

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**1,17 MWp'LİK BİR FOTOVOLTAİK GÜÇ SANTRALİNİN DENEYSSEL VE
SİMÜLASYONA DAYALI ENERJİ PERFORMANS ANALİZİ**

SİNAN KADİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Üyesi Tuğrul AKYOL (Tez Danışmanı)**
Prof. Dr. Orhan ZEYBEK
Dr. Öğr. Üyesi Ali ÇETİN

BALIKESİR, HAZİRAN - 2024

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**1,17 MWp’lik Bir Fotovoltaik Güç Santralinin Deneysel ve Simülasyona Dayalı Enerji Performans Analizi**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Sinan KADİR

ÖZET

**1,17 MWp'LİK BİR FOTOVOLTAİK GÜÇ SANTRALİNİN DENEYSEL VE
SİMÜLASYONA DAYALI ENERJİ PERFORMANS ANALİZİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
SİNAN KADİR
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ TUĞRUL AKYOL)
BALIKESİR, HAZİRAN - 2024**

Bu çalışmada, Balıkesir ili Bigadiç ilçesinde yer alan 1.171,8 kWp gücündeki Bigadiç Güneş Enerji Santralinin (GES), gerçek saha verilerine dayalı, enerji performans değerlendirmesi yapılmıştır. Değerlendirmede, IEC 61724 Fotovoltaik Sistem Performansı Standardında açıklanan parametreler kullanılmıştır. Bu parametreler arasında enerji çıkışı, dizi verimi, nihai verim, referans verimi, fotovoltaik (FV) modül verimliliği, invertör verimliliği, sistem verimliliği, dizi yakalama kaybı ve sistem kaybindan oluşan enerji kaybı, performans oranı ve kapasite faktörü yer almaktadır. Yapılan deneysel çalışmanın doğrulanabilmesi için mevcut FV santral bilgileri kullanılarak, santralin PVsyst (Photovoltaic Systems Software) programı üzerinde modeli oluşturulmuştur. Bu model sayesinde ayrıca, hareketsiz ve sabit eğimli FV panellerden oluşan santralde, çeşitli FV panel yönlendirme ve güneş takip uygulamalarının, santral performans parametreleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma sonunda PVsyst simülasyonu sonucu elde edilen birçok parametrenin, deneysel sonuçlarla büyük bir uyum sergilediği görülmüştür. Santralde DC ve AC tarafında üretilen aylık ve yıllık gerçek elektrik üretim değerleriyle, santralin aylık ve yıllık ortalama kapasite faktörü değerlerinin, PVsyst simülasyonu sonucu elde edilen değerlerle büyük oranda benzerlik gösterdiği ortaya koyulmuştur. Simülasyonun, yıllık DC elektrik üretimini %2,8, AC elektrik üretimini ise %2,3 hatayla tahmin ettiği bulunmuştur. Santral için PVsyst programında yapılan varyant çalışmaları neticesinde, mevcut durumda yer alan hareketsiz ve sabit eğimli FV paneller yerine farklı panel yönlendirilmelerinin, panellere düşen düzlem içi ışınım değerlerini önemli ölçüde artıracığı görülmüştür. Simülasyon, bu artışla birlikte, santralin yıllık elektrik üretiminde de önemli yükselmelerin olacağını ortaya koymuştur. Buna göre, mevcut sabit eğimli hareketsiz FV panel sistemi yerine, güneşi çift eksende takip edebilecek FV panel sisteminin, yıllık elektrik üretim değerini %36 oranında artırabileceği görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELER: Şebekeye bağlı fotovoltaik sistem, performans analizi, PVsyst simülasyonu, güneş takip sistemi.

ABSTRACT

EXPERIMENTAL AND SIMULATION-BASED ENERGY PERFORMANCE ANALYSIS OF A 1.17 MWp PHOTOVOLTAIC POWER PLANT

MSC THESIS

SİNAN KADİR

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

MECHANICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: DR. LECTURER TUĞRUL AKYOL)

BALIKESİR, JUNE - 2024

In this study, an energy performance evaluation of the 1,171.8 kWp Bigadiç Solar Power Plant (SPP) located in Bigadiç district of Balıkesir province has been carried out based on real field data. In the evaluation, the parameters described in IEC 61724 Photovoltaic System Performance Standard were used. These parameters include energy output, array efficiency, final efficiency, reference efficiency, photovoltaic (PV) module efficiency, inverter efficiency, system efficiency, energy loss from array capture loss and system loss, performance ratio and capacity factor. In order to verify the experimental study, a model of the plant was created on PVsyst (Photovoltaic Systems Software) by using the existing PV plant information. Thanks to this model, the effects of various PV panel orientation and solar tracking applications on the power plant performance parameters in the power plant consisting of stationary and fixed tilt PV panels were examined. At the end of the study, it was observed that many parameters obtained as a result of PVsyst simulation were in great agreement with the experimental results. It has been revealed that the monthly and annual actual electricity generation values on the DC and AC side of the power plant and the monthly and annual average capacity factor values of the power plant are very similar to the values obtained as a result of PVsyst simulation. It was found that the simulation predicted the annual DC electricity generation with an error of %2.8 and AC electricity generation with an error of %2.3. As a result of the variant studies performed in the PVsyst programme for the power plant, it was observed that different panel orientations instead of the existing stationary and fixed inclined PV panels would significantly increase the in-plane radiation values falling on the panels. The simulation revealed that with this increase, the annual electricity production of the power plant will also increase significantly. Accordingly, it is seen that the PV panel system that can follow the sun on double axis instead of the existing fixed tilt immobile PV panel system can increase the annual electricity production value by %36.

KEYWORDS: Grid connected photovoltaic system, performance analysis, PVsyst simulation, solar tracking system.

Science Code / Codes : 91408, 91441

Page Number : 52

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ	viii
KISALTMALAR	viii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
1. GİRİŞ	1
1.1 FV Sistem	1
1.2 Tezin Amacı	8
2. GÜNEŞ PANELLERİ	9
2.1 Sabit Güneş Panelleri	9
2.2 Sabit ve Taşınabilir Güneş Panellerinin Benzerlikleri	9
2.3 FV Sistemlerin Çalışma Prensibi	10
2.4 FV Sistemlerin Parçaları	10
2.4.1 Güneş Paneli	11
2.4.2 İnvertör	11
2.4.3 Raf	12
2.4.4 Diğer Bileşenler	12
2.5 FV Sistemlerin Verimini Etkileyen Faktörler	13
2.5.1 Sıcaklık	13
2.5.2 Kirlenme	14
2.5.3 Gölgeleme	15
2.5.4 Uyuşmazlık	15
2.5.5 İnvertör Verimi	15
2.5.6 Kullanım Süresi	15
2.5.7 Yansıma	15
2.5.8 Dalga Boyu	16
2.5.9 Güneşi Takip Eden Paneller	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM	18
3.1 Bigadiç Enerji Santralinin Tanıtımı	18
3.2 Şebekeye Bağlı FV Sistemlerin Performans Analizi	19
3.2.1 Şebekeye Bağlı FV Sistemi İçin Performans Göstergeleri	19
3.2.2 FV Dizisi Sistemi Tarafından Üretilen Enerji (E_{dc})	20
3.2.3 Enerji Çıkışı Veya Şebekeye Beslenen Enerji (E_{ac})	20
3.2.4 Dizi Verimi (Y_a)	20
3.2.5 Nihai Verim (Y_f)	21
3.2.6 Referans Verimi (Y_r)	21
3.2.7 FV Modül Verimliliği Veya Enerji Verimliliği (η_{pv})	22
3.2.8 İnvertör Verimliliği (η_{inv})	22

3.2.9 Sistem Verimliliği (η_{pvsys})	23
3.2.10 Performans Oranı (PR)	23
3.2.11 Kapasite Faktörü (CF)	24
3.3. Enerji Kaybı (η_{pvsys})	24
3.3.1 Dizi Yakalama Kaybı (L_c)	25
3.3.2 Sistem Kaybı (L_s)	25
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	26
4.1 PVsyst Programı İle FV Güç Santralinin Modellenmesi	26
4.2 Performans Analizi Sonuçları	29
4.2.1 Hava Durumu Verileri	29
4.2.2 Enerji Üretimi	30
4.2.3 Normalize Performans Katsayıları	31
4.2.4 Normalize Kayıplar	32
4.2.5 Performans Oranı	33
4.2.6 Kapasite Faktörü	34
4.2.7 İnvörtör, Dizi ve Sistem Verimleri	35
4.3 FV Panellerde Yapılacak Farklı Yönlendirmelerin Sistem Performansı Üzerine Etkisi	37
5. GENEL SONUÇLAR	46
6. KAYNAKLAR	48
7. ÖZGEÇMİŞ	52

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1: Fotovoltaik Sistem	1
Şekil 1.2: Fotovoltaik Santral Sistemi.....	2
Şekil 1.3: Fotovoltaik hücrelerin yapısı	2
Şekil 1.4: Fotovoltaik Sistemin ev için bireysel sistemi	3
Şekil 1.5: Fotovoltaik Sistemin çalışma prensibi.....	10
Şekil 1.6: Solar invertör	14
Şekil 1.7: Kirlenmeye bağlı verim değişimi	14
Şekil 1.8: Gölgelemeye bağlı verim değişimi	15
Şekil 1.9: Güneşi takip eden panel sisteminin devre şeması.....	17
Şekil 3.1: Bigadiç İlçesi Okçular mahallesinde yer alan Bigadiç GES.....	18
Şekil 4.1: PVsyst programının ana sayfası.....	26
Şekil 4.2: PVsyst programı proje yönetim kontrol paneli.....	27
Şekil 4.3: Santralin gerçek ve simülasyona dayalı yıllık elektrik üretim değerlerinin karşılaştırılması	28
Şekil 4.4: Aylık ortalama küresel yatay ışınım ve dizi düzlemindeki ışınım.....	29
Şekil 4.5: Aylık ortalama FV modül ve dış hava sıcaklıkları	30
Şekil 4.6: FV dizi sistemi tarafından üretilen aylık elektrik enerjisinin ölçülen ve simüle edilen değerleri.....	31
Şekil 4.7: Şebekeye beslenen aylık elektrik enerjisinin ölçülen ve simüle edilen değerleri.....	31
Şekil 4.8: Aylık ortalama günlük referans, dizi ve sistem üretimleri.....	32
Şekil 4.9: Aylık ortalama günlük dizi ve sistem kayıpları	33
Şekil 4.10: Aylık ortalama performans oranlarının ölçülen ve simüle edilen değerleri.	34
Şekil 4.11: Aylık ortalama kapasite faktörlerinin ölçülen ve simüle edilen değerleri	35
Şekil 4.12: Aylık ortalama invertör, dizi ve sistem verimleri	36
Şekil 4.13: Sistem verimi ve kapasite faktörünün mevsimsel değişimi.....	36
Şekil 4.14: Performans oranının faktörünün mevsimsel değişimi	37
Şekil 4.15: Sabit eğim açılı mevcut sistem için aylık ortalama saatlik düzlem içi ışınım değerleri	38
Şekil 4.16: Santraldeki panellere mevsimsel eğim açısı verilmesi durumunda aylık ortalama saatlik düzlem içi ışınım değerleri	38
Şekil 4.17: Santraldeki panellerin yatay D-B ekseninde dönerek güneşi takip etmesi durumunda aylık ortalama saatlik düzlem içi ışınım değerleri.....	39
Şekil 4.18: Santraldeki panellerin yatay K-G ekseninde dönerek güneşi takip etmesi durumunda aylık ortalama saatlik düzlem içi ışınım değerleri.....	39
Şekil 4.19: Santraldeki panellerin güneşi çift ekseninde olarak takip etmesi durumunda aylık ortalama saatlik düzlem içi ışınım değerleri.....	40
Şekil 4.20: Mart ayı için farklı panel yönlendirmelerine göre elde edilecek düzlem içi ışınım değerleri	40
Şekil 4.21: Eylül ayı için farklı panel yönlendirmelerine göre elde edilecek düzlem içi ışınım değerleri	41
Şekil 4.22: Aralık ayı için farklı panel yönlendirmelerine göre elde edilecek düzlem içi ışınım değerleri	41
Şekil 4.23: Haziran ayı için farklı panel yönlendirmelerine göre elde edilecek düzlem içi ışınım değerleri	42
Şekil 4.24: Farklı panel yönlendirmelerine göre elde edilecek yıllık ortalama düzlem içi ışınım değerleri.....	42

Şekil 4.25: Santral tarafından şebekeye verilebilecek aylık elektrik enerjisinin farklı FV panel yönlendirmelerine göre değişimi	43
Şekil 4.26: Santral tarafından şebekeye verilebilecek aylık elektrik enerjisinin farklı FV panel yönlendirmelerine göre değişimi	44
Şekil 4.27: Aylık ortalama performans oranının farklı FV panel yönlendirmelerine göre aylık değişimi.....	44
Şekil 4.28: Aylık ortalama sistem veriminin farklı FV panel yönlendirmelerine göre aylık değişimi.....	45



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1: Santralde kullanılan FV panellerin teknik özellikleri.	19
Tablo 3.2: Santralde kullanılan invertörlerin teknik özellikleri.....	19



KISALTMALAR

PV	: Photovoltaic
FV	: Fotovoltaik
GES	: Güneş enerji Santrali
IEC	: Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
PVsyst	: Photovoltaic Systems Software
FV	: Fotovoltaik
PHP	: Köprü Metni Ön işlemcisi
AJAX	: Asenkron Java Script ve Genişletilebilir İşaretleme Dili
HTML	: Hiper Metin gibi açıklayıcı diller İşaretleme
CSS	: Basamaklı Stil Sayfaları
HD	: Yüksek Çözünürlük
FHD	: Tam Yüksek Çözünürlük
UHD	: Ultra Yüksek Definition
BOS	: Temel işletim sistemi
SAM	: Sistem Danışma Modeli
HIT	: İçsel İnce Tabakalı Heterojonksiyon
DC	: Doğru Akım
AC	: Alternatif Akım
NMOT	: Nominal modül çalışma sıcaklığı
LDR	: Işığa bağımlı direnç

SEMBOLLER

- E_{DC}** : Üretilen doğru akım enerjisi
 E_{AC} : Üretilen alternatif akım enerjisi
 I_{dc} : Akım değeri (Doğru akım için)
 I_{ac} : Akım değeri (Alternatif akım için)
 T_{rp} : Raporlama dönemi
 N : Bir tesisin bir aydaki çalışma günü sayısını göstermektedir.
 P_{ac} : Alternatif akım güç değeri
 V_{ac} : Alternatif akım gerilimi
 V_{dc} : Doğru akım gerilimi
 Y_a : Dizi verimi
 P_{pv} : Fv sistemde üretilen güç değeri
 Y_f : Nihai verim
 Y_r : Referans verimi
 η_{pv} : Modül verimliliği veya enerji verimliliği
 G_i : Küresel ışınım
 A_m : Modülün alanı
 η_{inv} : İnvertör verimliliği
 η_{pvsys} : Fotovoltaik sistemin verimliliği
PR : Performans oranı
CF : Kapasite faktörü
 L_c : Dizi yakalama kaybı
 L_{ct} : Düzeltilmiş yakalama kaybı
 L_s : Sistem kaybı
 η : Verim

ÖNSÖZ

Tez çalışmam Güneydoğu Depremi'nin yaşandığı zamana denk geldiği için bu depremde yaşamlarını yitirenlere Allah'tan rahmet dilerim. Bu tez çalışmamın her aşamasında tecrübesi ve bilgi birikimi ile bana her zaman destek olan çok değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Tuğrul AKYOL'a, bana her zaman yardımcı olan, destek olan ve yardımını hiç esirgemeyen hocam Prof. Dr. Orhan ZEYBEK'e, desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

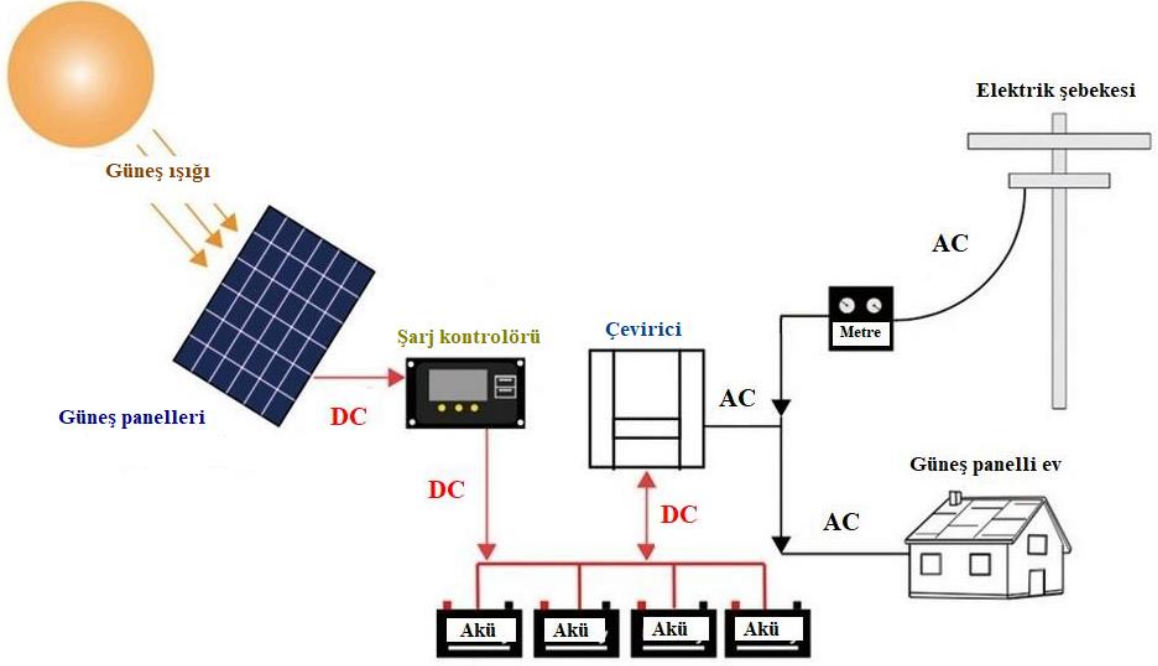
Bahkesir 2024

Sinan KADİR



1. GİRİŞ

Güneş enerjisi, güneşin ısısını veya ışığını kullanım için başka bir enerji biçimine dönüştüren teknolojileri ifade eder. Güneş enerjisi dünyada en bol bulunan, yenilenebilir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisini kullanılabilir enerjiye çeviren iki teknoloji kategorisi vardır: Fotovoltaik (FV) ve güneş termal. Şekil 1.1'de güneş ışığı enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümü görülmektedir [1].



