 %

İçindekiler	
Proje ve sonuçların özeti	2
Genel parametreler, Kolektör alanının özellikleri, Sistem kayıpları	3
Ufuk tanımlaması	5
Yakın gölgelemelerin tanımlanması - İzo gölgeleme diyagramı	6
Genel sonuçlar	8
Kayıplar diyagramı	9
Ön tanımlı grafikler	10
Tek hat şeması	11



Proje: Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi GES Projesi

Varyant: Yeni simülasyon varyantı

PVsyst V8.0.7
VC0, Simülasyon tarihi:
06/04/25 19:39
V8.0.7 ile

Genel parametreler

Şebekeye bağlı sistem	Bina üzerinde		
Yönlendirme #1			
Sabit düzlem	Dizi ayarları		Boyutlar
Eğim/Azimet	Dizi sayısı	1 Birim	Dizi aralığı
30 / -165 °	Tek masa		Kolektör eni
	Gölgeleme açısı sınırı		ortalama GCR
	Profil açısı sınırı	°	Etkisiz üst şerit
			Etkisiz alt şerit
			0.00 m
			4.58 m
			%
			0.02 m
			0.02 m
Yönlendirme #2			
Sabit düzlem	Dizi ayarları		Boyutlar
Eğim/Azimet	Dizi sayısı	2 birim	Dizi aralığı
30 / 15 °	Masa seti		Kolektör eni
	Gölgeleme açısı sınırı		ortalama GCR
	Profil açısı sınırı	°	Etkisiz üst şerit
			Etkisiz alt şerit
			0.00 m
			4.58 m
			%
			0.02 m
			0.02 m
Kullanılan modeller	Ufuk		Yakın gölgelemeler
Transpozisyon	Ortalama yükseklik	5.0 °	Lineer gölgelemeler : Yavaş (simul.)
Difüz Perez, Meteorom			
Circumsolar			
ayrı			
Kullanıcı ihtiyacıları			
Sınırsız yükleme (şebeke)			

Kolektör alanının özellikleri

PV modül	Generic	İnvertör	Generic
Üretici		Üretici	
Model	SPE550-144M	Model	SUN2000-15KTL-M5-400V
(Kullanıcı tarafından belirlenen parametreler)		(Orijinal PVsyst veritabanı)	
Birim gücü	550 Wp	Birim gücü	15.0 kWac
PV modül sayısı	72 adet	İnvertör sayısı	3 adet
Nominal (STC)	39.6 kWp	Toplam güç	45.0 kWac
Modül	6 zincir x 12 Seri	Çalışma gerilimi	200-1000 V
İşletme şartlarında (50°C)		Maks güç (>55°C)	16.5 kWac
Pmpp	36.2 kWp	Nom. güç oranı (DC:AC)	0.88
U mpp	454 V	İnvertörde güç paylaşımı	
I mpp	80 A		
Total PV gücü		İnvertör toplam gücü	
Nominal (STC)	40 kWp	Toplam güç	45 kWac
Toplam	72 modül	Maks güç	49.5 kWac
Panel yüzeyi	186 m²	İnvertör sayısı	3 adet
Hücre yüzeyi	172 m²	Nom. güç oranı	0.88

Dizi kayıpları

Termal kayıp faktörü	DC kablolama kaybı	Modül kalite kaybı	
İşinima göre modül sıcaklığı	Global alan direnci	Kayıp oranı	0.0 %
Uc (sabit)	95 mΩ		
Uv (rüzgar)	1.5 STC'de%		
20.0 W/m²K			
0.0 W/m²K/m/s			
Modül uyumsuzluk kaybı			
Kayıp oranı			
1.0 MPP'de%			

Dizi kayıpları

IAM kayıp faktörü								
Yansıtma etkisi (IAM): Fresnel, yansıtma önleyici, n(cam)=1.526, n(AR)=1.290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.963	0.892	0.814	0.679	0.438	0.000



Proje: Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi GES Projesi

Varyant: Yeni simülasyon varyantı

PVsyst V8.0.7
VC0, Simülasyon tarihi:
09/04/25 19:39
V8.0.7 ile

Ufuk tanımlaması

Horizon from PVGIS website API, Lat=41°27'5", Long=31°45'40", Alt=78m

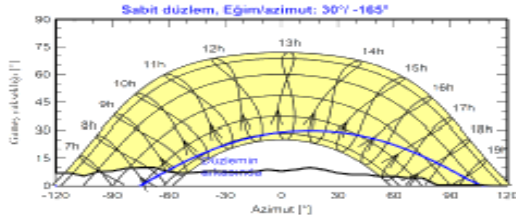
Ortalama yükseklik 5.0 m Albedo faktörü 0.83
Difüz faktörü 0.98 Albedo oranı 100 %

Ufuk profili

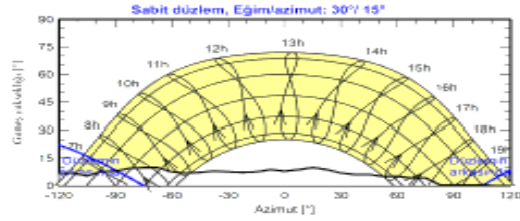
Azmut [°]	-180	-173	-165	-158	-150	-143	-113	-105	-98	-90	-83	-75	-68
Yükseklik [°]	1.1	1.1	1.9	5.0	5.0	6.9	6.9	5.3	7.8	8.0	9.5	9.9	9.9
Azmut [°]	-60	-53	-45	-38	-30	-23	-15	-8	0	8	15	23	30
Yükseklik [°]	7.6	6.9	7.3	8.0	7.6	7.3	7.6	8.8	8.0	8.8	9.9	8.8	6.9
Azmut [°]	38	45	53	60	68	75	83	105	113	143	150	180	
Yükseklik [°]	6.1	6.1	5.0	5.0	4.2	4.2	0.4	0.4	0.0	0.0	1.1	1.1	

Güneş yörüngesi (yükseklik/azmut diyagramı)

Yönlendirme #1



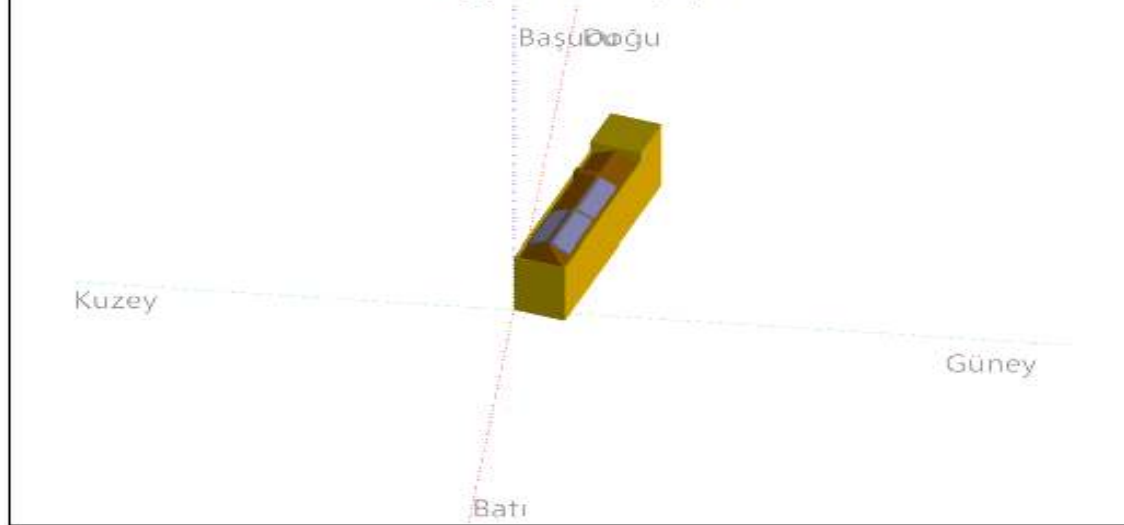
Yönlendirme #2



Yakın gölgelendirme

Yakın gölgelendirmeler için ayarlar

Yakın gölgelendirme sahnesinin perspektifi





PVsyst V8.0.7
VC0, Simülasyon tarihi:
06/04/25 19:39
V8.0.7 ile

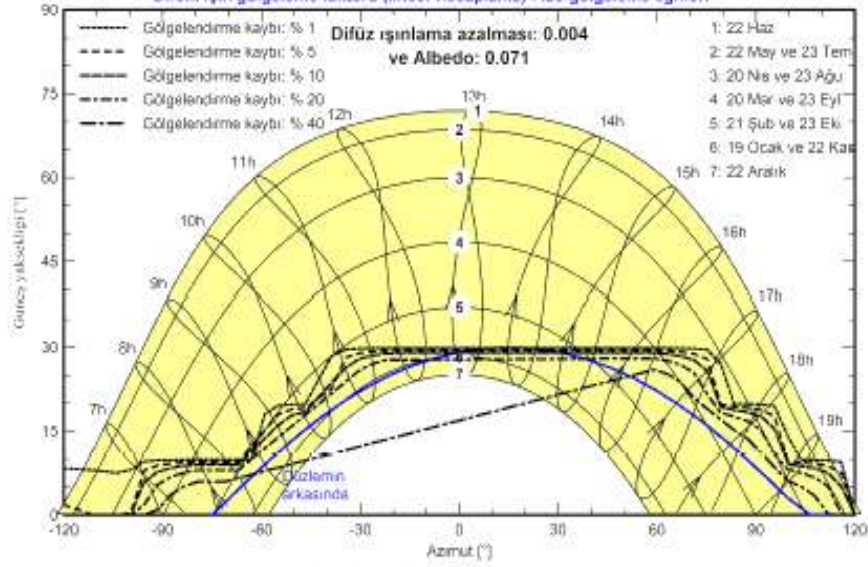
Proje: Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi GES Projesi

Varyant: Yeni simülasyon varyantı

İzo gölgeleme diyagramı

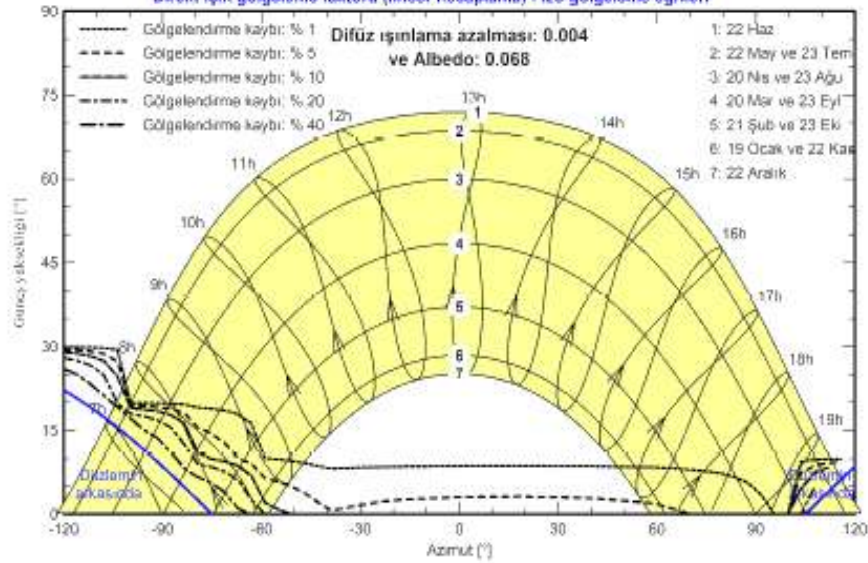
Yönlendirme #1 - Sabit düzlem, Eğim/azimut: 30°/-165°

Direkt için gölgeleme faktörü (lineer hesaplama) : İzo gölgeleme eğrileri



Yönlendirme #2 - Sabit düzlem, Eğim/azimut: 30°/15°

Direkt için gölgeleme faktörü (lineer hesaplama) : İzo gölgeleme eğrileri





Proje: Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi GES Projesi

Varyant: Yeni simülasyon varyantı

PVsyst V8.0.7

VC0, Simülasyon tarihi:

06/04/25 19:39

V8.0.7 ile

Genel sonuçlar

Sistem Üretimi

Üretilen enerji

47741 kWh/yıl

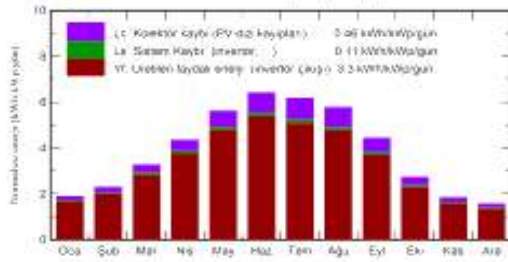
Üretilebilir

Perf. oranı PR

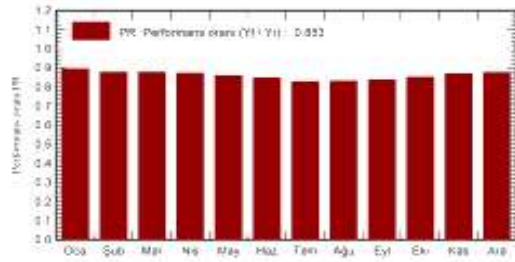
1206 kWh/kWp/yıl

85,26 %

Normalize üretim (kWp başı)