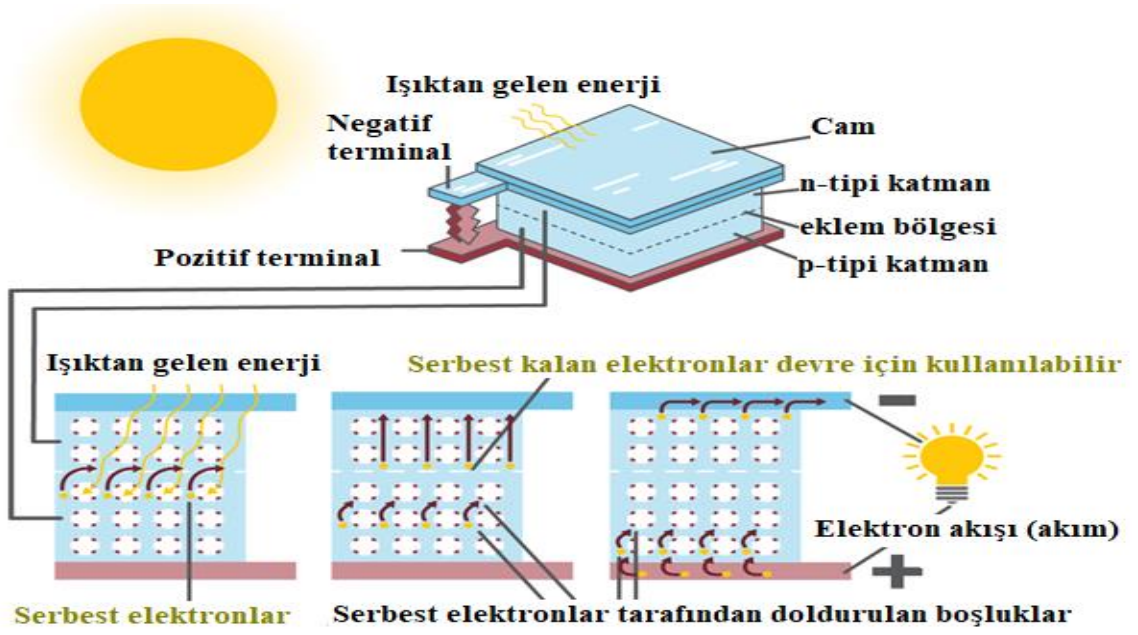
Şekil 1.1: FV sistem.

1.1 FV Sistem

FV sistem yarıiletkenler kullanarak güneş ışığını doğru akım elektriğine dönüştüren bir teknolojidir [2]. FV hücreleri tipik olarak birbirlerine bağlı olarak bulunur ve modül adı verilen bir çerçeveye monte edilir. Şekil 1.2'de görüldüğü gibi birden fazla modül, ihtiyaç duyulan güç miktarını üretmek için yukarı veya aşağı ölçeklendirilebilen bir dizi oluşturmak üzere birbirine bağlanabilir [3]. Şekil 1.3'te FV hücrelerin yapısı detaylı bir şekilde gösterilmiştir [4].

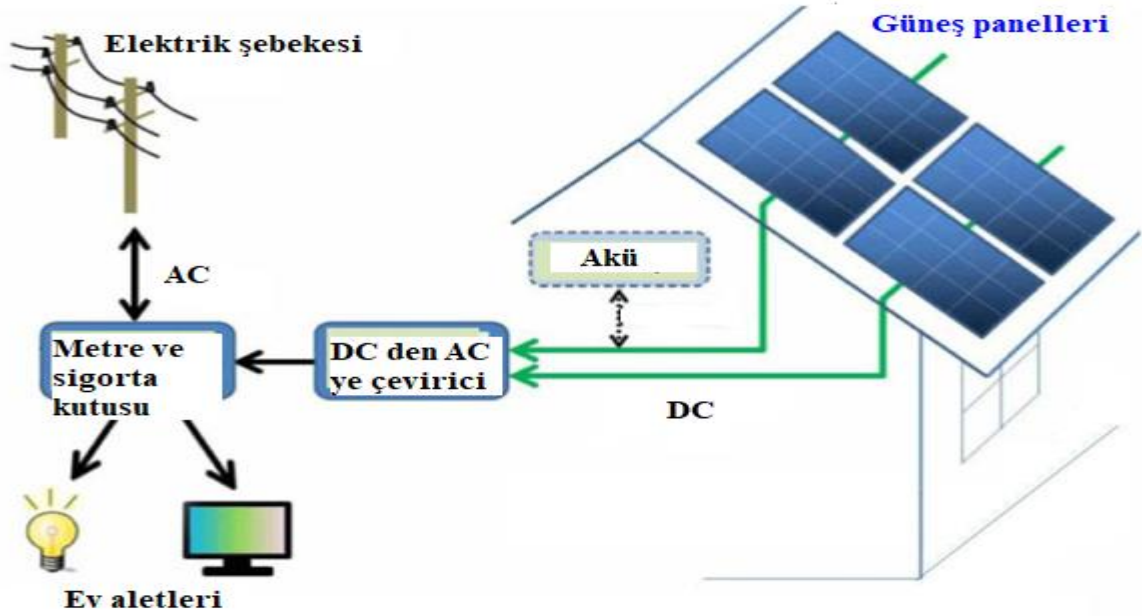


Şekil 1.2: FV Santral Sistemi.



Şekil 1.3: FV hücrelerin yapısı.

FV hücreleri çeşitli yarıiletken malzemelerden yapılabilir. Günümüzde en yaygın kullanılan malzeme silikondur, ancak diğer malzemeler test edilmekte ve güneş ışığını elektriğe dönüştürme verimliliğini artırmak için kullanılmaktadır. Şekil 1.4’ de görüldüğü gibi FV sistemin ev için bireysel kurulum sistemi yer almaktadır [5].



Şekil 1.4: FV sistemin ev için bireysel sistemi.

Programlar ile tasarlanan FV sistemlerin panellere olan ihtiyacı aylık tüketime göre belirlenir. Şebeke için de ya da şebekeden bağımsız olarak amortisman, yatırım süresi, konuma göre kullanılabilirlik, yatırımın maliyeti gibi değişkenlere göre belirlenir. Bu hesaplamalar için FV sistem tasarım programı kullanılır. Köprü Metni Önışlemcisi (PHP), JavaScript jQuery, Asenkron JavaScript ve Genişletilebilir İşaretleme Dili (AJAX) ve Hiper Metin gibi açıklayıcı diller İşaretleme Dili (HTML) , Basamaklı Stil Sayfaları (CSS) , Bootstrap gibi programlama dilleri kullanılmıştır. Bu programlama dillerinin kullanılma amacı Chrome, Internet Explorer gibi herhangi bir tarayıcıda kullanılabilir olması (IE), Firefox, Brave gibi masaüstü gibi herhangi bir cihazdan, dizüstü bilgisayar, tablet, iPad, telefon ve her çözünürlükte: Yüksek Çözünürlük (HD), Tam Yüksek Çözünürlük (FHD) ve Ultra Yüksek Definition (UHD), tek kelimeyle bu programlar taşınabilir olarak tanımlanmıştır [6].

FV sistem, güneş ışınımından yararlanan bir sistem olarak tanımlanmıştır. Belirli bir malzemede elektrik akımı oluşturmak için enerjilendirilmiş fotonlar, silikon (tek ve çoklu kristal) genellikle FV'de ticari olarak en çok bulunan ve seçilen seçenektir. Her enerji kaynağı gibi, bir dizi fayda ve maliyet söz konusudur. Dikkate alınması gerekenler; perspektif bölgedeki güneş ışınımı, gerekli güç ve mevcut malzemeler bunlardan birkaçıdır. Hibrit bir sistem, FV sisteminin aşağıdakileri yapacağı anlamına gelir. FV dizisinin gerekli

gücü sağlayamaması durumunda bir jeneratör tarafından yedeklenmesi gerektiğini belirtmiştir [7].

Nijerya'daki yüz elli milyondan fazla insan 4000MW'tan daha az güç kullanmaktadır. Ne yazık ki, bu da toplam güç talebinin yaklaşık %30'una denk gelmektedir. FV sistemlerin sayısındaki artış, enerji sektöründe, yüzde olarak kullanılabilir güç oranında artış sağlayacaktır. Araştırmalar göstermiştir ki, eğer tasarlanmış bir Nijerya'da teşvik edilecek programı güneş enerjisi programı, %60 olan farkındalık oranını %60 hazır olma oranıyla destekleyecektir. Yüksek maliyet nedeniyle fazla tercih edilen bir sistem değildir. Bunun içinde mevcut durumda, bu makale FV konusunda mevcut uygulama, yatırım ve projeler teknolojisi ve bir FV teşviki önermektedir. (performansı teşvik etmek için program.) Bu program için devlet/tüketici ortaklığı FV güç sistemlerinin kurulumu çoğunlukla uzak bölgeler tavsiye etmektedir [8].

Missouri-Kansas City (UMKC)' de kurulu bağımsız bir FV sistem için uygun performans ve enerji ihtiyacını karşılayabilmesi için Üniversite'deki Flarsheim Hall binasının, günlük ışık enerjisi talebi belirlenmiştir. Sistemin FV dizisi panelleri Rock Hill otoparkının çatısına kurulurken, geri kalan ekipmanlar; batarya, şarj kontrolörü gibi ana sistem bileşenleri, invertör ve trafo binanın bodrum katına yerleştirilecektir. Flarsheim Hall binası bağımsız bir FV yöntemi sistemine ait ana sistem ve sistem dengesinin (BOS) seçilmesini içerir. Uygun özelliklere sahip bileşenler ve hava koşullarıyla ilgili faktörler dikkate alınmıştır. Tasarım yapılırken, güvenilirlik ve maliyeti optimum hale getirmek için bilgisayar tabanlı araçlar kullanılmıştır. Bunun için ücretsiz Sistem Danışma Modeli (SAM) ve FV Watts gibi FV modelleme ve simülasyon araçları kullanılmıştır. Sistem performans simüle edildikten sonra finansal analiz yapıldı. Yapılan invertör ve sistemin yükü simülasyon sonuçları, ilk kurulum maliyeti yüksek olacağını, ancak kısa bir süre içinde sadece ilk kurulum tutarını iade etmekle kalmayıp, aynı zamanda ömrü boyunca önemli miktarda geri ödeme yapılması da sağlayabilecektir [9].

Hindistan'ın Sivaganga bölgesinde kurulu olan bir 5 MW'lık FV sistemin gerçek enerji üretim değerleri ile RET screen Plus programı vasıtasıyla elde ettiği simülasyon sonuçları kıyaslanmıştır. Gerçek üretim değeri 24055,25 kW olan FV sistemin simülasyon sonucu değerini 24116,61 kW h/gün olarak hesaplanmıştır. Aradaki enerji farkının bios işletim sistemi hataları, yüzdeler hata ve modül veriminden kaynaklandığı tespit edilmiştir.

Sistem verimlilik oranı, modül verimlilik oranı, güneşlenme açıları, invertör verimi değerlerinden kaynaklanan kayıp enerji miktarının günlük 0,384 saat/gün ile 0.65 saat/gün arası değişen değerlerde olduğunu tespit edilmiştir. Yapılan ekserji analizi sayesinde sistemin enerji üretim veriminin yıllık %89,15 olarak, FV modül verimi de %6,08 olarak hesaplanmıştır. Nehir üzerine kurulu 10 MV gücündeki FV sisteme ait 2 yıllık veriler kullanılarak, enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Ortalama aylık performansı %12,03, sistem verimi %18,32 ve faydalı ısı enerjisi oranını da %58,65 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca güneş panellerinin su yüzeyinden daha yukarı alınarak yılda 95 milyon litre suyun buharlaşmasının azaltılabileceği hesaplanmıştır. FV sistemlerdeki enerji üretim verimini, FV modülleri soğutarak %10,90 ile %13,46 arasında değişebilen oranlarda artırılacağı tespit edilmiştir [10].

Nelson Mandela Üniversitesinde kurulu 5757 kW gücündeki FV sistemi, PV-Sysyt programı ile simülasyon olarak hesaplanmıştır. Yapılan bu çalışmada simülasyon sonuçları ile kurulu sistemden ölçülen gerçek değerleri karşılaştırılmıştır. Programın simülasyon sonucu ile gerçek değerler arasında yıllık bazda fazla fark olmazken, günlük bazda meteoroloji verilerinin kullanılmasının verimi %74'ten, %84 oranına çıkardığı hesaplanmıştır [11].

El Cezire'nin güneyinde çölde kurulu 2,5 kw kapasiteli bir FV sisteme ait 12 aylık veriler kullanılarak sistem verimliliği üzerinde, aylara bağlı olarak büyük değişimler olduğu tespit edilmiştir. İklimsel veriler kullanılarak günlük enerji üretiminin 5,7 kWh/kWp/gün değerinden 7,68 h/kWp/gün değerine, 4,24 kWh/kWp/gün değerinden 6,07 kWh/kWp/gün değerine ve 3,98 kWh/gün değerinden 5,75 kWh/gün değerine arttığını, modül veriminin %11,10 değerinden %14,19 değerine, invertör veriminin %93,94'den %95,34 değerine ve genel sistem veriminin %10,50 değerinden %13,53 değerine yükseldiği hesaplanmıştır [12].

El Cezire'de kurulu bir FV sistemin iklim koşullarından verimsel olarak nasıl etkilendiğini tespit etmek için deneysel bir çalışma yapılmıştır. Yüksek güneş radyasyonu, düşük nem, açık hava, bulutlu hava ve kum fırtınası esnasında verim değişikliklerini incelenerek modül verimi %76,5, sistem verimi %10,88 ve invertör verimi %94,65 ve sistem kayıpları da 1,18 s/gün'den 0,26 s/gün değerine düştüğü hesaplanmıştır [13].

Bilim ve matematik binasında kurulu olan bir FV sistem üzerinde ekserji analizi yöntemi kullanılmıştır. Sistemin invertör verimi, iklim koşulları ve yazılım özelliklerini 12 aylık verilere dayanarak ekserji analizi yoluyla %10,07 oranında artırılmıştır [14].

Sultan Qaboos Üniversitesi, Umman'da kurulu bir FV sistemi Haziran ayında 48,7 °C ve Mart ayında 69,14 °C sıcaklıkta, 1344 W/m² enerji verilerine göre ölçüm yapılmıştır. Deneysel sonuçlar, ölçülen toplam yıllık enerji üretimi potansiyelinin 2217,6 kWh olduğunu göstermiştir. Ayrıca yıllık ortalama günlük referans verimi 6,36 kWh/kWp-gün, dizi verimini, 4,56 kWh/kWp-gün ve nihai verimi de 4,10 kWh/kWp-gün olarak gerçekleştirdiği hesaplanmıştır. Ortalama yıllık performans oranı 0,65 ve kapasite faktörü 0,17 iken, yıllık ortalama sistem verimliliği %15, modül verimliliği %17,2 ve invertör verimliliğini de %91 olarak hesaplanmıştır. Yıllık ortalama yakalama kayıpları 1,8 saat/gün, sistem kayıpları 0,47 saat/gün ve hücre sıcaklığı da, 0,27 saat/gün olarak hesaplanmıştır [15].

Cezayir'de çöl konumunda kurulu iki adet 10 MW lık FV sistem ekserji analizi yöntemiyle hesaplanmıştır. Yapılan hesapla gerçek ışınım, güç çıkışı, rüzgâr hızı ve ortam sıcaklığı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık verilerinde %10,82, tesis ve alt sistemlerinde %10,95 ve yıllık ortalama enerji verimliliğinde %10,69 kayıp olduğu tespit edilmiştir. Düzenli temizlik ve soğutma işlemlerinin performansı artırabileceği bulunmuştur [16].

Birim alanda en çok enerji üretimi amacıyla bir binanın ekserjisi analizi yapılmıştır. Sabit bir hava kütle akış hızı için, seri olarak bağlanan FV sistemin, paralel olana kıyasla daha iyi bir performans gösterdiği hesaplanmıştır. Hesaplanan sisteme ait etkin alan 65 m²'dir. Yıllık olarak %53,7 verim oranıyla, enerji analizi sonucu 16.209 kWh elektrik olarak hesaplanmıştır. Ekserji analizi sonucunda 1531 kWh olarak hesaplanmıştır [17].

Bhopal'de bulunan bir FV sisteminin; sıcaklık, toplam ısı kaybı katsayısı, açık devre voltajı, verileri tipik bir puslu gün için sistemden belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan bu değerlere göre deneysel olarak enerji verimliliğinin, gün boyunca %6 ila %9 arasında değiştiğini bulmuşlardır. Buna karşılık, ekserji analizi ile hesapladıkları verimliliğin, %8 ila %10 arasında değişmekte olduğunu hesaplamışlardır. Ekserji analizi yöntemi ile enerji analizi tersinmezlik ve entropi hesaplama yöntemlerini kullanarak kurulu bir FV sistemin analizi yapılmıştır. FV sisteminin enerjik ve ekserjetik verimlilikleri değerlendirilmiş ve farklı termodinamik parametreler kullanılarak FV sisteminin teorik üst sınır verimliliği rapor

edilmiştir. Klasik enerji analizi ile verimi %9 ila %14 arasında değişen değerler olarak hesaplanmışken, ekserji analizi sonuçlarına göre verimin %7,8 ila %13,8 arasında değiştiğini hesaplamışlardır. 1 MW FV santralinin teknik, ekonomik ve çevresel analizi saatlik meteorolojik iklim verilerini kullanılarak tek ve çift eksenli sistemin deneysel tasarımıyla karşılaştırılmıştır. Elde ettikleri sonuçları, doğal gaz ve benzin kullanımını sonucunda açığa çıkan CO_2 emisyonu düzeylerine göre kıyaslamışlardır. Deneysel sonuçlarda, çift eksenli güneşi takip eden FV sistemlerde kaybın, tek eksenli ve sabit FV sistemlere kıyasla daha az olduğunu tespit etmişlerdir. Yapılan ekserji analizinden, çift eksenli izleme sistemine sahip FV sistemlerde elektrik çıkış gücü kazancının sabah 8'de %40'lık, tek eksenli izleme sistemleri için %20'lik ve tek eksenli sabit sistemleri için %13'lük verim artışı sağlanmıştır. Teorik sonuçlara göre çift eksenli FV sistemlerde üretilen enerjinin tek eksenli sisteme göre %16,5 oranında arttığı ve sabit panele kıyasla ise %25,5 arttığı hesaplanmıştır. Son olarak, takip sistemlerinin kullanımının CO_2 emisyonunu yılda yaklaşık 4000-4500 ton azalttığı bulunmuştur [18].