Performans oranı PR



Bilanço ve genel sonuçlar

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR oran
Ocak	49.1	21.50	6.58	58.5	56.2	2153	2073	0.894
Şubat	59.9	32.69	7.03	64.4	60.7	2318	2235	0.877
Mart	100.5	57.71	9.23	101.3	95.7	3632	3518	0.877
Nisan	135.5	75.40	12.04	130.5	123.9	4846	4511	0.873
Mayıs	184.4	83.39	16.56	174.1	168.4	6094	5921	0.859
Haziran	207.3	85.10	20.57	192.3	184.4	6831	6448	0.847
Temmuz	206.0	86.42	23.61	191.8	183.5	6477	6289	0.828
Ağustos	188.0	74.99	24.00	178.9	171.1	6062	5884	0.830
Eylül	132.8	54.52	19.87	133.3	126.5	4558	4419	0.837
Ekim	81.1	49.28	15.76	84.5	79.3	2953	2850	0.852
Kasım	49.9	32.02	12.04	55.2	52.2	1978	1900	0.869
Aralık	41.0	23.91	8.35	48.8	46.2	1785	1693	0.876
Yıl	1433.3	658.93	14.89	1413.7	1346.0	49268	47741	0.853

Açıklama:

GlobHor: Global yatay ışınlama

DiffHor: Yatay difüz ışınlama

T_Amb: Çevre sıcaklığı

GlobInc: Kolektöre yansıyan global

GlobEff: IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global

EArray: Dizinin çıkışında etkin enerji

E_Grid: Şebekeye enjekte edilen enerji

PR: Performans oranı

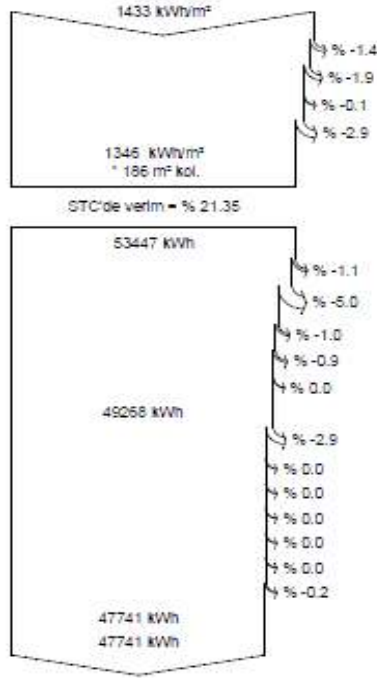


PVsyst V8.0.7
VC0, Simülasyon tarihi:
06/04/25 19:39
V8.0.7 ile

Proje: Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi GES Projesi

Varyant: Yeni simülasyon varyantı

Kayıplar diyagramı



Global yatay ışınlama

Kolektöre yansıyan global

Uzak gölgeleme / ufuk

Yakın gölgelemeler: ışınlam kaybı

Global'e göre IAM faktörü

Kolektöre isabet eden etkin ışınlama

PV dönüştürme

Nominal dize enerjisi (STC veriminde)

İşinim seviyesi nedeniyle PV kaybı

Sıcaklık nedeniyle PV kaybı

Modül dizi uyumsuzluğu kaybı

Omik kablolama kaybı

Farklı yönler için uyumsuzluk kaybı

MPP'de varsayılan dizi enerjisi

Çalışan inverter kaybı (verim)

Inverter kaybı, aşırı güç

Inverter kaybı, akım sınırı

Inverter kaybı, aşırı gerilim

Inverter kaybı, güç sınırı

Inverter kaybı, gerilim sınırı

Gece tüketimi

Inverter çıkışında kullanılabilir enerji

Şebekeye enjekte edilen enerji

EK D: PVsyst Simülasyon Programı- NASE SSE Veri Tabanı Sonuçları



PVsyst V8.0.7

PVsyst - Simülasyon raporu

Şebekeye bağlı sistem

Proje: Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi GES Projesi

Varyant: Yeni simülasyon varyantı

Bina üzerinde

Sistem gücü : 39.6 kWp

Kozlu - Türkiye

Proje özeti			
Coğrafi konum	Konum	Proje ayarları	
Kozlu	Enlem	Albedo	0.20
Türkiye	Boylam		
	Rakım		
	Saat dilimi		
Hava durumu verileri			
Kozlu			
NASA-SSE satelitler data 1983-2005 - Sentetik			

Sistem özeti			
Şebekeye bağlı sistem	Bina üzerinde	Yakın gölgelermeler	
Yönlendirme #1	Yönlendirme #2	Linear gölgelermeler : Yavaş (simul.)	
Sabit düzlem	Sabit düzlem		
Eğim/Azmut	Eğim/Azmut		
Sistem bilgisi			
PV alanı			
Panel sayısı	72 adet	Invertör	3 adet
Toplam nom. güç	39.6 kWp	Öge sayısı	
		Toplam nom. güç	45.0 kWac
		Nom. güç oranı	0.880
Kullanıcı ihtiyaçları			
Sınırsız yükleme (şebeke)			

Sonuçların özeti			
Üretilen enerji	52204 kWh/yıl	Üretilebilir	1318 kWh/kWp/yıl
		Perf. oranı PR	85.91 %

İçindekiler	
Proje ve sonuçların özeti	2
Genel parametreler, Kolektör alanının özellikleri, Sistem kayıpları	3
Ufuk tanımlaması	5
Yakın gölgelermelerin tanımlanması - İzo gölgeleme diyagramı	6
Genel sonuçlar	8
Kayıplar diyagramı	9
Ön tanımlı grafikler	10
Tek hat şeması	11



PVsyst V8.0.7
VC0, Simülasyon tarihi:
06/04/25 19:37
V8.0.7 ile

Proje: Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi GES Projesi

Varyant: Yeni simülasyon varyantı

Genel parametreler

Şebekeye bağlı sistem		Bina üzerinde	
Yönlendirme #1			
Sabit düzlem		Dizi ayarları	1 Birim
Eğim/Azımut	30 / -165 °	Dizi sayısı	
		Tek masa	
		Gölgeleme açısı sınırı	
		Profil açısı sınırı	°
Yönlendirme #2			
Sabit düzlem		Dizi ayarları	2 birim
Eğim/Azımut	30 / 15 °	Dizi sayısı	
		Masa seti	
		Gölgeleme açısı sınırı	
		Profil açısı sınırı	°
Kullanılan modeller			
Transpozisyon	Perez	Ufuk	
Difüz	Perez, Meteorom	Ortalama yükseklik	5.0 °
Circumsolar	ayrı		
Kullanıcı ihtiyaçları			
Sınırsız yükleme (şebeke)			