FV sistemlerin ekserjoekonomik analizini yapmıştır. Yapılan çalışma, üretim zincirinin tüm seviyelerindeki enerji kayıplarını değerlendirmek için ekserji ve ekonomik dengesinin yapılmasını içermiştir. Bu amaçla, Maroua Havaalanında kurulu 11,52 kWp kapasiteye sahip depolamalı bir enerji santrali ve Douala Havaalanında 1,25 MWp şebekeye bağlı bir tesis ele alınmıştır. FV performansını büyük ölçüde etkileyen meteorolojik veriler ve hücrelerin sıcaklığı doğrudan sahada ölçülmüştür. Tahmini faydalı ekserji elektrik üretimi Maroua FV tesisinde yaklaşık 1585,68 kWh/kWp/yıl ve Douala FV tesisinde 1452,75 kWh/yıldır. Kayıpları sırasıyla Maroua'da 142,76 kWh/kWp/yıl ve Douala'da 37,6 kWh/kWp/yıl olarak hesaplanmıştır [19].

FV sistemlerin performansı; enerji ve ekserji verimlilikleri, sürdürülebilirlik endeksi, iyileştirme potansiyeli ekserji analizi kapsamı içerisinde incelenmiştir. Yapılan çalışmada ortam sıcaklığı, modül sıcaklığı, rüzgar hızı, havanın yoğunluğu ve nemi gibi girdileri kullanılmıştır. Yaptıkları sistem analizinde ekserji verimliliği minimum %1,36, maksimum %19,86 olarak hesaplanmıştır. Sürdürülebilirlik endeksi sistem için 1 ile 1,17 arasındadır. İyileştirme potansiyel faktörü minimum 3.376 W ve maksimum değeri de 24559,42 W olarak hesaplamışlardır [20].

Kamuzu Uluslararası Havalimanı'ndaki 830 kWp gücünde, şebeke bağlantılı FV enerji santralının performans değerlendirmesini yapılmıştır. Yapılan çalışmada, Eylül 2013 - Ağustos 2017 dönemi için hem ölçülmüş hem de simüle edilmiş veriler kullanılmıştır. FV sistem, ince tabakalı heterojonksiyon teknolojisine sahip 3540 güneş modülünden oluşmaktadır. Her modül 235 Wp gücünde ve 30° eğimlidir. Dört yıllık ortalama dizi, invertör ve genel sistem verimlilikleri sırasıyla %15,3, %95,2 ve %14,6 olmuştur. Yıllık performans oranının %75 ile %85 arası değişen değerlerde olduğunu bulmuşlardır [21].

Sahra çölünde kurulu olan bir FV sistemde 1 yıllık veriler deneysel olarak analiz edilmiştir. İzleme verilerinden ve performans değerlendirmesinden, şebekeye enjekte edilen yıllık üretim 45,12 MWh olup, yıllık enerji kaybını 2,4MWh kayıp olduğu ve şebeke gerilimi yükselmesi, dizi ve termal yakalama kayıpları ve sistem kayıpları nedeniyle 1,57MWh enerji kaybedildiği bulunmuştur. Yıllık ortalama FV modül verimini, %11,37, invertör verimini %96,46 ve sistem veriminin de %10,99 değerine ulaştığı hesaplanmıştır [22].

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada, Balıkesir'in Bigadiç ilçesinde yer alan 1.171,8 kWp gücündeki Bigadiç Güneş Enerji Santralının (GES), gerçek saha verilerine dayalı, enerji performans değerlendirmesi yapılmıştır. Değerlendirmede, IEC 61724 FV Sistem Performansı Standardında açıklanan parametreler kullanılmıştır. Bu parametreler arasında enerji çıkışı, dizi verimi, nihai verim, referans verimi, FV modül verimliliği, invertör verimliliği, sistem verimliliği, dizi yakalama kaybı ve sistem kaybından oluşan enerji kaybı, performans oranı ve kapasite faktörü yer almaktadır.

Yapılan deneysel çalışmanın doğrulanabilmesi için mevcut FV santral bilgileri kullanılarak santralin PVSyst programı üzerinde modeli oluşturulmuştur. Bu model sayesinde ayrıca, hareketsiz ve sabit eğimli FV panellerden oluşan santralde, çeşitli FV panel yönlendirme ve güneş takip uygulamalarının, santral performans parametreleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

2. FOTOVOLTAİK SİSTEM

2.1 Sabit Güneş Panelleri

Bir güneş enerjisi sistemi kurulurken, boyutu ve hareket kabiliyetini ihtiyaçlara uygun bir şekilde özelleştirilir. Sabit güneş panelleri ve taşınabilir güneş panellerinin her birinin farklı özellikleri, avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

Sabit güneş FV'leri veya sabit FV panelleri olarak da bilinen sabit güneş panelleri, bir çatıya, zemine veya izleyici sistemine monte edilen panellerdir ve güneş ışınlarını yakalayıp elektrik üretirler. İnvörtörler bu gücü kullanılabilir enerjiye dönüştürür. Taşınabilir FV'ler veya taşınabilir FV paneller olarak da bilinen taşınabilir güneş panelleri genellikle aynı işlevi görür ancak mikro düzeydedir. Bu sistemler bir invörtör gerektirmez ve küçük boyutları kullanıcıların hareket halindeyken enerji üretmesine olanak tanır. Taşınabilir güneş panelleri karavanların, kamp çadırlarının ve hatta yürüyüş ekipmanlarının üzerinde bulunabilir.

2.2 Sabit ve Taşınabilir Güneş Panellerinin Benzerlikleri

Sabit güneş FV veya sabit FV panelleri olarak da bilinen sabit güneş panelleri ve taşınabilir güneş panelleri belirli avantajlar sunsa da, birkaç temel özelliği paylaşırlar. Örneğin, her iki panel türü de enerji üretmek için aynı ana koşullara ihtiyaç duymaktadır.

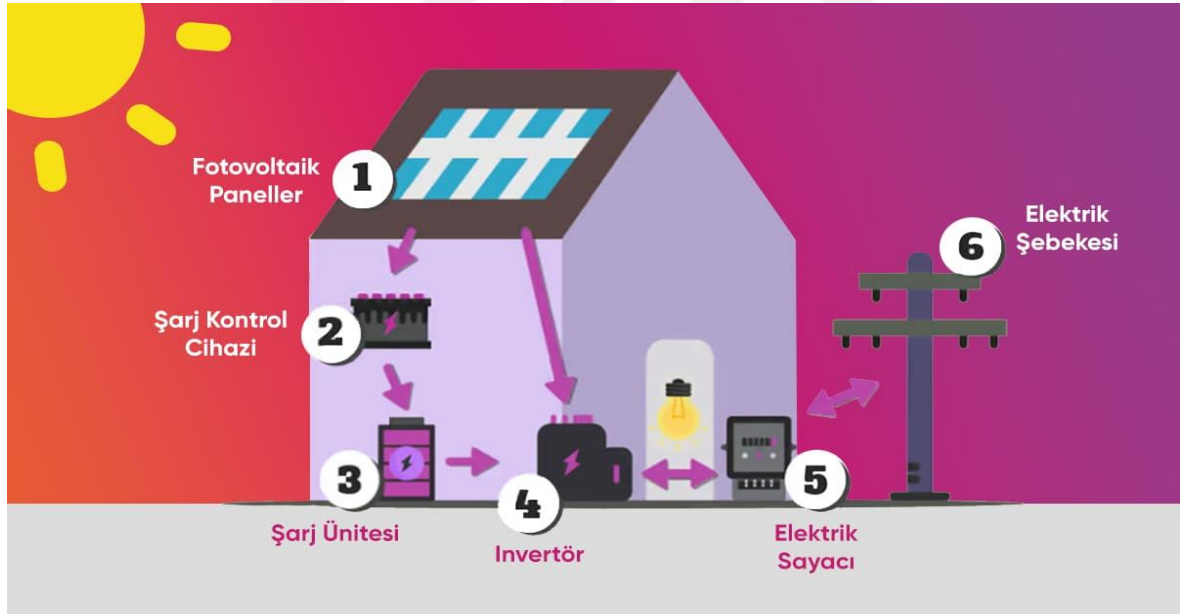
Güneş ışığı fotonlar yayar ve hem taşınabilir hem de sabit güneş panelleri güneş ışığının fotonlarını elektrığe dönüştürür. En yüksek güneş enerjisi üretimi için gölgelendirmeyi sınırlandırmak önemlidir. Güneş panellerinin yönü kritiktir çünkü en fazla güç, güneş ışığı yüzeye dik bir açıyla çarptığında üretilir. Bu nedenle doğru yön ve eğim maksimum enerji çıkışı sağlar. Örneğin ABD'de panellerin bakması gereken en iyi yön güneydir.

Doğru kablo seçimi sistemin verimi için önemlidir. Ayrıca bakım işlemini kolaylaştırır, sistem güvenliğini artırır ve güneş enerjisi sisteminin ömrünü uzatır. Ana kanalın ve elektrik kablolarının korumalı olarak monte edilmesi, sistemleri sert iklim koşullarından korur ve hayvanların kablolarına zarar vermesini önler. Hareketli güneş enerjisi sistemi, panellerin güneşin hareketine göre tekrardan konumlanmasını sağladığı için güneş ışınlarından tüm gün boyunca daha fazla enerji üretilebilmesini sağlar [23].

2.3 FV Sistemlerin Çalışma Prensipleri

FV sistemler bir dizi bileşenden oluşmaktadır. Silikondan üretilen hücreler bir modül üzerine yerleştirilir. Tasarlanan sistem boyutuna ulaşmak için birden fazla modül birleştirilir. Bu hücrelere Güneş ışığı çarptığında, hücreler doğru akım elektrik üretir ve hareketli parça, gürültü veya emisyon olmadan büyük miktarda elektrik gücü üretir. Üretilen güç daha sonra doğru akımı evlerimizde kullandığımız alternatif akıma dönüştüren bir invertöre yönlendirilir [24].

FV panellerin elektrik üretim süreci şu şekilde tarif edilebilir: Fotonlar, güneş paneli üzerindeki yarı iletken malzemeye çarpıp iyonize ederek dış elektronların atomik bağlarından kurtulmasına sebep olur. Yarıiletken yapı nedeniyle elektronlar tek bir yöne doğru zorlanarak bir elektrik akımı akışı oluşturur. Güneş pilleri belirli spektrumdaki ışığı absorbe edebildiği için %100 verimli değildir. Işık spektrumunun bir kısmı yüzeyden yansır, bir kısmı elektrik oluşturamayacak kadar zayıftır (kızılötesi) ve bir kısmı da (ultraviyole) ısı enerjisi oluşturur [25]. Sistemin çalışma prensibi Şekil 1.5’de görülmektedir [26].



Şekil 1.5: FV sistemin çalışma prensibi.

2.4 FV Sistemlerin Bileşenleri

Bir FV sistemin, sistem dengesi ya da BOS olarak adlandırılan diğer bileşenleri de vardır. Bu bileşenler (tipik olarak sistem maliyetinin yarısından fazlasını ve bakımın çoğunu oluşturur) invertörler, raflar, kablolama, birleştiriciler, bağlantı kesiciler, devre kesiciler ve elektrik sayaçları olarak sıralanabilir.

2.4.1 Güneş Paneli

Güneş paneli, güneş enerjisi sisteminin en temel parçasıdır. Güneş paneli, güneş ışınlarının panel üzerinde toplanarak elektrik enerjisine dönüştürüldüğü kısımdır. FV hücreleri, herhangi bir emisyon yaratmadan güneş ışığını doğrudan elektriğe dönüştüren kısımdır. FV hücreleri en az iki yarı iletken malzeme katmanının birleşimiyle elde edilir. Katmanlardan biri pozitif, diğeri negatif yüklüdür. Işık hücreye girdiğinde, ışıktan gelen fotonların bir kısmı yarı iletken atomlar tarafından absorbe edilir ve elektronlar önce hücrenin negatif katmanından serbest kalarak, ardından harici bir devreden geçerek pozitif katmana geri dönerek elektron akışını gerçekleştirir. Bu elektron akışı elektrik akımı üretilmesini sağlar [27].

Güneş enerjisi panellerinin kurulacağı konum belirlenirken, bölgenin güneş ışığına en uzun süre maruz kalan, yerler tercih edilir. Ayrıca bölgeye güneş ışınlarının mümkün olan en dik açı ile geldiği yaz mevsiminin uzunluğu, kış ikliminin ılıman olması gibi faktörler de verimliliği artırdığı için önem arz etmektedir [28].

2.4.2 İnvörtör

Güneş FV sistemin yüzeyine çarptığında, güneş paneli hücreleri içerisinde bulunan elektronlar hareket etmeye başlar. Bu elektron hareketi doğru akım (DC) enerjisi üretir. Hücrelerdeki devreler bu gücün kullanılabilmesi için depolama yapar.

Şekil 1.6'da görüldüğü gibi, solar invertör burada devreye girer. Çoğu ev alternatif akım (AC) enerjisi kullanır, bu nedenle güneş panelleri tarafından üretilen enerji tek başına kullanıma uygun değildir [29]. Güneş panelleri güneş ışığını toplayıp enerjiye dönüştürdüğünde, DC enerjisini alıp AC enerjisine dönüştüren invertöre yönlendirir. İnvörtöre yönlendirdikten sonra elektrik cihazlara güç sağlayabilecek duruma gelir. Üretilen elektrik enerjisi ihtiyaç olandan daha fazla ise, üretilen fazla elektrik şebekeye geri beslenerek sistem hem aşırı yüklemekten korunmuş olur hem de üretilen fazla elektrik satılarak kazanç sağlanabilir.



Şekil 1.6: Solar invertör.

İnvertörlerin dönüşüm verimliliği çoğunlukla %90 veya üzeridir. Temel olarak bir invertör, DC girişinin yönünü çok hızlı bir şekilde ileri geri değiştirerek DC-AC dönüşümünü gerçekleştirir. Bu işlemin sonucu olarak, bir DC girişi bir AC çıkışına dönüşmüş olur [30].

2.4.3 Raf

Solar panel yer raf sistemi, zemin montajı, panel braketleri ve montaj donanımı gibi çeşitli bileşenlerden oluşur [31]. Zemin montajı, tüm sistemin en temel noktasıdır. Bu cihazlar bir binanın çatısına veya bir zemine monte edilir. Bu sayede güneş panellerinin daha sonra, rüzgar veya kar gibi kötü hava koşullarında stabil kalmasını sağlamak için raf ve montaj sistemine bağlanır [32].

2.4.4 Diğer Bileşenler

Bir Güneş FV sistemini oluşturmak için önceki başlıklarda belirtilen bileşenlerin yanı sıra, sayaç, bağlantı kesici ve elektrik tesisatı kablolarına da ihtiyaç duyulmaktadır. Birleştirici, iki veya daha fazla elektrik kablosunu tek bir büyük kabloda birleştirmeyi sağlar. Birleştiriciler elektriksel koruma için sigortalar içeren bileşenlerdir. Bu sigortalar tüm orta, büyük ve hatta şebeke ölçekli güneş enerjisi sistemlerinde kullanılır [33]. Devre kesici olarak bilinen bir anahtarlama cihazı, hata oluşması durumunda devreye girerek gücü keser [34].

Çift yönlü sayaç, elektrik enerjisini her yöne göre bağımsız olarak ölçen, ölçüm verilerini depolayan ve depolanan verilerin gerektiğinde erişilebildiği bir elektrik sayacıdır. Çift yönlü elektrik sayacı, akımın akış yönünü algılar ve verileri biri birinden farklı kayıtlarda saklar.

Çatıya kurulu bir güneş enerjisi sistemi gündüz saatlerinde, genellikle tüketim ihtiyacı için gerek duyulan elektrik miktarından daha fazla elektrik üretmektedir. Üretilen bu ihtiyaç fazlası elektrik enerjisi, şebekeye bağlı güneş enerji sistemlerinden şebekeye geri gönderilir. Bu durumda elektrik akımı yön değiştirir. Çift yönlü elektrik sayaçları, bu şekilde tasarlanmış sistemlerde hem ihtiyaç fazlası enerjinin hem de tüketilen enerjinin ölçülebilmesi için gereklidir. Çift yönlü sayaçlar, şebekeye geri gönderilen ihtiyaç fazlası elektrik enerjisini ölçebildiği için, karşılığında ücret almayı mümkün hale getirir [35].

Güneş paneli için en uygun olan solar kablo seçiminde kriter, her türlü iklim koşuluna dayanıklı olmasıdır. Dayanıklılığın yanı sıra yüksek verim elde etmek için iletkenlik ve işlevselliğine de önem verilmelidir. Bu kablolar aynı zamanda güneş ışınlarına maruz kaldıkları için UV ışınlarına da dayanıklı olmalıdır. Mümkün olan en az elektriksel kablo direncinin sağlanabilmesi için, sistemde kullanılması planlanan kablolar ihtiyaç duyulan en kısa uzunlukta seçilmelidir [36].

2.5 FV Sistemlerin Verimini Etkileyen Faktörler

Güneş enerjisinden elektrik üretme sürecinin %100 verimli olmadığını unutmamak önemlidir. Sıcaklık, kirlenme ve gölgeleme gibi çevresel faktörlerin yanı sıra elektrikli bileşenlerdeki kayıplar da bir FV sisteminin verimliliğini etkileyebilir.

2.5.1 Sıcaklık

Güneş paneli verimliliği sıcaklığa göre değişir. Yüksek sıcaklıklar performans üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir. Bilindiği gibi, FV modüllerinin nominal gücünü 25 °C'de iç mekanda kalibre etmek için standart bir güneş ışığı yoğunluğu kullanılmaktadır. Modülün gerçek dış mekân çalışma sıcaklığının genellikle 25 °C'den daha yüksek olduğu ve ısı yama koşullarının farklı olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Güneş modüllerinin dış mekân güç üretimini daha iyi karşılaştırmak için Nominal modül çalışma sıcaklığı (NMOT) ile kıyaslanmaktadır. Bazı araştırmalara göre sıcaklık, güneş FV sistemi verimlilik kaybının tipik değerini 25 °C'nin üzerinde 0,5 °C olarak etkilemektedir.

2.5.2 Kirlenme

Şekil 1.7’de görüldüğü gibi, FV panellerinin yüzeyinde biriken malzeme, ışığın güneş hücrelerine ulaşmasını engelleyerek üretilen gücü azaltabilir [37]. Kirlenmeden kaynaklanan güç kaybı, kirlenmenin türüne (toz veya kar gibi) ve temizleme sürelerinin sıklığına bağlı olarak oldukça değişkendir. Modülün ışık alan yüzeyinde biriken toz ilk olarak modül yüzeyinin ışık geçirgenliğini azaltacaktır. Ardından, ikinci olarak, ışığın bir kısmının geliş açısını değiştirecek ve ışığın cam kapakta eşit olmayan bir şekilde yayılmasına neden olacaktır. Çalışmalar, aynı koşullar altında, temiz bir güneş modülünün çıkış gücünün toz biriktiren bir modülden en az %5 daha yüksek olduğunu göstermiştir. Toz birikimi ne kadar yüksek olursa, modülün çıkış performansındaki düşüş de o kadar büyük olabilmektedir.