Kolektör alanının özellikleri

PV modül		İnvertör	
Üretici	Generic	Üretici	Generic
Model	SPE550-144M	Model	SUN2000-15KTL-MS-400V
(Kullanıcı tarafından belirlenen parametreler)		(Orijinal PVsyst veritabanı)	
Birim gücü	550 Wp	Birim gücü	15.0 kWac
PV modül sayısı	72 adet	İnvertör sayısı	3 adet
Nominal (STC)	39.6 kWp	Toplam güç	45.0 kWac
Modül	6 zincir x 12 Seri	Çalışma gerilimi	200-1000 V
İşletme şartlarında (50°C)		Maks güç (≥55°C)	16.5 kWac
Pmpp	36.2 kWp	Nom. güç oranı (DC:AC)	0.88
U mpp	454 V	İnvertörde güç paylaşımı	
I mpp	80 A		
Total PV gücü		İnvertör toplam gücü	
Nominal (STC)	40 kWp	Toplam güç	45 kWac
Toplam	72 modül	Maks güç	49.5 kWac
Panel yüzeyi	186 m²	İnvertör sayısı	3 adet
Hücre yüzeyi	172 m²	Nom. güç oranı	0.88

Dizi kayıpları

Termal kayıp faktörü		DC kablolama kaybı		Modül kalite kaybı	
Isınma göre modül sıcaklığı		Global alan direnci	95 mΩ	Kayıp oranı	0.0 %
Uc (sabit)	20.0 W/m²K	Kayıp oranı	1.5 STC'de%		
Uv (rüzgar)	0.0 W/m²K/m/s				
Modül uyumsuzluk kaybı					
Kayıp oranı	1.0 MPP'de%				

Dizi kayıpları

IAM kayıp faktörü	
Yansıtma etkisi (IAM): Fresnel, yansıtma önleyici, n(cam)=1.526, n(AR)=1.290	
0°	1.000
30°	0.999
50°	0.987
60°	0.963
70°	0.892
75°	0.814
80°	0.679
85°	0.438
90°	0.000



PVsyst V8.0.7
VC0, Simülasyon tarihi:
06/04/25 19:37
V8.0.7 ile

Proje: Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi GES Projesi
Varyant: Yeni simülasyon varyantı

Ufuk tanımlaması

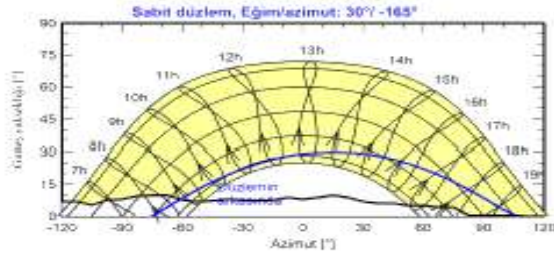
Horizon from PVGIS website API, Lat=41°27'5", Long=31°45'40", Alt=78m

Ortalama yükseklik 5.0 °
Albedo faktörü 0.83
Diffüz faktörü 0.98 Albedo oranı 100 %

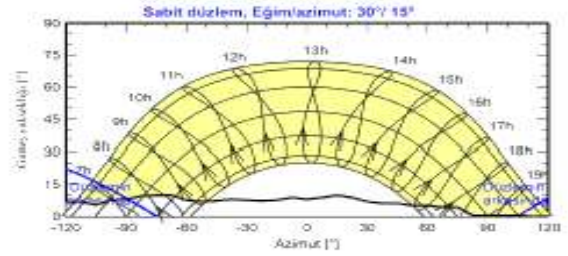
Ufuk profili

Azmut [°]	-180	-173	-165	-158	-150	-143	-113	-105	-98	-90	-83	-75	-68
Yükseklik [°]	1.1	1.1	1.9	5.0	5.0	8.9	8.9	5.3	7.6	8.0	9.5	9.9	9.9
Azmut [°]	-60	-53	-45	-38	-30	-23	-15	-8	0	8	15	23	30
Yükseklik [°]	7.6	6.9	7.3	8.0	7.6	7.3	7.6	8.8	8.0	8.8	9.9	8.8	6.9
Azmut [°]	-38	-45	-53	-60	-68	-75	-83	-105	-113	-143	-150	-160	
Yükseklik [°]	8.1	6.1	5.0	5.0	4.2	4.2	0.4	0.4	0.0	0.0	1.1	1.1	

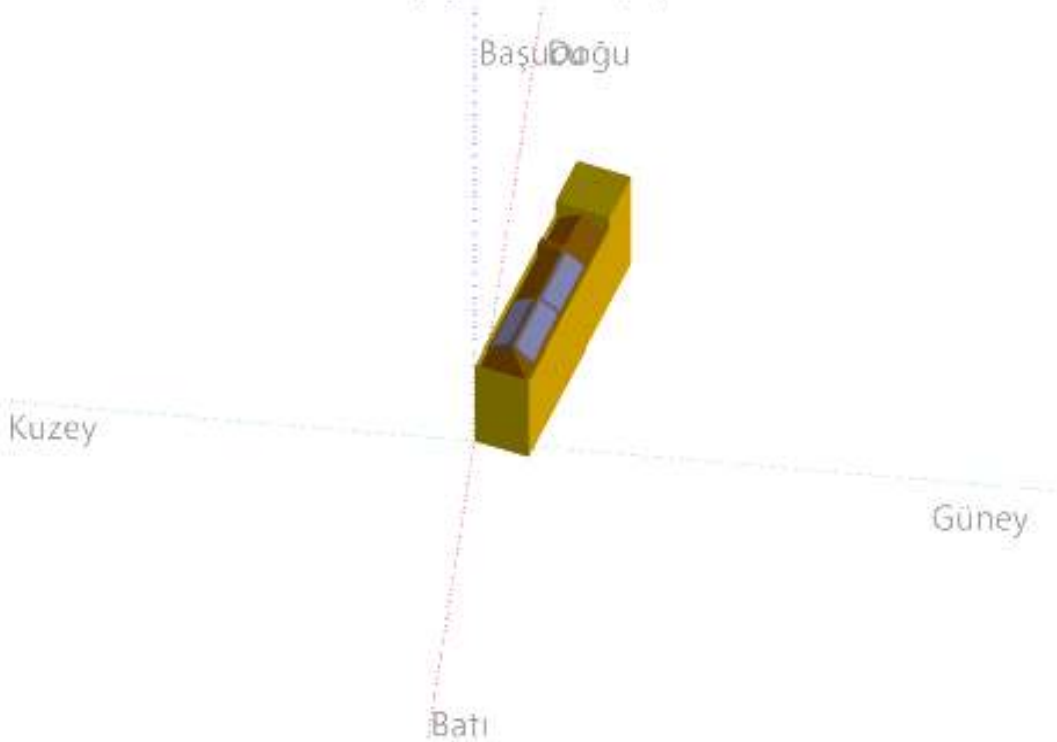
Güneş yörüngesi (yükseklik/azimut diyagramı)
Yönlendirme #1



Yönlendirme #2



Yakın gölgelemeler için ayarlar
Yakın gölgeleme sahnesinin perspektifi





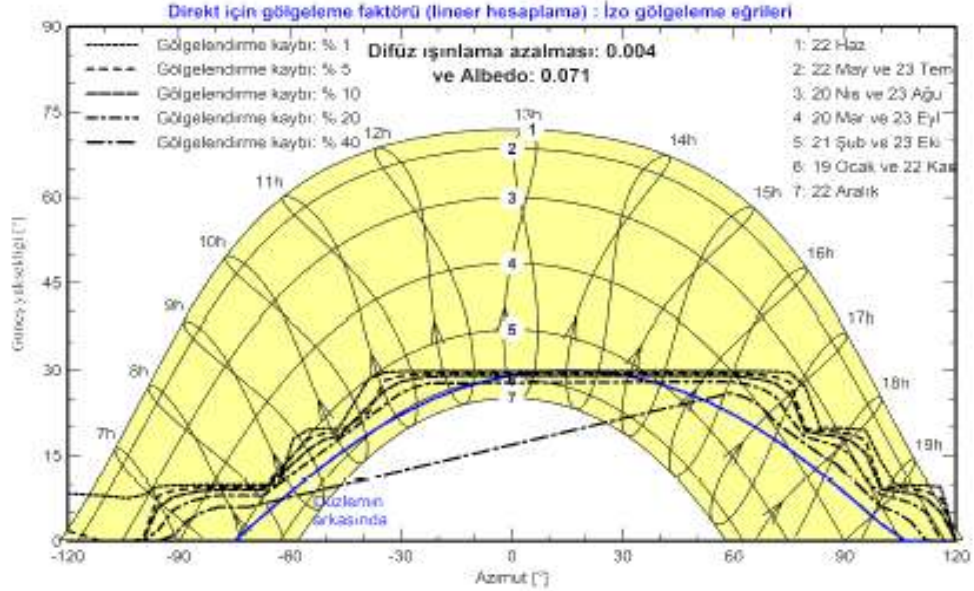
PVsyst V8.0.7
VC0, Simülasyon tarihi:
06/04/25 19:37
V8.0.7 ile

Proje: Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi GES Projesi

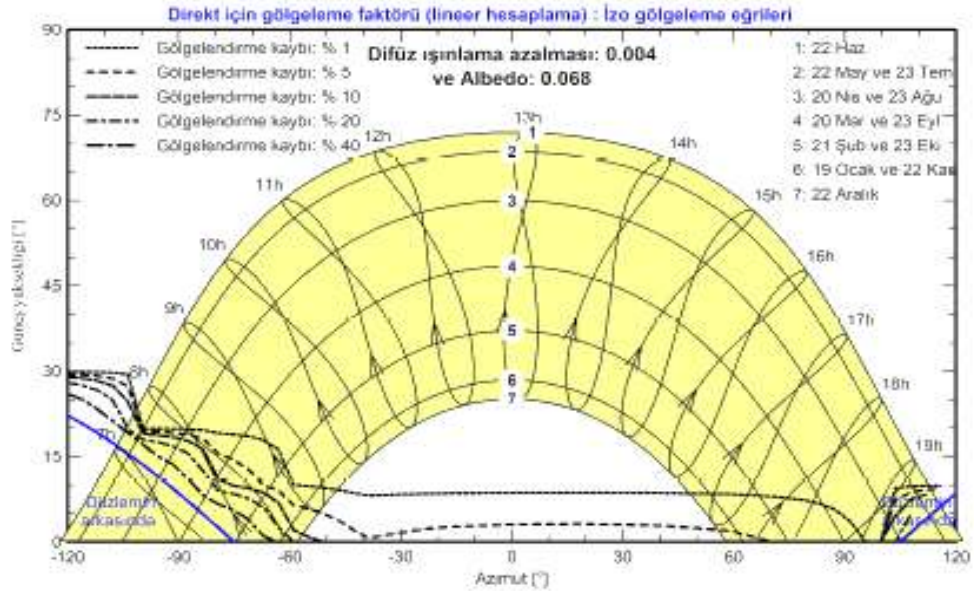
Varyant: Yeni simülasyon varyantı

İzo gölgeleme diyagramı

Yönlendirme #1 - Sabit düzlem, Eğim/azimut: 30°/ -165°



Yönlendirme #2 - Sabit düzlem, Eğim/azimut: 30°/ 15°





Proje: Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi GES Projesi

Varyant: Yeni simülasyon varyantı

PVsyst V8.0.7

VC0, Simülasyon tarihi:

08/04/25 19:37

V8.0.7 ile

Genel sonuçlar

Sistem Üretimi

Üretilen enerji

52204 kWh/yıl

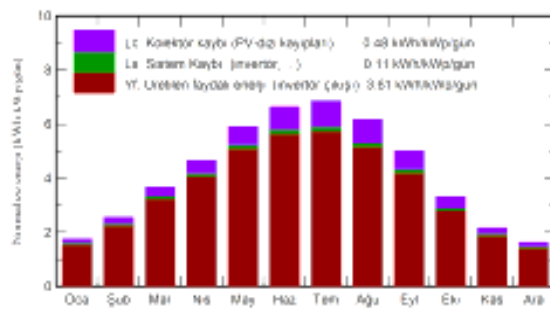
Üretilebilir

1318 kWh/kWp/yıl

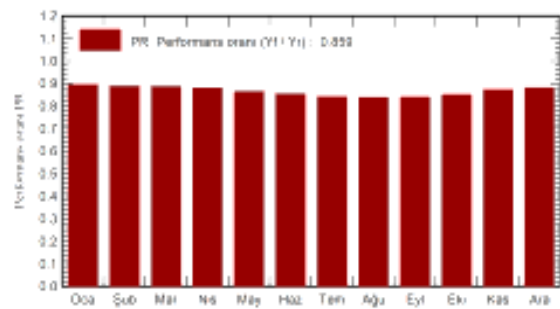
Perf. oranı PR

85.91 %

Normalize üretim (kWp başı)