Şekil 1.7: Kirlenmeye bağlı verim değişimi.

2.5.3 Gölgeleme

Bilindiği gibi gölgeleme, ağaçlar, binalar, arazi ve çevredeki diğer nesnelere nedeniyle ışımamın engellenmesidir. Gölgelemenin bir güneş enerjisi tesisinin güç çıkışı üzerindeki etkisi oldukça değişkendir. Şekil 1.8’de gölgelemenin etkisi görülmektedir [38].



Şekil 1.8: Gölgelemeye bağlı verim değişimi.

2.5.4 Uyuşmazlık

Üretim farklılıkları, aynı tipteki modüller de bir birlerinden az da olsa farklı elektriksel özelliklere sahip olmasına neden olabilmektedir. Modüller arasında oluşan bu uyumsuzluk performans kaybına yol açabilir.

2.5.5 İnvörtör Verimi

DC'nin bir invertör aracılığıyla AC'ye dönüştürülmesi işleminde verim tipik olarak %96-97 civarındadır. DC giriş gücü yüksek olduğunda invertörler tipik olarak daha yüksek verimliliğe sahiptir. Giriş gücü, invertörün nominal gücünden çok daha az olduğunda dönüşüm verimliliği büyük oranda düşer.

2.5.6 Kullanım Süresi

Güneş panellerinin ürettiği enerji, zaman ilerledikçe azalmaktadır. Genel olarak, performanstaki düşüşün yılda yaklaşık %0,5 olduğu varsayılır. Yukarıda belirtilen faktörlerin dışında, bir güneş enerjisi sisteminin enerji üretimini etkileyen başka faktörler de mevcuttur. Örneğin, sistemin tasarımı ve kurulumu (eğim, yönlendirme, dizgi konfigürasyonu), batarya verimliliği [39].

2.5.7 Yansıma

Modül yüzeyine düşen solar ışınımın tamamı hücreler tarafından absorbe edilemezler. Enerjisinden faydalanılamayan bu solar ışınım FV modülün yüzeyinden atmosfere geri

yansır. Bu şekilde oluşan kayıplara yansıma kayıpları denir. FV modüllerde yansıma kaynaklı enerji kaybını önlemeye yönelik kaplama kullanılarak, kayıp olan enerji miktarı en aza indirilmesi hedeflenir. Normal bir ışınımında solar modüller üzerine gelen ışığın %4'ünü yansıtır. Normal ışınımlarda, FV modüller üzerine gelen fotonların %4'ünü atmosfere geri yansıtır.

2.5.8 Dalga Boyu

Güneş ışığı spektrumu yaklaşık 380 nm (mor ışık) ile yaklaşık 750 nm (kırmızı ışık) arasında değişir. Güneş panelleri, güneş ışığını sadece belirli bir dalga boyu aralığında absorbe edebilecek şekilde tasarlanmıştır. Güneş panellerinin enerji üretebildiği bu dalga boyu aralığına güneş panelinin “bant aralığı” denir.

Güneş panelleri, bu bant aralığındaki güneş ışınlarını absorbe ederek bir elektrik alanı oluşturabilir. Bu alan elektrik üretmek için kullanılır. Bir güneş panelinin bant aralığı, absorbe edebileceği ışığın dalga boyunu belirler. FV hücreler dalga boyuna duyarlıdır ve spektrumun bazı bölümlerindeki güneş ışığına diğerlerinden daha iyi absorbe edebilirler [40].

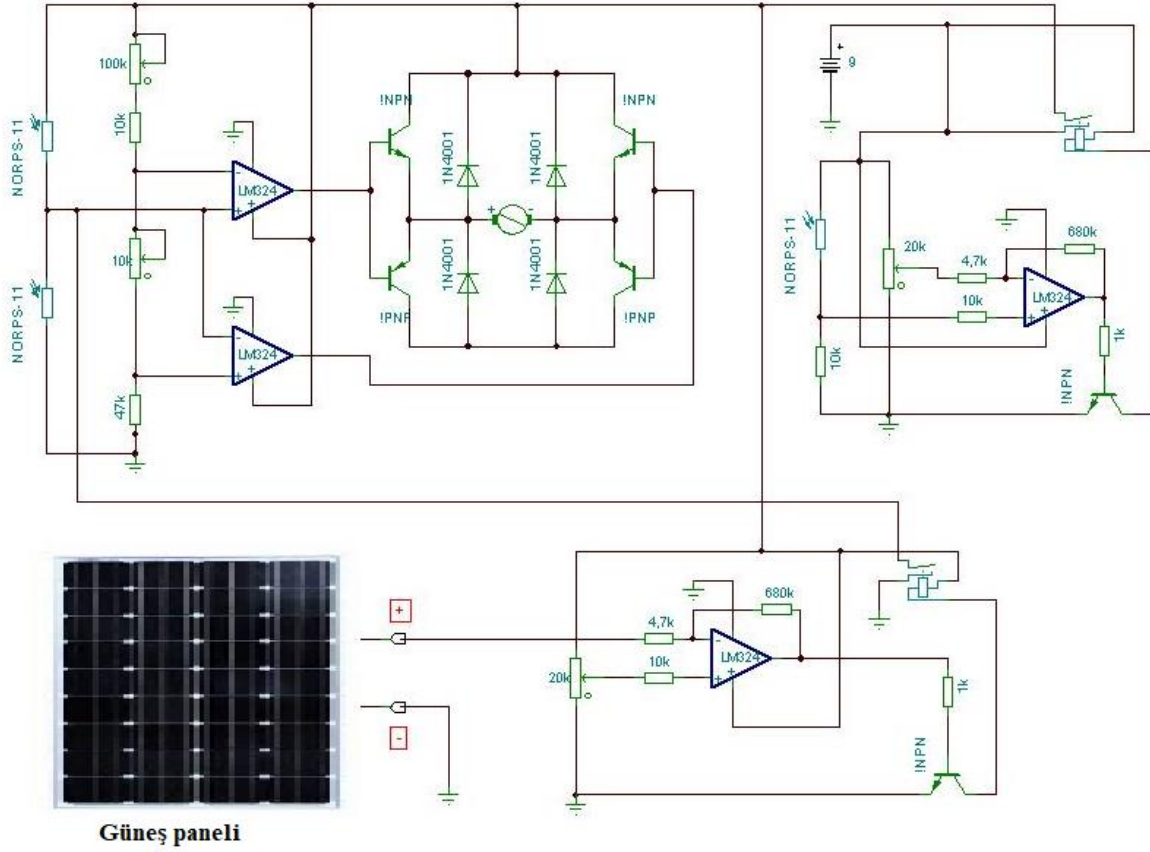
2.5.9 Güneşi Takip Eden Paneller

Güneşin güneş paneline göre konumu, dünyanın dönüşü nedeniyle sabit değildir. Güneş enerjisinin verimli bir şekilde kullanılması için güneş panellerinin enerjisi maksimum ölçüde emmesi gerekir. Bu ancak paneller sürekli olarak güneş yönüne doğru yerleştirilirse yapılabilir. Bu nedenle, güneş paneli sürekli olarak güneş yönünde dönmelidir.

Güneş takip güneş paneli iki LDR, güneş paneli ve bir servo motor ve ATmega328 Mikro denetleyiciden oluşur. Güneş panelinin kenarlarına iki adet ışığa bağlı direnç yerleştirilmiştir. Işığa bağlı dirençler, üzerlerine ışık düştüğünde düşük direnç üretirler. Panele bağlı servo motor, paneli güneş yönünde döndürür. Panel, iki LDR üzerindeki ışık karşılaştırılacak ve panel yüksek yoğunluğa yani diğerine kıyasla düşük dirence sahip LDR'ye doğru döndürülecek şekilde düzenlenmiştir. Servo motor paneli belirli bir açıda döndürür.

Sağ LDR'ye düşen ışığın yoğunluğu daha fazla olduğunda panel yavaşça sağa doğru hareket eder ve sol LDR'deki yoğunluk daha fazla ise panel yavaşça sola doğru hareket eder. Öğle

vakti, güneş öndedir ve her iki paneldeki ışık yoğunluğu aynıdır. Bu gibi durumlarda panel sabittir ve dönme olmaz. Şekil 1.9’da güneşi takip eden panel sisteminin devre şeması görülmektedir [41].



Şekil 1.9: Güneşi takip eden panel sisteminin devre şeması.

Bu sistem güneşi sürekli olarak takip ettiği için oldukça verimlidir ancak pahalı olması, enerji depolanması için ağır bataryalara ihtiyaç duyması ve yağmurlu havalarda sağlıklı çalışmaması dezavantajlarıdır [42].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Bigadiç Güneş Enerji Santralinin Tanıtımı

Performans analizi yapılan Bigadiç Belediyesine ait 1.171,8 kWp gücündeki Bigadiç Güneş Enerji Santrali (GES), Balıkesir İli Bigadiç İlçesi Okçular Mahallesiinde, 39,4155° enlem ve 28,3050° boylam koordinatlarında yer almaktadır. Yaklaşık 20 dönümlük bir araziye kurulan santral, 310 Wp gücünde toplam 3780 adet monokristal FV panelden oluşmaktadır. Santralde üretilen enerji ile Bigadiç Jeotermal Bölgesel Isıtma Sisteminin yıllık elektrik ihtiyacının yaklaşık %60'lık bir bölümü karşılanmaktadır. Şekil 3.1'de FV paneller santral sahasına 90 sehpa ve 180 string düzeninde, eğim açıları 25° ve yüzey azimut açıları 0° olacak şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 3.1: Bigadiç İlçesi Okçular mahallesinde yer alan Bigadiç GES.

Santralde 100 kW gücünde 10 adet invertör bulunmaktadır. Santralde kullanılan FV panel ve invertörlerin özellikleri Tablo 3.1 ve 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.1: Santralde kullanılan FV panellerin teknik özellikleri.

Marka/model	Ödül / ÖSM60-310
Nominal Güç	310 W _p
Ölçüler	1645 x 992 x 35 mm
Ağırlık	18,5 kg
Referans Koşullar	1000 W/m ²
Kısa Devre Akımı	9,922 A
Max Güç Noktası	9,410 A
Sıcaklık Katsayı	4,4 mA/° C
Tref	25 ° C
Açık devre Voc	40,60 V
V _{mpp}	33,01 V
Seri Mod sayısı	60 Seri

Tablo 3.2: Santralde kullanılan invertörlerin teknik özellikleri.

İnvertöre Giriş	
Minimum MPP Gerilimi	360 V
P _{nom} İçin min. Gerilim	480 V
MPPT Başına Maksimum Akım	35,5 A
Nominal MPP Gerilimi	620 V
Max MPP Gerilimi	1000 V
Mutlak Max FV Gerilimi	1000 V
İnvertörden Çıkış	
Frekans	50-60 Hz
Şebeke Gerilimi	400 V
Nominal AC Gücü	100 kVA
Maksimum AC Gücü	100 kVA
Nominal AC Akımı	145 A
Maksimum AC akımı	145

3.2 Şebekeye Bağlı FV Sistemlerin Performans Analizi

3.2.1 Şebekeye Bağlı FV Sistemi İçin Performans Göstergeleri

Şebekeye bağlı FV sistemler için performans parametreleri, IEC 611724 standardında açıklanan Uluslararası enerji ajansı tarafından belirlenmektedir. Literatürde açıklandığı gibi

[43-50] en uygun olanlar arasında enerji çıkışı, dizi verimi, nihai verim, referans verimi, FV modül verimliliği, invertör verimliliği, sistem verimliliği, dizi yakalama kaybı ve sistem kaybindan oluşan enerji kaybı, performans oranı ve kapasite faktörü yer alır. Bu normalleştirilmiş göstergeler, mevcut şebekeye bağlı FV sistemlerin performansını karşılaştırmak için temel karşılaştırmacılar olarak görev yapar.

3.2.2 FV Dizisi Sistemi Tarafından Üretilen Enerji (E_{dc})

DC güç çıkışının günlük izlenen toplam değeri ve üretilen aylık DC enerjisi şu şekilde hesaplanır:

$$E_{dc,d} \sum_{t=1}^{t=T_{rp}} V_{dc} * I_{dc} * T_{rp}; E_{dc,m} \sum_{d=1}^n E_{dc,d} = \sum D = 1N e_{dc} \quad (3.1)$$

T_r , kayıt zamanı aralığını, T_{rp} raporlama dönemini ve N ise tesisin bir aydaki çalışma günü sayısını göstermektedir.

3.2.3 Enerji Çıkışı veya Şebekeye Beslenen Enerji (E_{ac})

FV sistemi tarafından üretilen enerji veri kaydedici tarafından her 5 dakikalık süre için invertör çıkış terminalleri boyunca aynı ölçümdür. AC güç çıkışının günlük izlenen toplam değeri ve üretilen aylık AC enerjisi şu şekilde verilir:

$$E_{ac,d} \sum_{t=1}^{t=T_{rp}} V_{ac} * I_{ac} * T_r; E_{ac,m} \sum_{d=1}^N E_{ac,d} \quad (3.2)$$

burada,

$$P_{ac} = V_{ac} * I_{ac} \quad (3.3)$$

yukarıda belirtildiği gibi kaydedilen AC gücüdür.

3.2.4 Dizi Verimi (Y_a)

Dizi verimi FV'nin nominal güç üreten $E_{dc}'de$ çalışması için harcadığı süredir. Dolayısıyla FV sistemi tarafından üretilen günlük veya aylık ortalama DC enerjisinin nominal FV gücüne

oranıdır ve Denklem (1) ile verilmektedir. Günlük dizi verimi aşağıda verilen denklem ile hesaplanır:

$$Y_a(\text{günlük}) = E_{ac}/P_{pv}(Oy)[H/D] \quad (3.4)$$

Aylık ortalama günlük dizi verimi ($Y_{a,m}$) de şu şekilde hesaplanır:

$$Y_{a,m} = \frac{1}{N} * \sum_{d=1}^N Y_a \quad (3.5)$$

Dizi verimi FV jeneratörün gerçek çalışmasını temsil eder.

3.2.5 Nihai Verim (Y_f)

Nihai verim terimi, FV'nin nominal güç kapasitesine göre E_{ac} üretmek için harcadığı süreyi temsil eder. Dolayısıyla, standart sıcaklık koşullarında üretici tarafından belirlenen nihai çıkış gücünün (E_{ac}) nominal FV gücüne oranı olur. Dizi verimi olarak nihai verim de günlük ve aylık ortalama olarak hesaplanabilmektedir. Montaj yapısına ve konumuna bağlıdır [47]. Günlük nihai verim şu şekilde verilir:

$$Y_f = \frac{E_{acd}}{P_{pvr}} \quad (3.6)$$

$$Y_{a,m}(\text{günlük}) = \frac{1}{N} * \sum_{d=1}^n Y_f \quad (3.7)$$

3.2.6 Referans Verimi (Y_r)

Referans verim toplam düzlem içi güneş ışığı ya da küresel düzlem içi yatay güneş ışığının, standart sıcaklık koşulları altında $\frac{1 \text{ kW}}{\text{m}^2}$ olan referans ışınımına bölünmesiyle elde edilir.

$$Y_r, \text{günlük} = \frac{\sum_{\text{gün}} G_i}{G_{STC}} = P_{o a \text{ ins}} \quad (3.8)$$

Referans verim günlük düzlem içi güneş ışınımına bağlıdır. Belirli bir konumda mevcut olan teorik enerjinin bir ölçüsüdür [43]. Referans verim modül etkisi ve ortam sıcaklığı ile

düzeltildiğinde düzeltilmiş referans verim olarak adlandırılır. Düzeltilmiş referans verimi aşağıdaki denklem ile verilmektedir.

$$Y_{cr} = Y_r(1 - C_t(T_m - T_{STC})) \quad (3.9)$$

burada Y_r , C_t , T_m , T_{STC} sırasıyla referans verimi, sıcaklık katsayısını (% C^{-1}), modülü ve ortam sıcaklığını temsil eder.

3.2.7 FV Modül Verimliliği Veya Enerji Verimliliği (η_{pv})

Mevcut radyasyona göre modül tarafından üretilen etkin enerjiyi temsil eder. Anlık FV dizisi verimliliği şu şekilde verilir:

$$\eta_{pv} = \frac{P_{dc}}{G_i * A_m} \quad (3.10)$$

Aylık ortalama FV modülü verimliliği şu şekilde hesaplanır:

$$\eta_{pv,m} = E_{dc,d} / (G_i * A_m) \quad (3.11)$$

burada $P_{(dc),PV}$ dizisi sistemi tarafından üretilen DC gücüdür, G_i küresel güneş ışınımını temsil eder ve A_m FV modülünün alanını temsil eder [46].

Günlük ortalama FV modülü verimliliği şu şekilde hesaplanır:

3.2.8 İnvörtör Verimliliği (η_{inv})

İnvörtör verimliliğinin modül ve sistem verimliliği açısından en yüksek olduğu varsayılmaktadır. Uygun bir şekilde dönüşüm verimliliği olarak adlandırılan invörtör verimliliği, invörtör tarafından üretilen AC gücünün FV dizi sistemi tarafından üretilen DC gücüne oranıyla verilir. Anlık invörtör verimliliği şu şekilde verilir:

$$\eta_{inv} = \frac{P_{ac}}{P_{dc}} \quad (3.12)$$

Aylık invörtör verimliliği aşağıdaki denklemle hesaplanır:

$$\eta_{inv,m} = \frac{E_{ac,d}}{E_{dc,d}} \quad (3.13)$$

burada $E_{ac,d}$ toplam günlük AC enerji çıkışını temsil eder.

3.2.9 Sistem Verimliliği (η_{pvsys})

FV sistemin verimliliği, FV jeneratörü ve invertör modülünü içeren sistemlerin dengesi ile ilişkilidir. Anlık sistem verimliliği, aşağıdaki denklem uygulanarak hesaplanabilir.

$$\eta_{sistem} = \eta_{pv} * \eta_{inv} \quad (3.14)$$

3.2.10 Performans Oranı (PR)

Performans oranı, FV sistem tarafından sağlanan performans veya çıkış üzerindeki kayıpların (sıcaklığın, invertörün, kablolama kaybının, uyumsuzluk kaybının ve bypass diyotlarındaki kaybın etkisi ile oluşan) etkisini temsil eder ve gelen güneş enerjisinin eksik kullanımını gösterir. PR olarak radyasyon, güneş ışınımına bağlı olarak bir normalleştirme faktörüdür[46]. Sistemin gerçek verimidir ve ideal verime yakınlığını ölçer. Şebekeye bağlı FV sistemini konuma, montaj yapısına ve güç kapasitesine bakılmaksızın karşılaştırmak için önemli bir karşılaştırmacı görevi görür [47]. Aynı zamanda şebekeye bağlı bir PV sistemindeki enerji dönüşümünü de açıklar. Bu nedenle, nihai verimin dizi verimine oranı olarak şu şekilde tanımlanır:

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \quad (3.15)$$

Performans oranı ayrıca aşağıda temsil edilen verimliliklerin çarpımı olarak da ifade edilebilir.

$$PR = \eta_{derece} * \eta_{sıcaklık} * \eta_{toprak} * \eta_{yatırım} \quad (3.16)$$

burada η_{derece} bozunma verimliliğini temsil eder, η_{toprak} kirlenme verimliliğini temsil eder ve η_{inv} invertör verimliliğini temsil eder.