Performans oranı PR



Bilanço ve genel sonuçlar

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR oranı
Ocak	47.1	23.56	5.04	54.5	52.1	2006	1929	0.894
Şubat	65.0	29.68	4.49	71.5	67.4	2602	2515	0.888
Mart	110.4	45.88	6.28	113.9	107.7	4122	4000	0.887
Nisan	142.2	57.60	10.57	139.2	132.7	4991	4848	0.879
Mayıs	194.4	85.41	14.75	183.2	175.4	6452	6273	0.885
Haziran	214.5	82.70	18.69	199.1	191.3	6918	6729	0.853
Temmuz	227.2	57.97	21.52	212.8	204.3	7281	7079	0.840
Ağustos	198.4	51.20	21.82	191.4	183.4	6533	6347	0.838
Eylül	148.5	41.40	19.04	150.7	143.3	5161	5011	0.840
Ekim	94.9	35.65	15.19	102.7	96.8	3576	3480	0.850
Kasım	55.5	24.90	10.40	65.2	61.8	2338	2254	0.873
Aralık	40.9	20.46	6.55	50.4	47.8	1834	1780	0.881
Yıl	1538.9	516.40	12.91	1534.5	1464.0	53814	52204	0.859

Açıklama

GlobHor Global yatay ışınlama

DiffHor Yatay difüz ışınlama

T_Amb Çevre sıcaklığı

GlobInc Kolektöre yansıyan global

GlobEff IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global

EArray Dizinin çıkışında etkin enerji

E_Grid Şebekaya enjekte edilen enerji

PR Performans oranı



Proje: Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi GES Projesi

Varyant: Yeni simülasyon varyantı

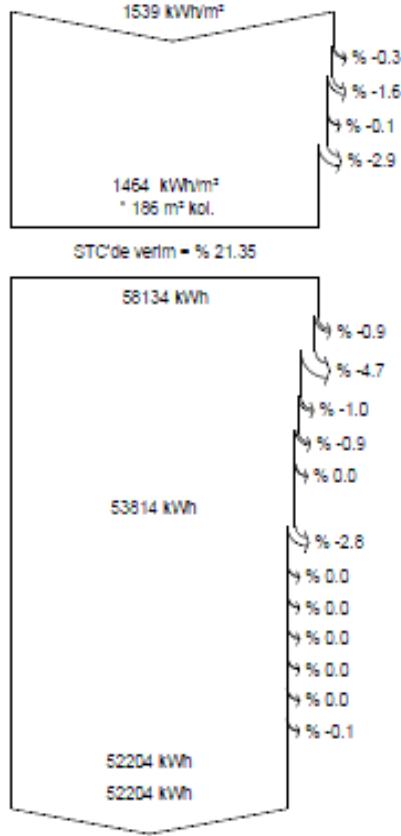
PVsyst V8.0.7

VC0, Simülasyon tarihi:

08/04/25 19:37

V8.0.7 ile

Kayıplar diyagramı



Global yatay ışınlama

Kolektöre yansıyan global

Uzak gölgelermeler / ufuk

Yakın gölgelermeler: ışınlam kaybı

Global'e göre IAM faktörü

Kolektöre isabet eden etkin ışınlama

PV dönüştürme

Nominal düzeye enerjisi (STC veriminde)

Işınlam seviyesi nedeniyle PV kaybı

Sıcaklık nedeniyle PV kaybı

Modül dizi uyumsuzluğu kaybı

Omik kablolama kaybı

Farklı yönler için uyumsuzluk kaybı

MPP'de varsayılan düzeye enerjisi

Çalışan İnvertör kaybı (verim)

İnvertör kaybı, aşırı güç

İnvertör kaybı, akım sınırı

İnvertör kaybı, aşırı gerilim

İnvertör kaybı, güç sınırı

İnvertör kaybı, gerilim sınırı

Gece tüketimi

İnvertör çıkışında kullanılabilir enerji

Şebekeye enjekte edilen enerji

EK E: PVGIS Simülasyon Program Sonuçları



PVGIS estimates of solar electricity generation :

Provided inputs:

Latitude/Longitude: 41.452 , 31.761

Horizon: Calculated

Database used: PVGIS-SARAH2

PV technology: Crystalline silicon

PV installed: 26.4 kWp

System loss: 14 %

Simulation outputs:

Slope angle:

Azimuth angle:

Yearly PV energy production:

Yearly in-plane irradiation:

Year-to-year variability:

Changes in output due to:

Angle of incidence:

Spectral effects:

Temperature and low irradiance:

Total loss:

30 °

15 °

33180.27 kWh

1658.28 kWh/m²

1125.8 kWh

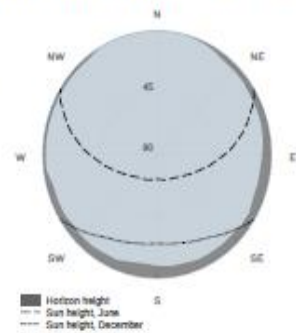
-2.75 %

0.93 %

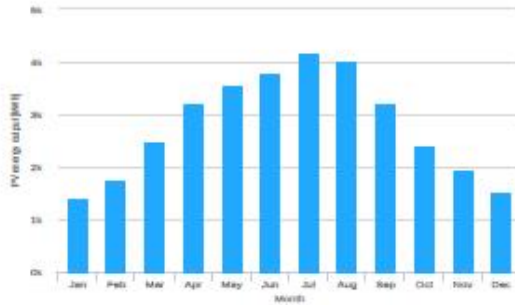
-10.21 %

-24.21 %

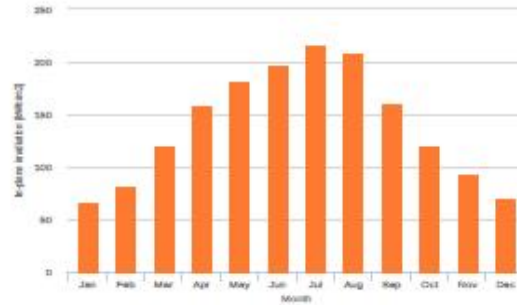
Outline of horizon at chosen location:



Monthly energy output from fix-angle PV system:



Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:



Monthly PV energy and solar irradiation:

Month	E_m	H(i)_m	SD_m
January	1378.94	64.2	277.26
February	1703.91	80.57	317.56
March	2479.51	119.52	261.49
April	3194.4	157.86	371.33
May	3542.12	179.86	319.57
June	3778.15	195.02	299.33
July	4144.07	214.43	142.25
August	3994.64	206.85	244.94
September	3164.67	160.2	329.29
October	2390.99	118.25	299.32
November	1923.31	92.06	314.81
December	1485.56	69.45	257.77

E_m: Average monthly electricity production from the defined system [kWh].

H(i)_m: Average monthly sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system [kWh/m²].

SD_m: Standard deviation of the monthly electricity production due to year-to-year variation [kWh].



Performance of grid-connected PV

PVGIS estimates of solar electricity generation :

Provided inputs:

Latitude/Longitude: 41.452 , 31.761

Horizon: Calculated

Database used: PVGIS-SARAH2

PV technology: Crystalline silicon

PV installed: 13.2 kWp

System loss: 14 %

Simulation outputs:

Slope angle:

Azimuth angle:

Yearly PV energy production:

Yearly in-plane irradiation:

Year-to-year variability:

Changes in output due to:

Angle of incidence:

Spectral effects:

Temperature and low irradiance:

Total loss:

30 °

-165 °

10290.98 kWh

1051.94 kWh/m²

267.63 kWh

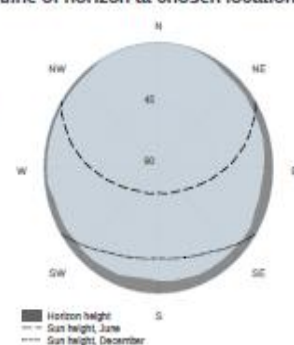
-5.79 %

0.66 %

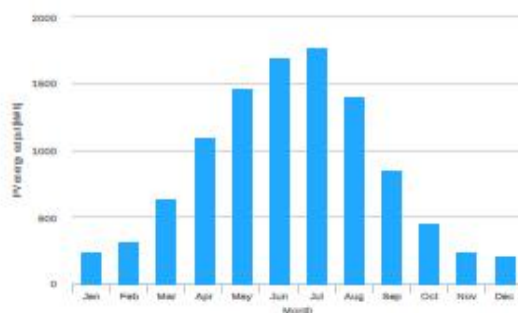
-9.13 %

-25.89 %

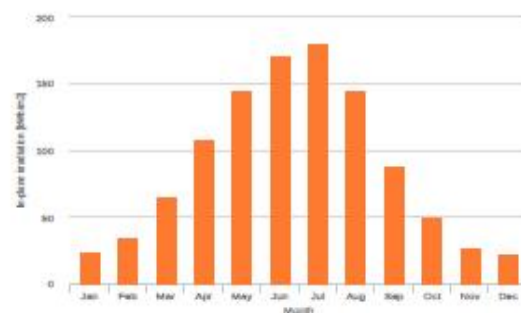
Outline of horizon at chosen location:



Monthly energy output from fix-angle PV system:



Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:



Monthly PV energy and solar irradiation:

Month	E_m	H(i)_m	SD_m
January	228.51	23.61	21.2
February	311.93	33.14	26.08
March	639.19	64.59	36.59
April	1086.72	107.29	91.42
May	1455.4	145.3	113.12
June	1692.21	171.09	132.09
July	1763.24	179.18	52.47
August	1401.02	144.38	68.7
September	839.65	87.86	46.78
October	439.86	48.63	31.23
November	229.29	25.52	11.17
December	203.97	21.34	12.56

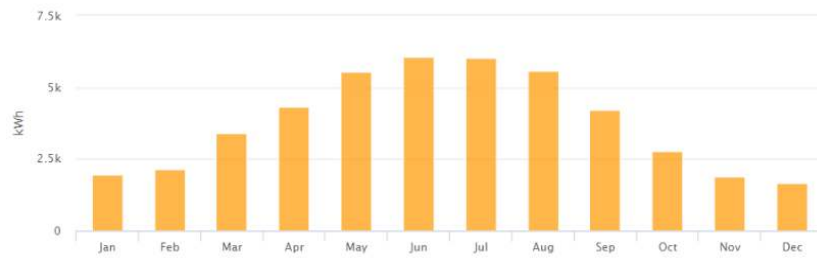
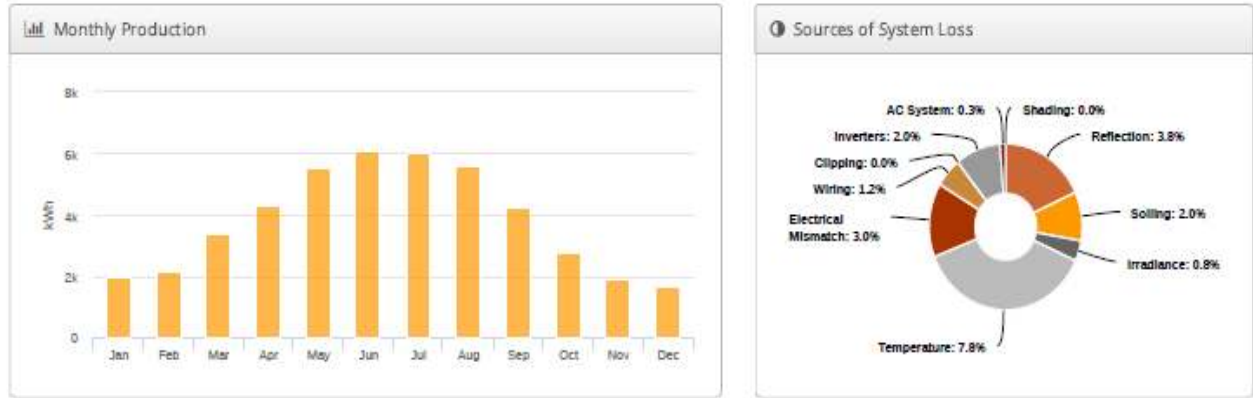
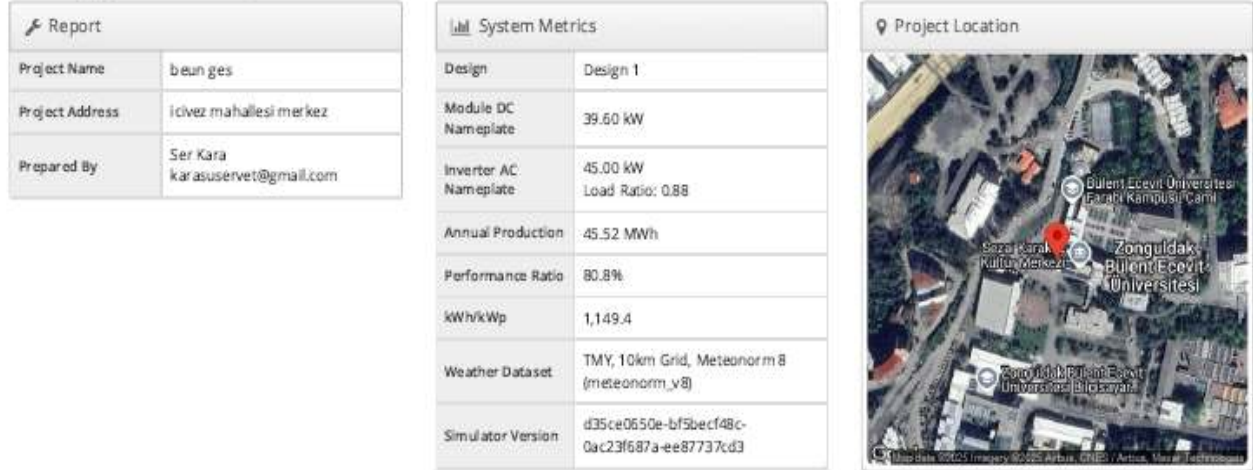
E_m: Average monthly electricity production from the defined system [kWh].