3.2.11 Kapasite Faktörü (CF)

Kapasite faktörü, bir elektrik güç dağıtım sistemi tarafından sağlanan enerjiyi sunmaya yönelik bir metodolojidir. Sistem sürekli olarak tam nominal güç sağlıyorsa CF'si 1 olacaktır. Fiili yıllık enerji çıkışının, FV sistemin bir yıl boyunca günde 24 saat için nominal kapasitesinde sağlayabileceği enerji miktarına oranı olarak tanımlanır [43-50].

$$CF = \frac{Y_{F,yıllık}}{24*365} = \frac{E_{ac,yıllık}}{P_{pv,r}*8760} \quad (3.17)$$

Bir sistemin kapasite faktörü ayrıca şu şekilde de hesaplanabilir:

$$CF = \frac{\frac{saat}{gün} \text{güneşin en yüksek enerji verdiği saat}}{24 \text{ saat/gün}} \quad (3.18)$$

Kapasite faktörü, nihai verimdeki değişimle orantılı olarak değişir.

3.3 Enerji Kaybı

FV hücrenin güç üretmek için çalışması, konveksiyon ve radyasyon yoluyla ısı transferini içerir. Bu durum sistemin performansını daha da azaltan kayıplara neden olur. Daha belirgin olan kayıplar dizi yakalama kaybı, sistem kaybı ve hücre sıcaklığı kaybıdır. Hücre sıcaklığı kaybı, diğer ikisiyle karşılaştırıldığında ihmal edilebilir düzeydedir. Genel bir kural olarak, FV modülünün tepe gücü, standart sıcaklık koşullarının üzerindeki sıcaklıktaki her 1°C'lik artış için %0,3-0,4 oranında azalır [45].

Gerçek çalışma koşullarında aşağıdaki kayıplar sistem performansını artırır:

1. Yüksek hücre sıcaklıklarından kaynaklanan termal kayıplar.
2. Dikey olmayan ışınım nedeniyle optik yansıma kaybı ve düşük ışınım seviyeleri nedeniyle kayıplar.
3. Monte edilmiş FV yapısını çevreleyen nesnelere kaynaklanan gölgelemenin (kısmi gölge) etkileri.

4. Işınım ve sıcaklığın azalması nedeniyle dönüşüm verimliliğinin etkisi, performans oranını düşürmektedir.
5. İnvvertörün açılmasını ve arızasını içeren, sürekli olmayan invertör çalışması.

3.3.1 Dizi Yakalama Kaybı (L_c)

Dizi yakalama kaybı, dizi verimi ile nihai verim arasındaki farkla verilir. Gerçek ışınımın referans veya teorik ışınımdan değişmesi nedeniyle meydana gelen kayıp:

$$L_c = Y_r - Y_a \quad (3.19)$$

burada L_c (saat/gün) cinsinden dizi yakalama kaybını temsil eder [18].

Ayrıca, dizi yakalama kaybı kapsamında, termal yakalama kaybı ve çeşitli yakalama kaybı olarak adlandırılan kayıplar da meydana gelir. Termal yakalama kayıpları L_{ct} modül sıcaklığının 25 °C'nin üzerine çıkması nedeniyle belirgin olan termal enerji kaybıyla ilişkilidir. Referans ve düzeltilmiş referans verimi arasındaki farkla verilir.

$$L_{ct} = Y_r - Y_{cr} \quad (3.20)$$

Çeşitli yakalama kayıpları; kablolama kayıpları, diyot kaybı, gölgeleme etkileri, düşük ısıtım, modül üzerinde toz birikmesi, uyumsuzluk kayıpları ve maksimum güç noktası takibinden kaynaklanan kayıplar gibi birçok nedenden kaynaklanmaktadır [47]. Bu düzeltilmiş referans verimi ile dizi verimi arasındaki farkla verilir [48].

$$L_{cm} = Y_{cr} - Y_a \quad (3.21)$$

3.3.2 Sistem Kaybı (L_s)

Bu kayıp (saat/gün) invertörün izlenen süre boyunca süreksiz çalışması nedeniyle oluşur ve şu şekilde verilir [47]:

$$L_s = Y_a - Y_f \quad (3.22)$$

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

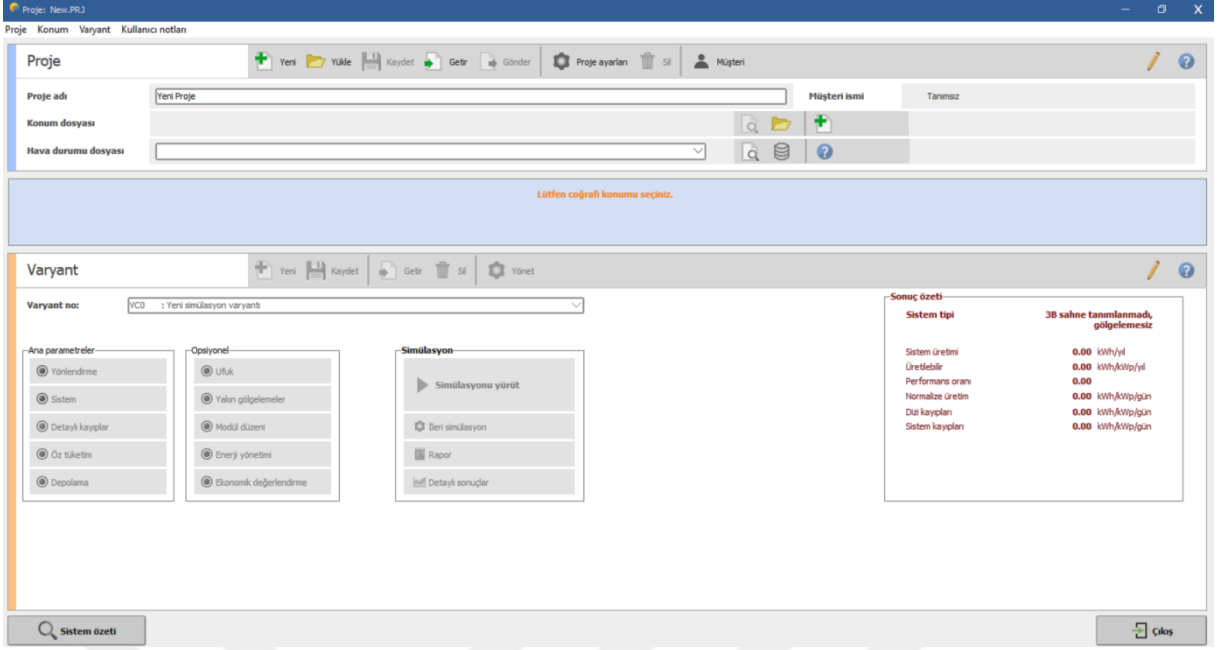
Bu çalışmada Bigadiç İlçesi Okçular Mahallesi'nde bulunan sabit eğimli FV panellerden oluşan 1,17 MWp gücündeki Bigadiç GES'nin enerji performans değerlendirilmesi, kantitatif analiz parametreleri olarak da adlandırılan ve IEC 61724 FV Sistem Performansı Standardında açıklanan enerji performans değerlendirme parametrelerine göre yapılmıştır. Bu parametreler arasında enerji çıkışı, dizi verimi, nihai verim, referans verimi, FV modül verimliliği, invertör verimliliği, sistem verimliliği, dizi yakalama kaybı ve sistem kaybından oluşan enerji kaybı, performans oranı ve kapasite faktörü yer almaktadır. Bu doğrultuda, standartta belirtilen ilgili ölçüm ve hesap parametreleri, sistemin Mayıs 2023 – Nisan 2024 tarihlerini kapsayan bir yıllık izleme süreci boyunca analiz edilmiştir. Sonuçları önemli derecede etkileyecek derecede veri kaybının yaşandığı Şubat-2024 verileri, analizlere dâhil edilmemiştir. Daha sonra FV santrali, çalışma koşulları dikkate alınarak PVsyst simülasyon programında modellenmiş ve simülasyon ile elde edilen sonuçlar ölçüme dayalı analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, oluşturulan PVsyst modeli üzerinde yapılan değişikliklerle, santrali oluşturan sabit eğimli FV panellerde yapılacak farklı yönlendirmelerin (panellere mevsimsel eğim açısı verilmesi, güneşin tek ya da çift eksenli takibi), santral enerji çıktısı ve performans parametreleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

4.1 PVsyst Programı ile FV Güç Santralinin Modellenmesi

PVsyst programı açıldığında ana sayfaya ulaşılır ve burada yer alan "Proje tasarımı ve simülasyon" bölümü, yazılımın ana parçası olup bir projenin tam olarak incelenmesi için kullanılır. Bu bölüm, meteorolojik verilerin seçimini, sistem tasarımını, gölgeleme çalışmalarını, kayıpların belirlenmesini ve ekonomik değerlendirmeyi içerir (Şekil 4.1). Daha sonra "Şebekeye bağlı" bir proje seçilerek proje yönetimi kontrol paneline ulaşılır (Şekil 4.2).



Şekil 4.1: PVsyst programının ana sayfası.



Şekil 4.2: PVsyst programı proje yönetim kontrol paneli.

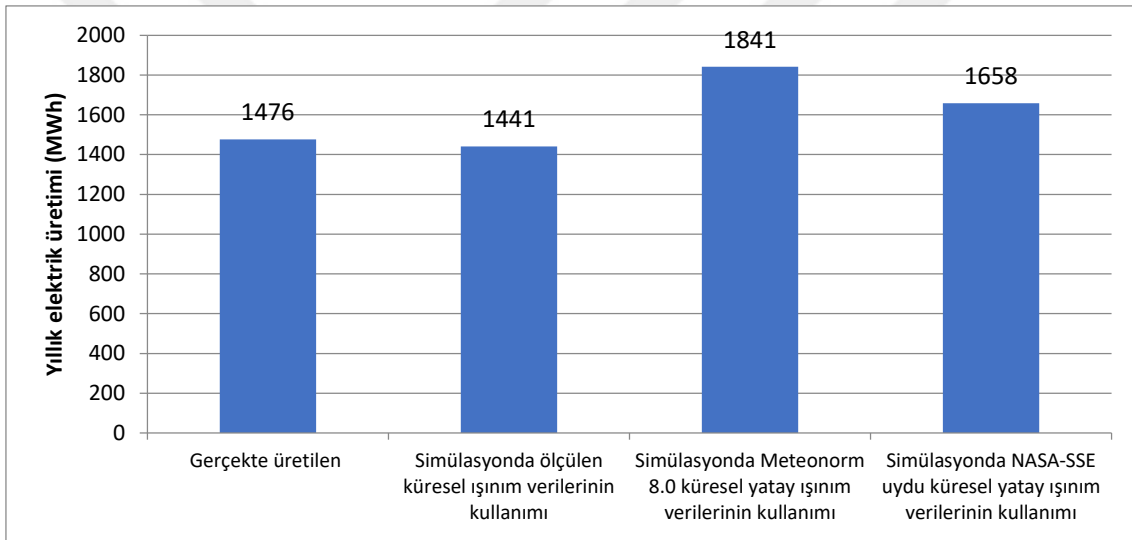
Kontrol paneli iki bölümden oluşmaktadır:

1. “Proje”: Sisteminizin farklı değişkenlerini (sistem konfigürasyonları veya hesaplama değişkenleri olarak da adlandırılır) oluşturacağınız projenizin temel tanımına olanak tanıyan merkezi nesnedir. Proje, sisteminizin coğrafi konumunu, meteorolojik verileri içeren bir dosyaya referansı ve Albedo tanımı gibi bazı genel parametreleri, bazı boyutlandırma koşullarını ve bu projeye özel parametreleri içerir.

2. “Varyant”: Her sistem varyantı, sisteminizin tüm ayrıntılı tanımlarını içerir ve bu, bir simülasyon hesaplamasıyla sonuçlanacaktır. Bu tanımlar, güneş panelleri ve invertörlerin seçimini ve sayısını, geometrik düzeni ve olası gölgelermeleri, elektrik bağlantılarını, farklı ekonomik senaryoları vb. içerir. Proje başına 936’ya kadar Varyant tanımlanabilir.

Modellemenin “Proje” bölümünde “Konum” girişi, PVsyst programına santralin yer aldığı mahalle adı seçilerek değil, santralin gerçek coğrafi koordinatları girilerek gerçekleştirilmiştir. Ayrıca santralde ölçüm sonucu elde edilen aylık ortalama küresel ışınım değerleri programa girilerek, programın veri tabanının küresel ışınım değerleri kısmında özelleştirme yapılmıştır. Bu sayede gerçek ışınım verilerinin modellemeye dâhil edilerek, PVsyst’de oluşturulan santral modelinin, gerçek santrali daha iyi canlandırabilmesi amaçlanmıştır. Bu durum kendini, santralin gerçek ve PVsyst simülasyonu sonucu elde

edilen yıllık (Şubat ayı dikkate alınmadan) elektrik üretim değerlerinde açık bir şekilde göstermektedir. Buna göre yıllık elektrik üretim değeri, santralde 1476 MWh olarak ölçülmüşken; PVSyst programında, gerçek aylık küresel ışınım değerlerinin kullanılması durumunda 1441 MWh, 2005-2013 yılları arasındaki 8 yıllık ortalama veriye dayalı Meteororm 8.0 verileri kullanılması durumunda 1841 MWh ve 22 yıllık ortalama veriye dayalı NASA-SSE uydu verileri kullanılması durumunda ise 1658 MWh olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.3). PVSyst’de küresel yatay ışınım verileri için Meteororm verilerinin kullanımı sonucunda elde edilen yıllık elektrik üretim değeri, gerçek elektrik üretim değerinden %24,73 oranında daha büyük çıkmışken, PVSyst’de gerçek ışınım verilerinin kullanımı durumunda oluşan hata oranı ise sadece %2,37 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.3: Santralin gerçek ve simülasyona dayalı yıllık elektrik üretim değerlerinin karşılaştırılması.

PVSyst'te bir proje geliştirirken aşağıda belirtilen küçük adımlarla ilerlenmesi önerilmektedir:

- Coğrafi konum ve meteorolojik veriler belirtilerek proje oluşturulması,
- Daha sonra yapılacak değişikliklerle iyileştirilmek üzere, yalnızca FV modüllerinin yönünü, gerekli gücü veya mevcut alanı ve kullanmak istediğiniz FV modülleri ve invertörlerin türünü içeren temel bir sistem varyantının tanımlanması (PVSyst bu seçim için

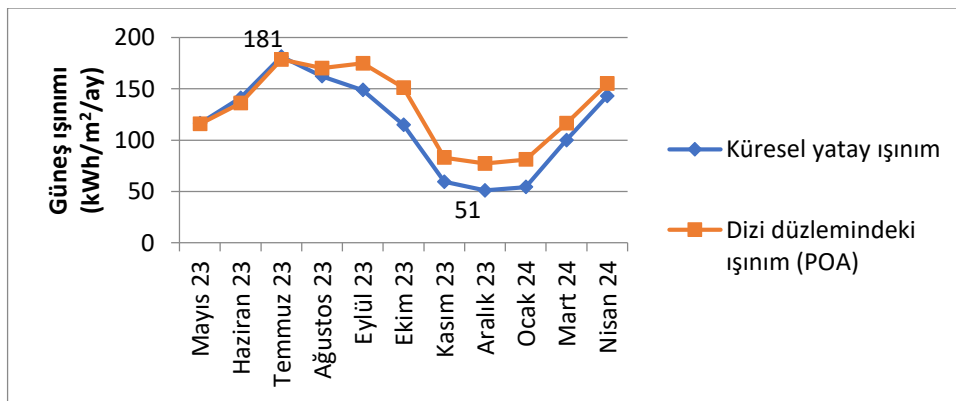
temel bir konfigürasyon önerecek ve ilk hesaplama için gerekli olan tüm parametreler için makul varsayılan değerleri ayarlayacaktır),

– Uzak gölgelemeler, yakın gölgelemeler, belirli kayıp parametreleri, ekonomik değerlendirme vb. gibi değişkenlerin bu ilk sisteme aşamalı olarak eklenmesi. Kontrol panelinde yer alan "Proje ayarları" bölümünde, Albedo değerleri, tasarım koşulları, tasarım sınırlamaları ve ara yüz tercihleri gibi ortak proje parametrelerine erişim sağlanır. Bu çalışmada "Proje ayarları" bölümünde yer alan "Albedo" (yansıtma katsayısı), "Tasarım koşulları", "Diğer sınırlamalar" ve "Tercihler" gibi sekmelerdeki parametrelerin default değerleri değiştirilmeden kabul edilmiştir.

4.2 Performans Analizi Sonuçları

4.2.1 Hava Durumu Verileri

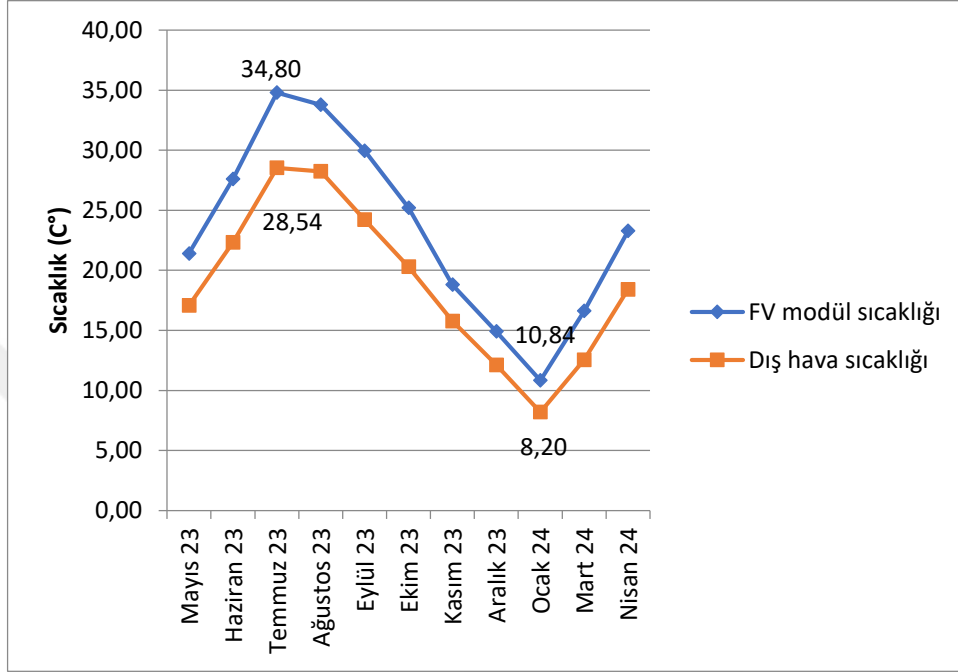
FV güç santrali sahasında 1 Mayıs 2024 – 30 Nisan 2024 tarihleri arasında ölçülen küresel yatay ışınım verilerinin aylık ortalama değerleri, dizi düzlemindeki aylık ortalama ışınım değerleriyle birlikte olarak Şekil 4.4'te verilmiştir. Şekilde verilen dizi düzlemindeki ışınım değerleri, PVsyst programı tarafından, programa girilen aylık küresel yatay ışınım ölçüm değerleri kullanılarak, elde edilmiştir. FV santral izleme döneminde ortalama aylık küresel yatay ışınım değeri 113 kWh/m²/ay; en düşük ve en yüksek küresel yatay ışınım verileri ise Aralık-2023 ve Temmuz 2023 aylarında, sırasıyla, 51 ve 181 kWh/m²/ay olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.4: Aylık ortalama küresel yatay ışınım ve dizi düzlemindeki ışınım.

Santral sahasında yapılan ölçümler sonucu izleme dönemine ait aylık ortalama FV modül ve dış hava sıcaklık değerleri Şekil 4.5'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Buna göre Temmuz

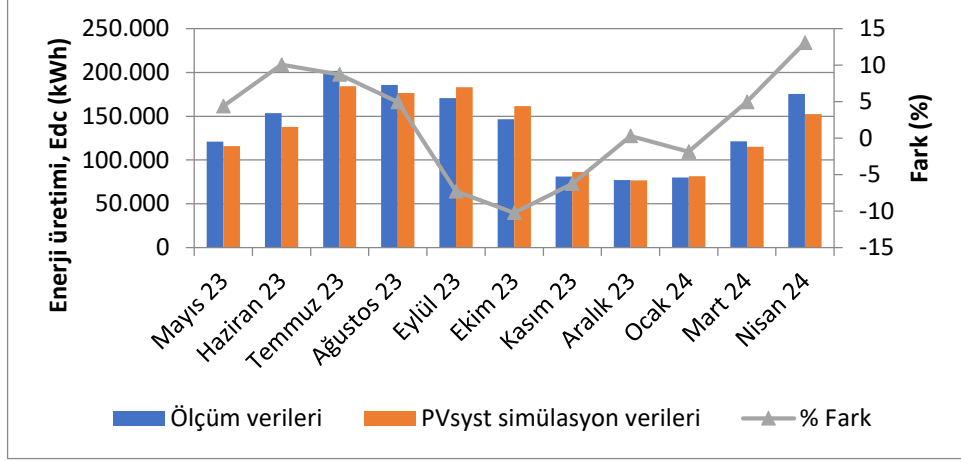
ayı modül ve dış hava sıcaklık ortalaması en yüksek ay olurken, Ocak 2024 her iki sıcaklığın da en düşük olduğu ay olmuştur. İzleme dönemi içerisinde görülen saatlik ortalama en yüksek modül sıcaklığı 25 Temmuz 2023 tarihinde saat 14.00'te 53,73 °C; en yüksek dış hava sıcaklık değeri ise 26 Temmuz 2023 saat 15.00'te 41,16 °C olarak kaydedilmiştir.



Şekil 4.5: Aylık ortalama FV modül ve dış hava sıcaklıkları.

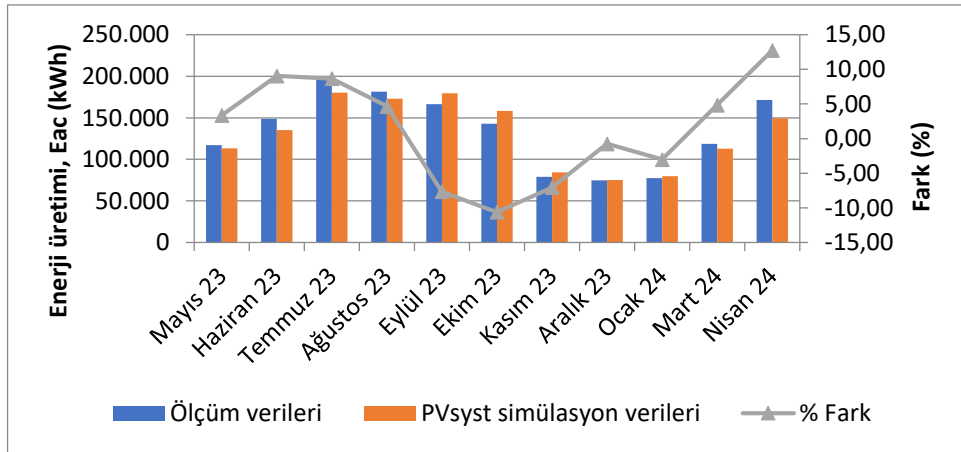
4.2.2 Enerji Üretimi

İzleme dönemi boyunca FV santral dizi sistemi tarafından üretilen aylık elektrik enerjisinin gerçek değerleri ile PVsyst tarafından elde edilen simülasyon değerleri, karşılaştırmalı olarak Şekil 4.6'da verilmiştir. Buna göre santral dizi sistemi, izleme dönemi boyunca toplam 1.514.096 kWh elektrik üretirken, PVsyst programı aynı döneme ait elektrik üretim değerini gerçek değerden %2,82 daha az, 1.471.271 kWh olarak bulmuştur. Ölçüm ve simülasyon verileri arasındaki en büyük fark %13 ile Nisan 2024'te; en küçük fark ise %0,29 ile Aralık 2023'te görülmüştür.



Şekil 4.6: FV dizi sistemi tarafından üretilen aylık elektrik enerjisinin ölçülen ve simüle edilen değerleri.

İzleme dönemi boyunca FV santrali tarafından şebekeye beslenen aylık elektrik enerjisinin gerçek değerleri ile PVsyst tarafından elde edilen simülasyon değerleri, karşılaştırmalı olarak Şekil 4.7’de verilmiştir. Buna göre santral dizi sistemi, izleme dönemi boyunca toplam 1.475.783 kWh elektrik üretirken, PVsyst programı aynı döneme ait elektrik üretim değerini gerçek değerden %2,3 daha az, 1.441.689 kWh olarak bulmuştur. Ölçüm ve simülasyon verileri arasındaki en büyük fark %12,73 ile Nisan 2024’te; en küçük fark ise -%0,74 ile Aralık 2023’te görülmüştür.

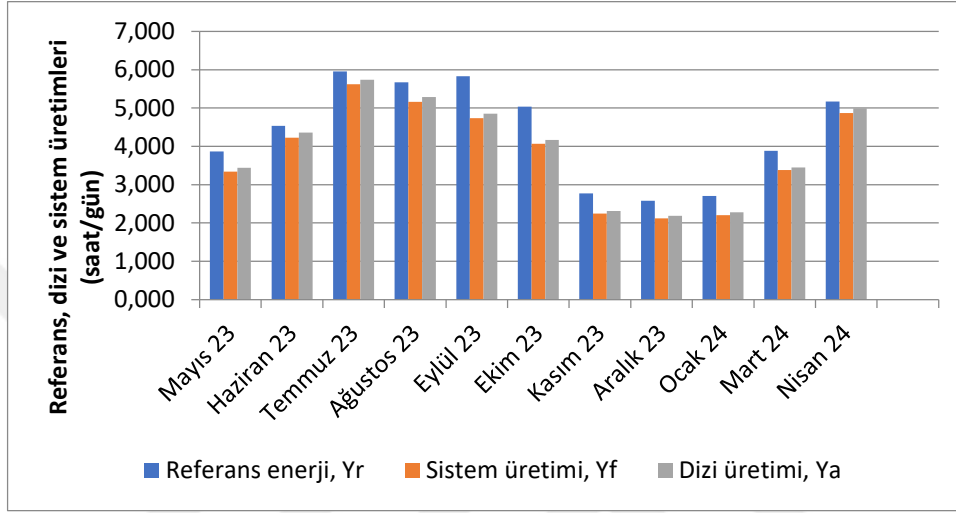


Şekil 4.7: Şebekeye beslenen aylık elektrik enerjisinin ölçülen ve simüle edilen değerleri.

4.2.3 Normalize Performans Katsayıları

Santralin, izleme dönemine ait aylık ortalama günlük referans enerji, sistem üretimi ve dizi üretimi değerleri Şekil 4.8’te verilmiştir. Referans verimdeki eğilim, Şekil 4.4’te gösterilen

toplam küresel düzlem içi güneş ışınımına ait eğilimle aynıdır. Bunun nedeni, referans enerjinin, 1 kW/m^2 referans güneş ışınımına normalize edilmiş toplam küresel düzlem içi güneş ışınımı olmasıdır. Şekil 4.8’te görüleceği gibi izleme dönemi boyunca dizi üretimi (Ya) değerleri 2,19-5,74 saat/gün arasında; sistem üretimi (Yf) değerleri ise 2,12-5,62 saat/gün arasında değişmektedir.

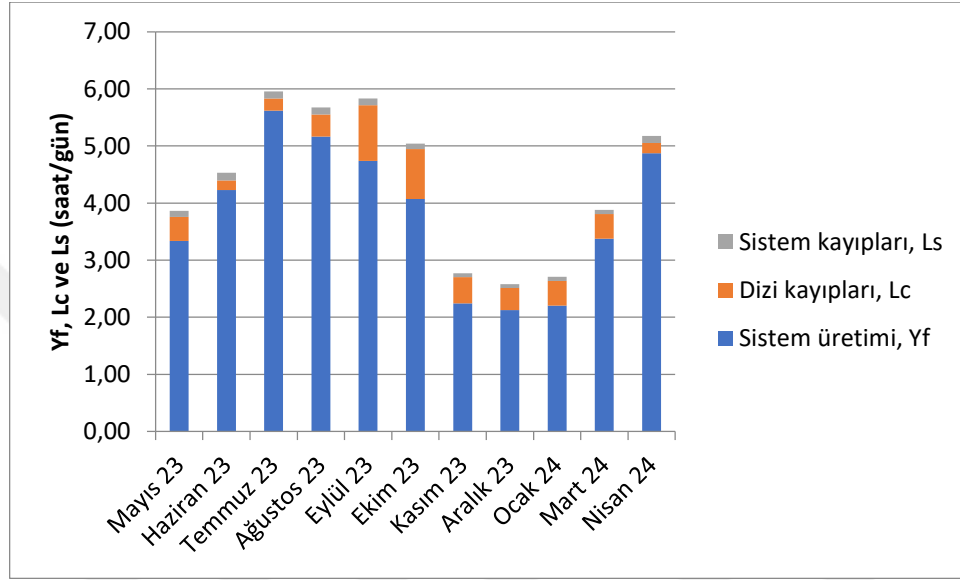


Şekil 4.8: Aylık ortalama günlük referans, dizi ve sistem üretimleri.

4.2.4 Normalize Kayıplar

Santralin, izleme dönemine ait aylık ortalama günlük dizi ve sistem kayıpları Şekil 4.9’da verilmiştir. Dizi kaybı L_c , FV modüllerinin çalışması sırasında meydana gelen tüm kayıpları temsil eder. Dizinin, kayıpları karşılamak için nominal gücünde çalışması gereken süreyi belirtir. Dizi kayıplarının günlük değerlerinin aylık ortalaması, tüm aylar için 1 saatten az olarak ortaya çıkmıştır. Dizi kaybı değerinin en küçük ve en büyük değerleri 0,17 ile 0,98 saat/gün olarak, sırasıyla Eylül 2023 ve Haziran 2023 aylarında gözlenmiştir. Düşük güneşlenme altında modüllerin verim kaybından kaynaklanan kayıplar; FV santralının kabloları, dirençleri ve dizi diyotlarındaki kayıplar dizi kayıpları arasında gösterilebilir. Bu kayıplar ayrıca, gölgeleme, kirlenme, maksimum güç noktası izleme hataları, invertör arızası, devre kesicinin tetiklenmesi, hatalı FV modülleri, güneş ışınımı ölçüm hataları ve uzun süreli şebeke elektrik kesintilerinin bir sonucu da olabilir. Dizi kayıpları, tüm bileşenlerinin düzgün ve optimum şekilde çalıştığından emin olmak için FV tesisini düzenli olarak kontrol ederek azaltılabilir. Eğer bileşenler düzgün bir şekilde çalışmıyorsa, bakımı için uygun önlemlerin alınması gerekir. Örneğin, FV dizisinin düzenli olarak

temizlenmesiyle kirlenme etkisi azaltılabilirken arızalı FV modüllerinin değiştirilmesi de bu kayıpları azaltacaktır [21]. Sistem kaybı L_s , invertörün, AC transformatörün ve kabloların süreksiz çalışması gibi AC tarafındaki enerji kaybıyla ilişkilidir. Sistem kaybı değerinin en küçük ve en büyük değerleri 0,07 ile 0,14 saat/gün olarak, sırasıyla Kasım 2023 ve Haziran 2023 aylarında gözlenmiştir.

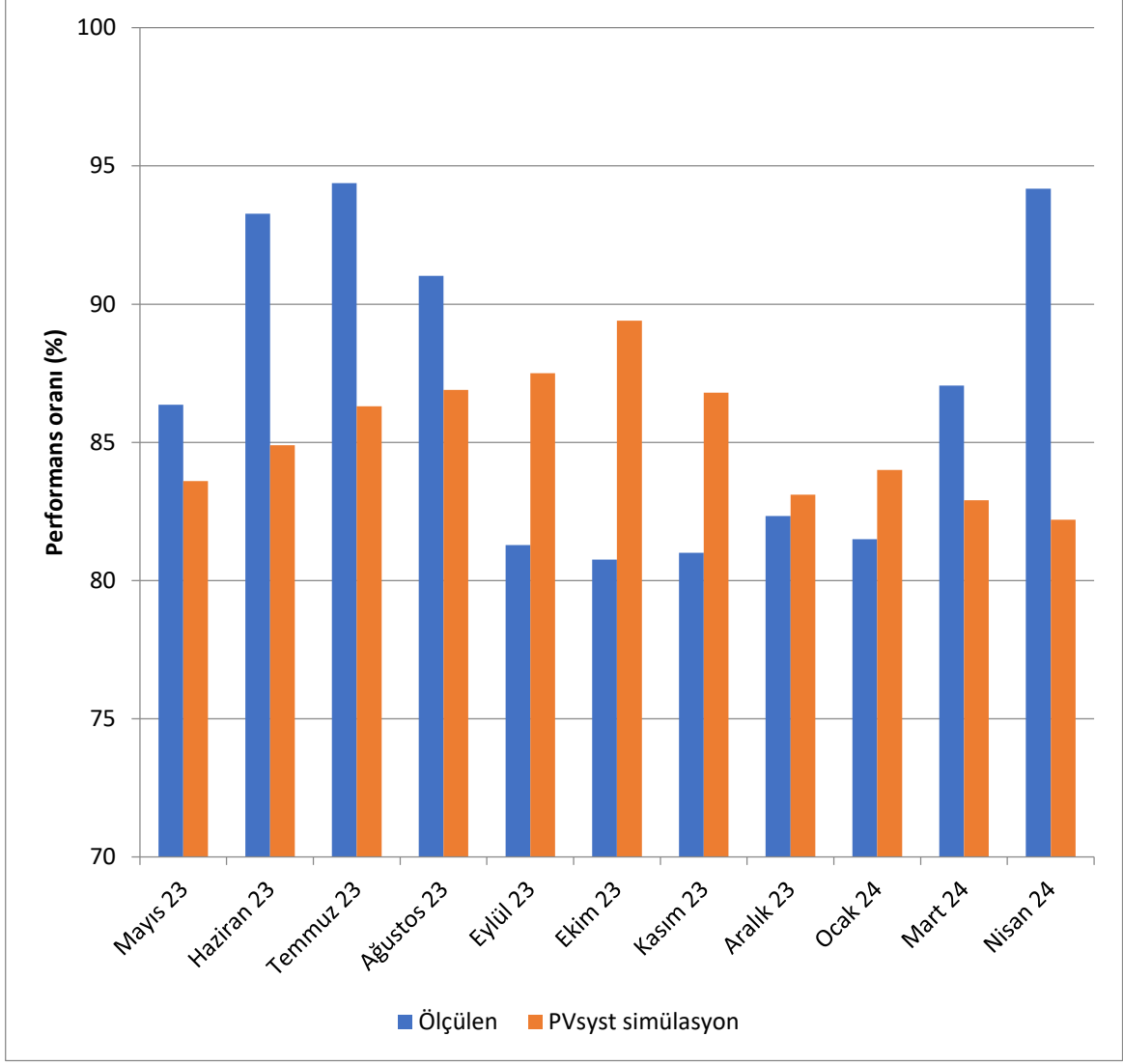


Şekil 4.9: Aylık ortalama günlük dizi ve sistem kayıpları.