H(i)_m: Average monthly sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system [kWh/m²].

SD_m: Standard deviation of the monthly electricity production due to year-to-year variation [kWh].

EK F: HelioScope Simülasyon Program Sonuçları

Design 1 beun ges, icivez mahallesi merkez



[Hide table](#)

Month	GHI (kWh/m ²)	POA (kWh/m ²)	Shaded (kWh/m ²)	Nameplate (kW)	Grid (kWh)
January	48.4	57.9	57.9	2,179.1	1,945.8
February	59.7	63.8	63.8	2,376.2	2,137.2
March	100.4	102.1	102.1	3,809.4	3,382.8
April	135.1	131.8	131.8	4,925.6	4,311.5
May	184.6	173.9	173.9	6,510.8	5,538.3
June	207.3	193.7	193.7	7,248.1	6,073.3
July	206.0	193.6	193.6	7,245.5	6,012.6
August	186.0	179.7	179.7	6,720.2	5,575.1
September	132.4	133.8	133.8	4,984.6	4,215.0
October	80.3	85.0	85.0	3,168.0	2,754.1
November	49.6	57.1	57.1	2,139.5	1,900.3
December	40.9	49.6	49.6	1,867.5	1,671.8

Annual Production			
	Description	Output	% Delta
Irradiance (kWh/m ²)	Annual Global Horizontal Irradiance	1,430.8	
	POA Irradiance	1,422.0	-0.6%
	Shaded Irradiance	1,422.0	0.0%
	Irradiance after Reflection	1,367.8	-3.8%
	Irradiance after Soiling	1,340.4	-2.0%
	Total Collector Irradiance	1,340.3	0.0%
Energy (kWh)	Nameplate	53,174.4	
	Output at Irradiance Levels	52,730.0	-0.8%
	Output at Cell Temperature Derate	48,598.2	-7.8%
	Output after Electrical Mismatch	47,128.0	-3.0%
	Optimal DC Output	46,564.3	-1.2%
	Constrained DC Output	46,563.8	0.0%
	Inverter Output	45,632.5	-2.0%
	Energy to Grid	45,518.0	-0.3%
Temperature Metrics			
	Avg. Operating Ambient Temp	16.6 °C	
	Avg. Operating Cell Temp	31.7 °C	
Simulation Metrics			
	Operating Hours	4666	
	Solved Hours	4666	

Condition Set												
Description	Condition Set 1											
Weather Dataset	TMY, 10km Grid, Meteonorm 8 (meteonorm_v8)											
Solar Angle Location	Meteo Lat/Lng											
Transposition Model	Perez Model											
Temperature Model	Sandia Model											
Temperature Model Parameters	Rack Type		a		b		Temperature Delta					
	Fixed Tilt		-3.56		-0.075		3°C					
	Flush Mount		-2.81		-0.0455		0°C					
	East-West		-3.56		-0.075		3°C					
	Carport		-3.56		-0.075		3°C					
Soiling (%)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Albedo	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Rear Mismatch Loss	10%				Rear Shading Factor				5%			
Module Transparency	0%											
Irradiation Variance	5%											
Cell Temperature Spread	4° C											
Module Binning Range	-2.5% to 2.5%											
AC System Derate	0.50%											
Module & Component Characterizations	Type	Component					Characterization					Bifacial
	Module	SPE 550 (Schmid Pekintas Energy)					Spec Sheet Characterization, PAN					False
	Inverter	SUN2000-15K-M80 (Huawei)										N/A

Components		
Component	Name	Count
Inverters	SUN2000-15K-M80 (Huawei)	3 (45.00 kW)
AC Home Runs	1/0 AWG (Aluminum)	3 (465.7 m)
Home Runs	12 AWG (Copper)	6 (192.4 m)
Combiners	1 input Combiner	3
Combiners	2 input Combiner	3
Strings	10 AWG (Copper)	6 (88.8 m)
Module	Schmid Pekintas Energy, SPE 550 (550W)	72 (39.60 kW)

Wiring Zones			
Description	Combiner Poles	String Size	Stringing Strategy
Wiring Zone	12	5-20	Along Racking

Field Segments									
Description	Racking	Orientation	Tilt	Azimuth	Intrarow Spacing	Frame Size	Frames	Modules	Power
1	Flush Mount	Portrait (Vertical)	30°	194.92688°	0.0 m	1x1	48	48	26.40 kW
2	Flush Mount	Portrait (Vertical)	30°	14.541547°	0.0 m	1x1	24	24	13.20 kW



ÖZGEÇMİŞ

Mustafa AKER, lise öğrenimini Samsun Atatürk Sağlık Meslek Lisesi'nde tamamladı. 2005 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Anestezi Programı'ndan mezun olarak Anestezi Teknikeri ünvanıyla mezun oldu, 2017 yılında Atatürk Üniversitesi Açık öğretim Fakültesi Sosyal Hizmet Bölümü'nden mezun olarak Sosyal Hizmet Uzmanı, 2019 yılında Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Meslek Yüksekokulu İnşaat Teknolojisi Programı'ndan mezun olarak İnşaat Teknikeri ünvanını, 2022 yılında Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde eğitimini tamamlayarak İnşaat Mühendisi unvanıyla mezun oldu. 2005 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Sağlık Uygulama Ve Araştırma Merkezi'nde Anestezi Teknikeri olarak çalışma hayatına başladı. 2008-2009 yılları arasında Ankara'da askerlik görevini yerine getirdi. 2009 yılında Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi o dönemdeki adıyla Karaelmas Üniversitesi Hastanesinde Anestezi Teknikeri olarak çalışmaya devam etti. 2010 yılında evlenmiş olup 2 çocuğu bulunmaktadır. Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 2022 yılı itibariyle yüksek lisans eğitimine yeniden devam etmektedir. 2023 yılı itibariyle Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı'nda İnşaat Mühendisi olarak çalışma hayatına devam etmektedir.