4.2.5 Performans Oranı

Performans oranı PR , FV santrallerde sıcaklık nedeniyle güç kaybı, kablolama kaybı, uyumsuzluk kaybı vb. gibi çıkış üzerindeki kayıpların genel etkisini temsil eder. PR , tepe güç kapasitelerine, coğrafi konumlarına ve montaj yapılarına bakılmaksızın farklı FV sistemlerini karşılaştırmak için kullanılabilir [51]

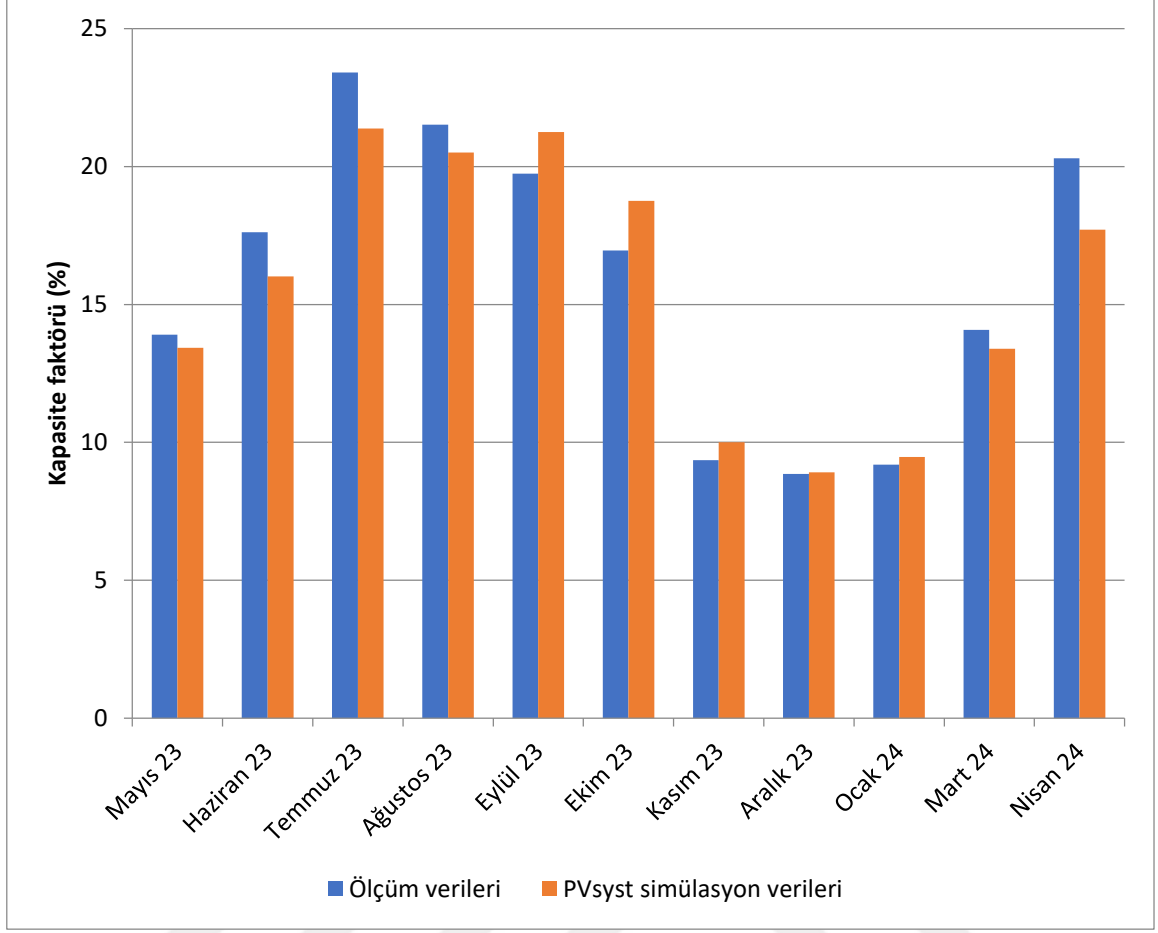
Hem gerçek ölçülen hem de PVsyst simülasyonu sonucu elde edilen performans oranının aylık değişimi Şekil 4.9'da verilmiştir. Ölçülen performans oranı değerinin en küçük ve en büyük değerleri %80,7 ile %94,4 olarak, sırasıyla Ekim 2023 ve Temmuz 2023 aylarında gözlenirken, yıllık ortalama değer, %86,6 olmuştur. Bununla birlikte PR değerleri mevsimsel ortalamaları, yaz ayları için %92,9, ilkbahar ayları için %89,2, kış ayları için %89,2 ve sonbahar ayları için %81,0 olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 4.10: Aylık ortalama performans oranlarının ölçülen ve simüle edilen değerleri.

4.2.6 Kapasite Faktörü

Bir FV santralinin gerçekleşen yıllık enerji çıkışının, santralin bir yıl boyunca günde 24 saat için nominal kapasitesinde sağlayabileceği enerji miktarına oranı olarak tanımlanan kapasite faktörünün (CF) aylık değişimi, PVsyst simülasyonu sonucu elde edilen değerleri ile birlikte Şekil 4.10'da verilmiştir. CF değerinin en küçük ve en büyük değerleri %8,85 ile %23,4 olarak, sırasıyla Aralık 2023 ve Temmuz 2023 aylarında gözlenirken yıllık ortalama değeri %15,9 olmuştur. PVsyst simülasyonu sonucu elde edilen yıllık CF değeri %15,5 olurken, aylık ortalama CF 'nin ölçüm ve simülasyon değerleri arasındaki farkın %1-%12 arasında değiştiği hesaplanmıştır.

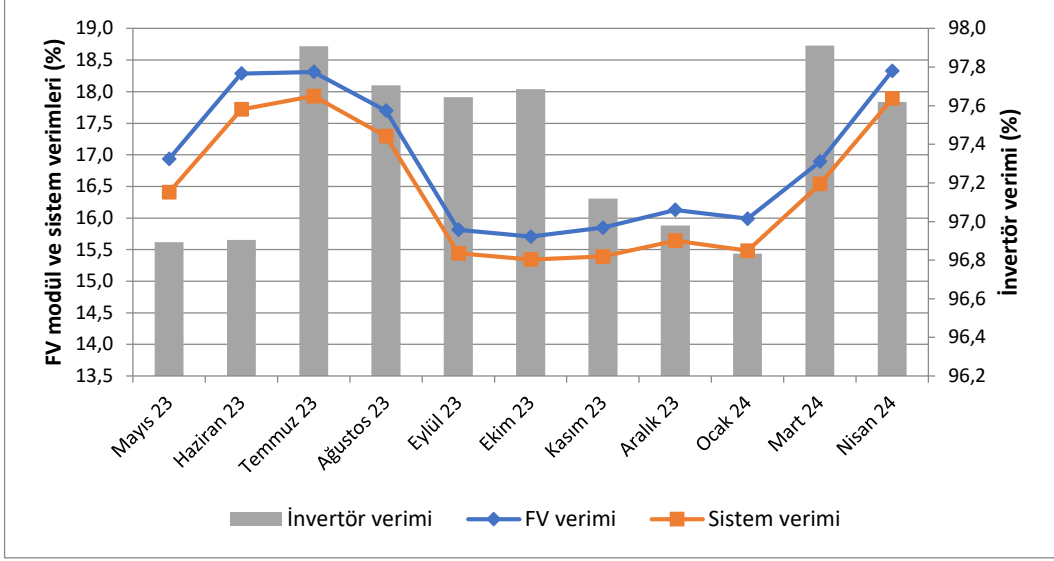


Şekil 4.11: Aylık ortalama kapasite faktörlerinin ölçülen ve simüle edilen değerleri.

4.2.7 İnvörtör, Dizi ve Sistem Verimleri

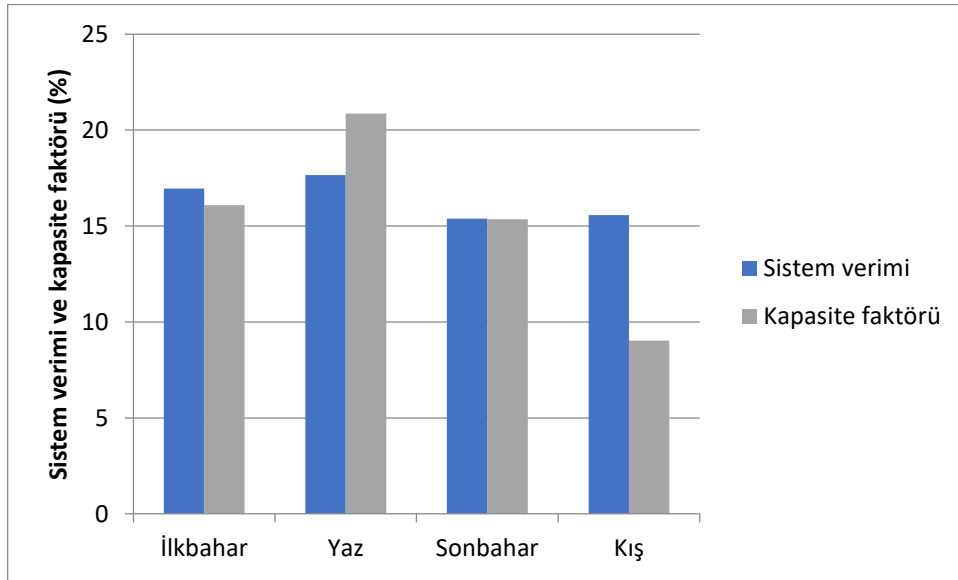
FV santrale ait aylık ortalama invertör, dizi ve sistem verimleri Şekil 4.11’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. İnvörtör verimi değerinin en küçük ve en büyük değerleri %96,83 ile %97,91 olarak, sırasıyla Ocak 2024 ve Mart 2024 aylarında gözlenirken yıllık ortalama değeri %97,38 olmuştur.

Dizi verimi değerinin en küçük ve en büyük değerleri %15,71 ile %18,33 olarak, sırasıyla Ekim 2023 ve Nisan 2024 aylarında gözlenirken yıllık ortalama değeri %16,90 olmuştur. Bununla birlikte, sistem verimi değerinin en küçük ve en büyük değerleri %15,34 ile %17,93 olarak, sırasıyla Ekim 2023 ve Temmuz 2023 aylarında gözlenirken yıllık ortalama değeri %16,46 olmuştur.

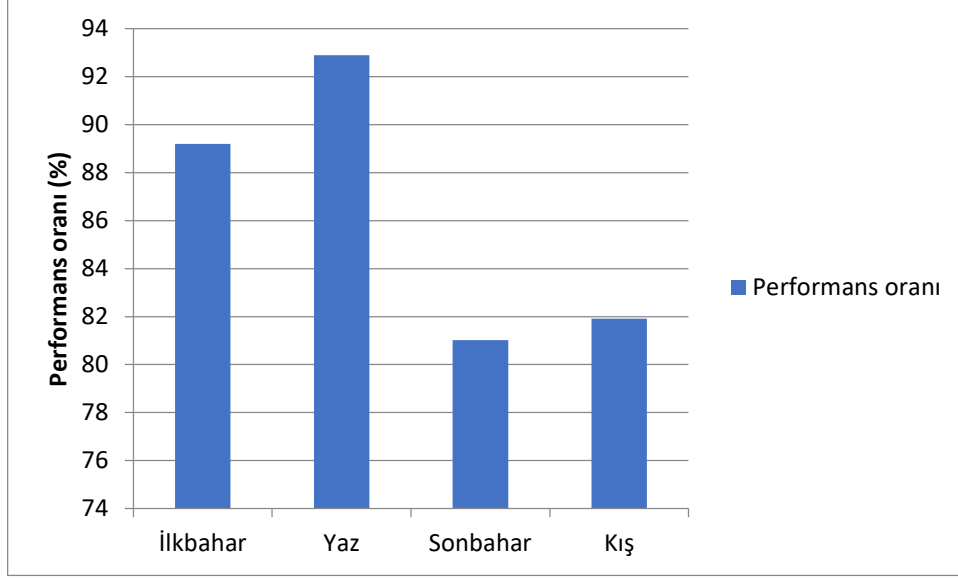


Şekil 4.12: Aylık ortalama invertör, dizi ve sistem verimleri.

Sistem verimi, kapasite faktörü ve performans oranının mevsimsel değişimi Şekil 4.12 ve 4.13'te verilmiştir. Buna göre her üç parametrenin en büyük değeri yaz aylarında gözlenirken, en küçük sistem verimi ve performans oranı değerleri sonbahar ve en küçük kapasite faktörü değeri ise kış mevsiminde gözlenmiştir.



Şekil 4.13: Sistem verimi ve kapasite faktörünün mevsimsel değişimi.



Şekil 4.14: Performans oranının faktörünün mevsimsel değişimi.

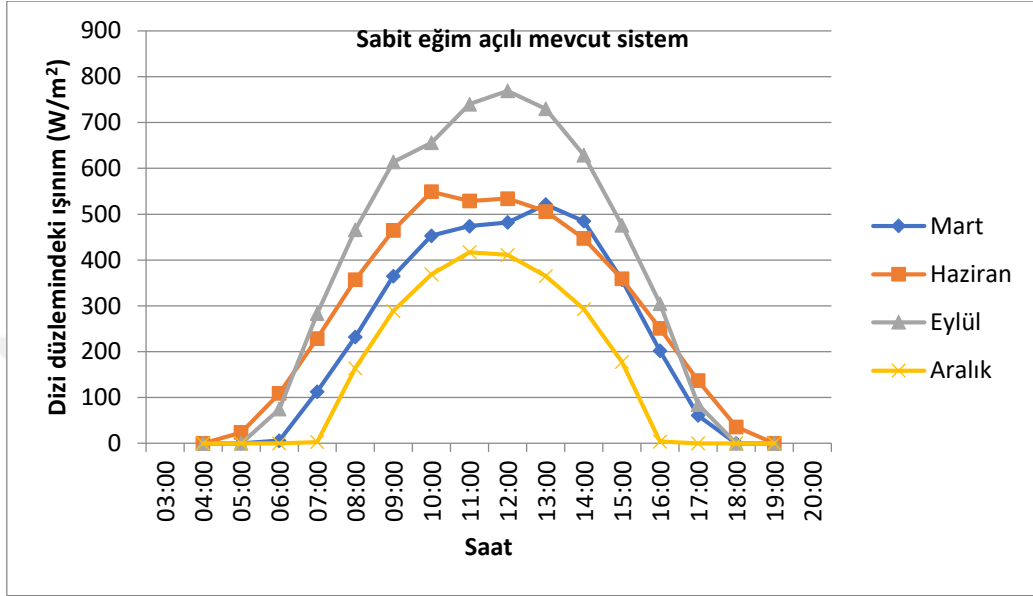
4.3 FV Panellerde Yapılacak Farklı Yönlendirmelerin Sistem Performansı Üzerine Etkisi

FV santralde yer alan paneller 25° sabit eğim açısına sahip olup, paneller tam güneye bakacak şekilde (yüzey azimut açısı 0°) konumlandırılmıştır. Sistemin yer aldığı arazinin düz olduğu kabul edilerek, arazi eğimi bu çalışmada dikkate alınmamıştır.

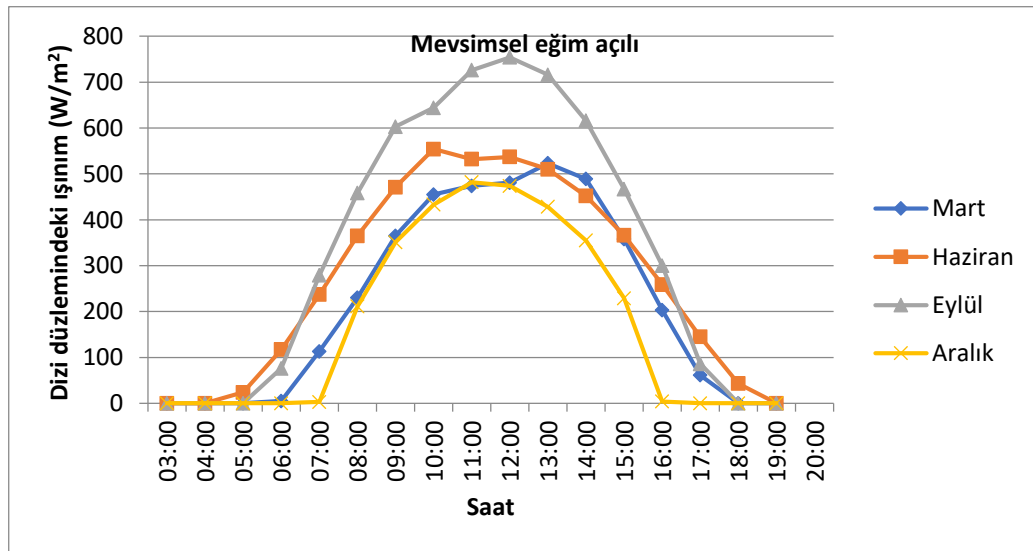
PVsyst programı, bünyesinde yer alan FV panel yönlendirme opsiyonu sayesinde, birçok farklı yönlendirme seçeneğinin santral performans simülasyonunu gerçekleştirebilmektedir. Panellerin güneş konumuna göre gün içinde sürekli ya da mevsimsel olarak yönlendirilmesiyle, güneş geliş açıları minimize edilerek daha fazla güneş enerjisinden yararlanılabilmektedir. Çalışmada, mevcut FV santrali için oluşturulan PVsyst model dosyası üzerinde yapılan farklı panel yönlendirme varyantlarının etkileri incelenmiştir. Panel eğim açılarının mevsimsel optimizasyonu, panellerin yatay K-G ve yatay D-B eksenlerinde döndürülmesi suretiyle güneşin tek eksenli takibi ya da güneşin çift eksenli takibi gibi yönlendirmelerin, santral enerji çıktısı ve performans parametreleri üzerindeki etkisi aşağıda sırasıyla gösterilmiştir.

FV santralinde, farklı FV panel yönlendirmeleri için düzlem içi küresel ışınım değerlerinin aylık ortalama saatlik değerleri Şekil 4.14-4.18 arasında verilmiştir. Ortalamaların alındığı aylar, ekinoks ve dönence tarihlerini kapsamaları nedeniyle Mart, Haziran, Eylül ve Aralık

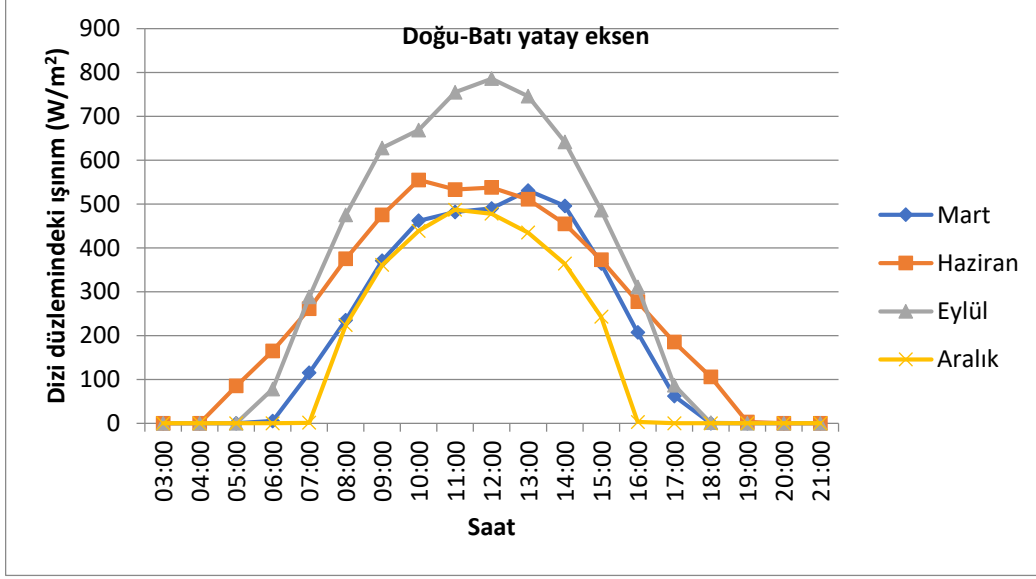
ayları olarak seçilmiş ve tüm grafikler, PVsyst programından elde edilen verilere göre çizilmiştir. Programdan elde edilen düzlem içi küresel ışınım değerlerinin, FV santral sahasından ölçüm yoluyla elde edilen ve PVsyst programına girilen gerçek aylık küresel yatay ışınım verileri ile elde edildiği göz ardı edilmemelidir.



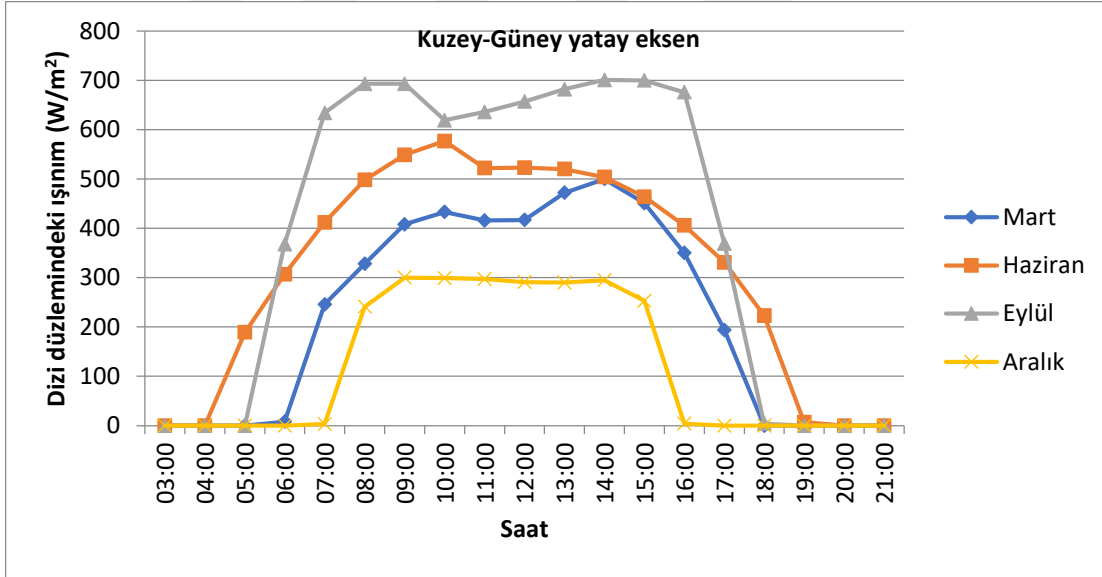
Şekil 4.15: Sabit eğim açılı mevcut sistem için aylık ortalama saatlik düzlem içi ışınım değerleri.



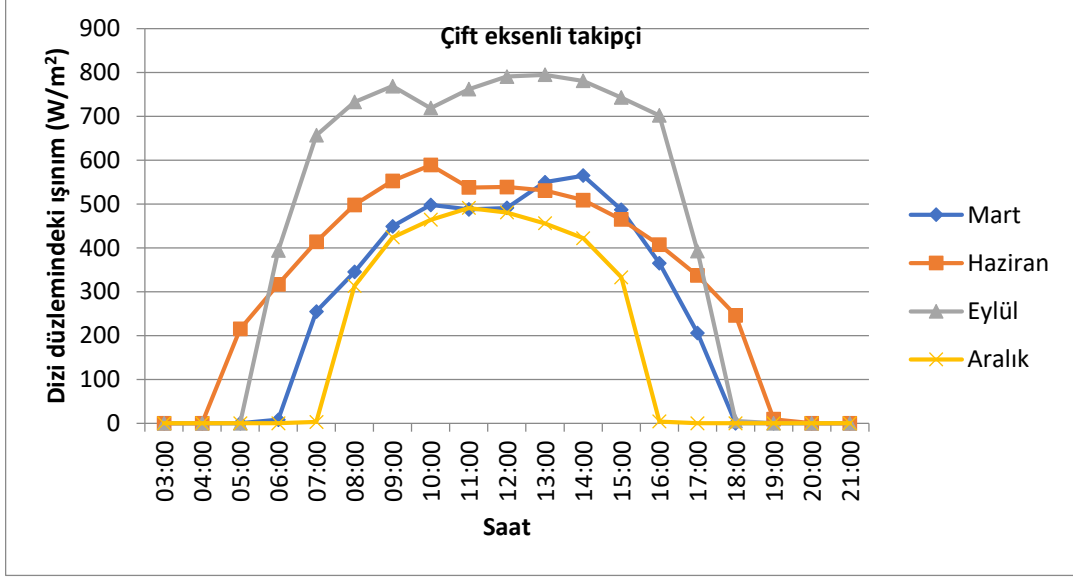
Şekil 4.16: Santraldeki panellere mevsimsel eğim açısı verilmesi durumunda aylık ortalama saatlik düzlem içi ışınım değerleri.



Şekil 4.17: Santraldeki panellerin yatay D-B eksenini etrafında dönerek güneşi takip etmesi durumunda aylık ortalama saatlik düzlem içi ışıma değerleri.

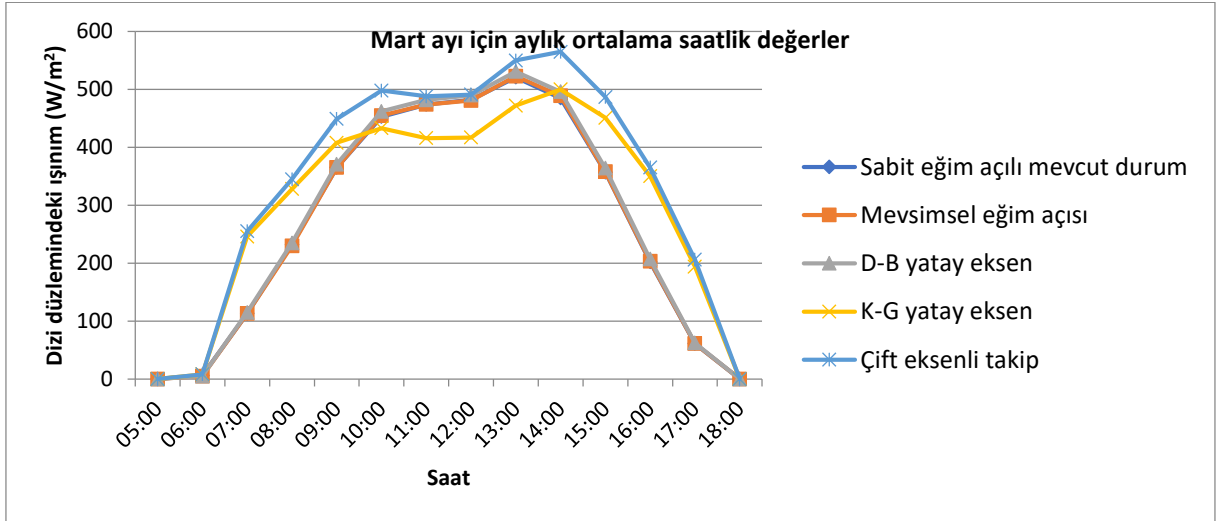


Şekil 4.18: Santraldeki panellerin yatay K-G eksenini etrafında dönerek güneşi takip etmesi durumunda aylık ortalama saatlik düzlem içi ışıma değerleri.

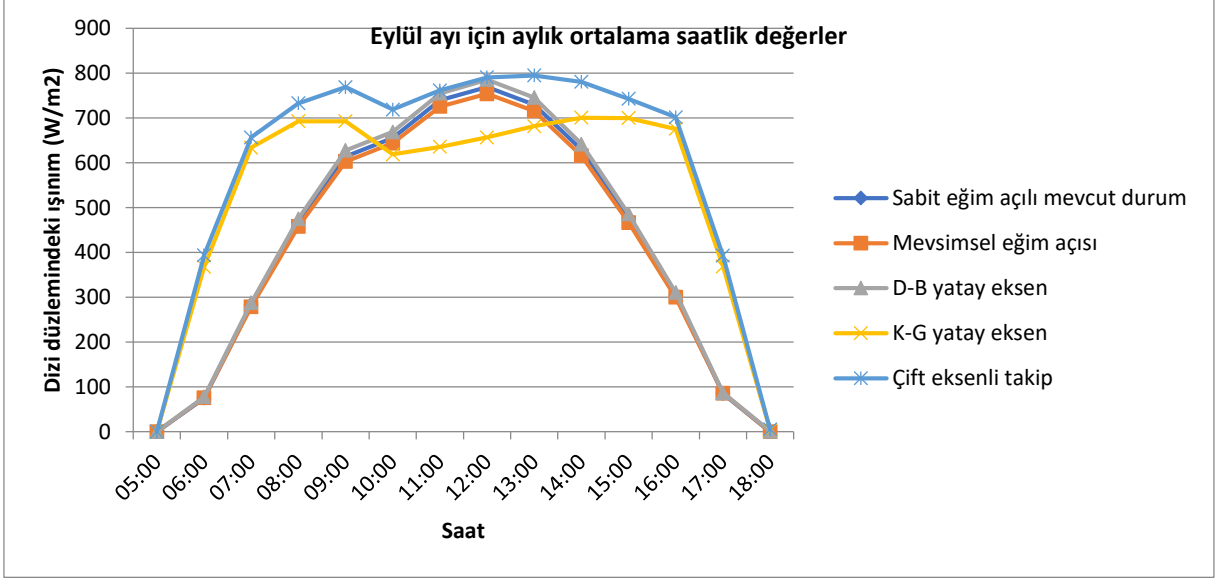


Şekil 4.19: Santraldeki panellerin güneşi çift eksende olarak takip etmesi durumunda aylık ortalama saatlik düzlem içi ışınlam değerleri.

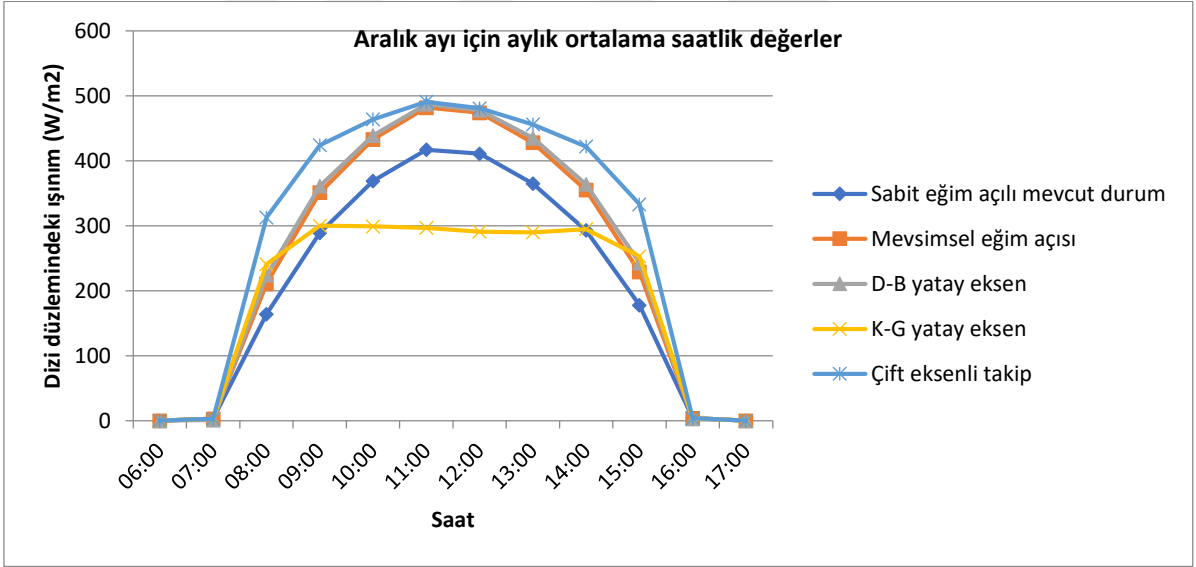
FV santralinde, aylara göre farklı FV panel yönlendirmelerinde görülecek düzlem içi küresel ışınlam değerlerinin yıllık ve aylık ortalama saatlik değerleri, PVsyst programından elde edilen değerler kullanılarak grafik haline getirilmiş ve Şekil 4.19-4.23 arasında sunulmuştur.



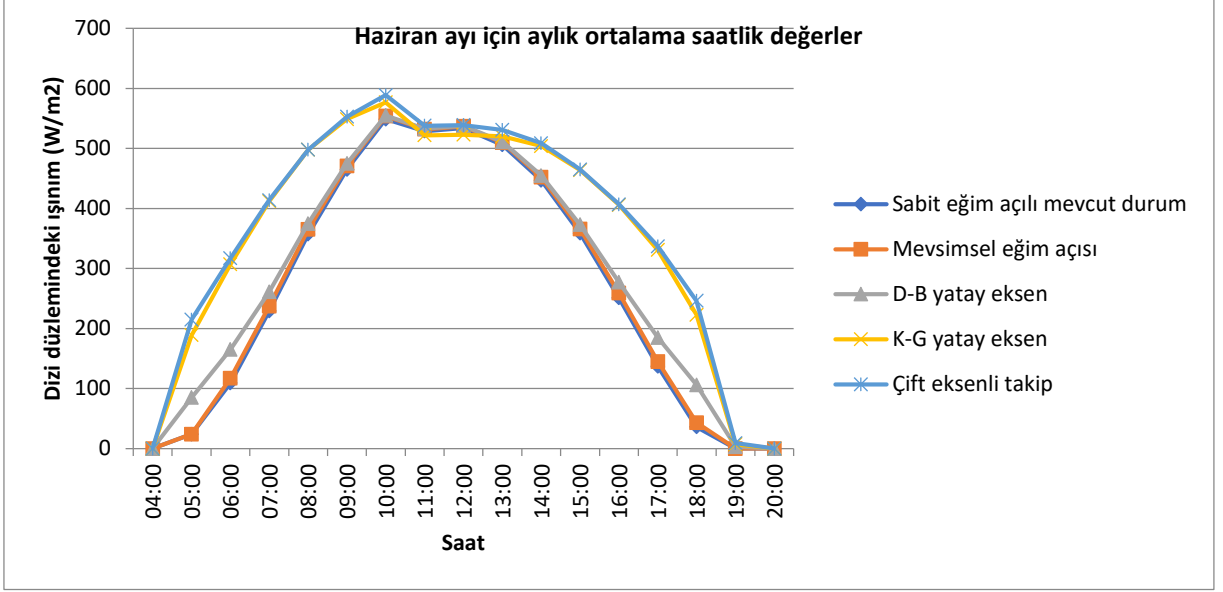
Şekil 4.20: Mart ayı için farklı panel yönlendirmelerine göre elde edilecek düzlem içi ışınlam değerleri.



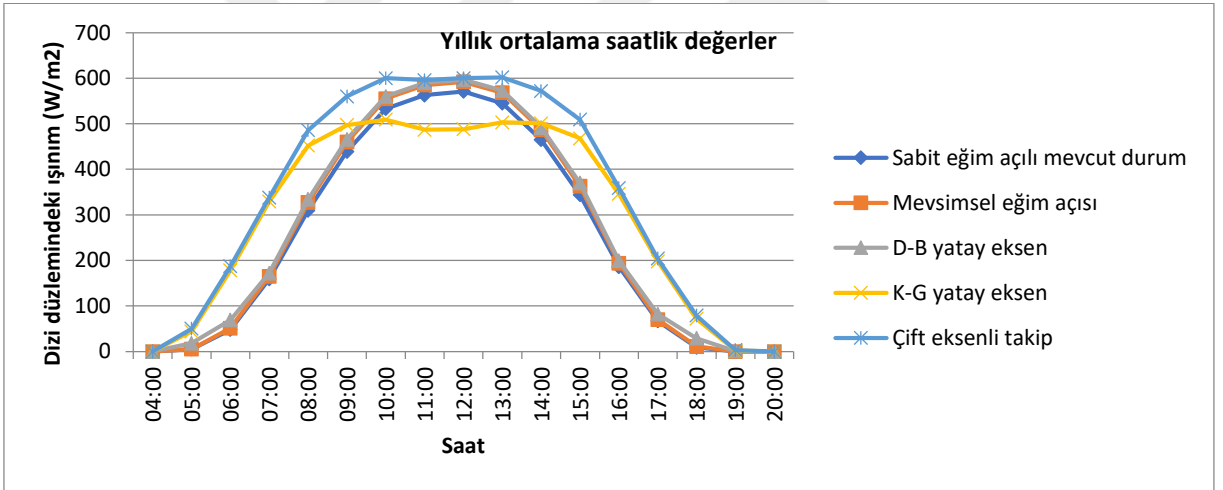
Şekil 4.21: Eylül ayı için farklı panel yönlendirmelerine göre elde edilecek düzlem içi ışınım değerleri.



Şekil 4.22: Aralık ayı için farklı panel yönlendirmelerine göre elde edilecek düzlem içi ışınım değerleri.



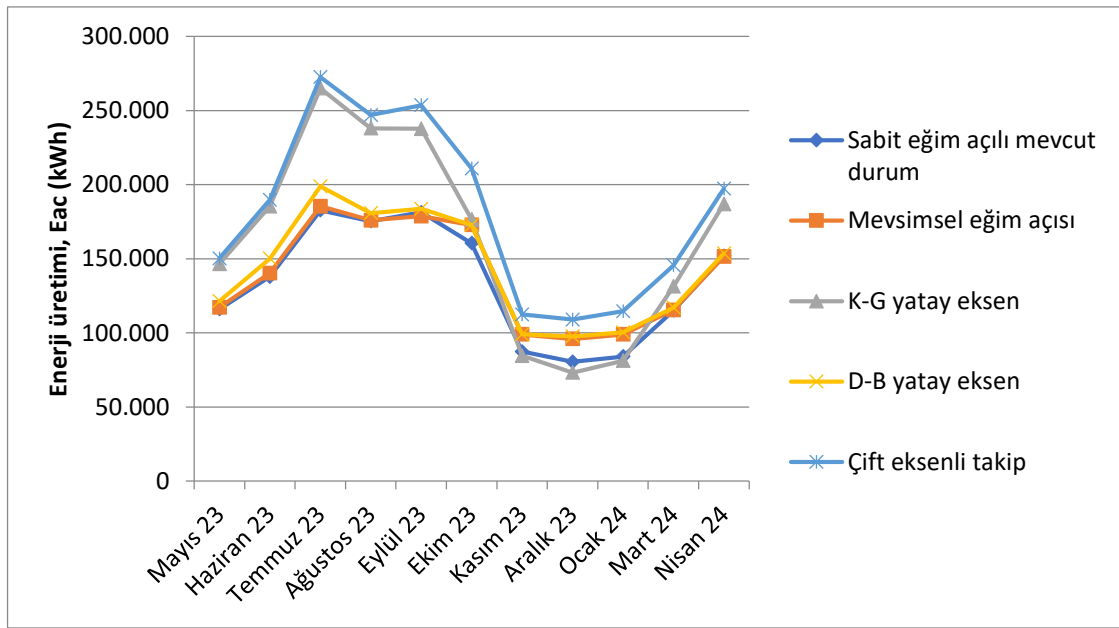
Şekil 4.23: Haziran ayı için farklı panel yönlendirmelerine göre elde edilecek düzlem içi ışınım değerleri.



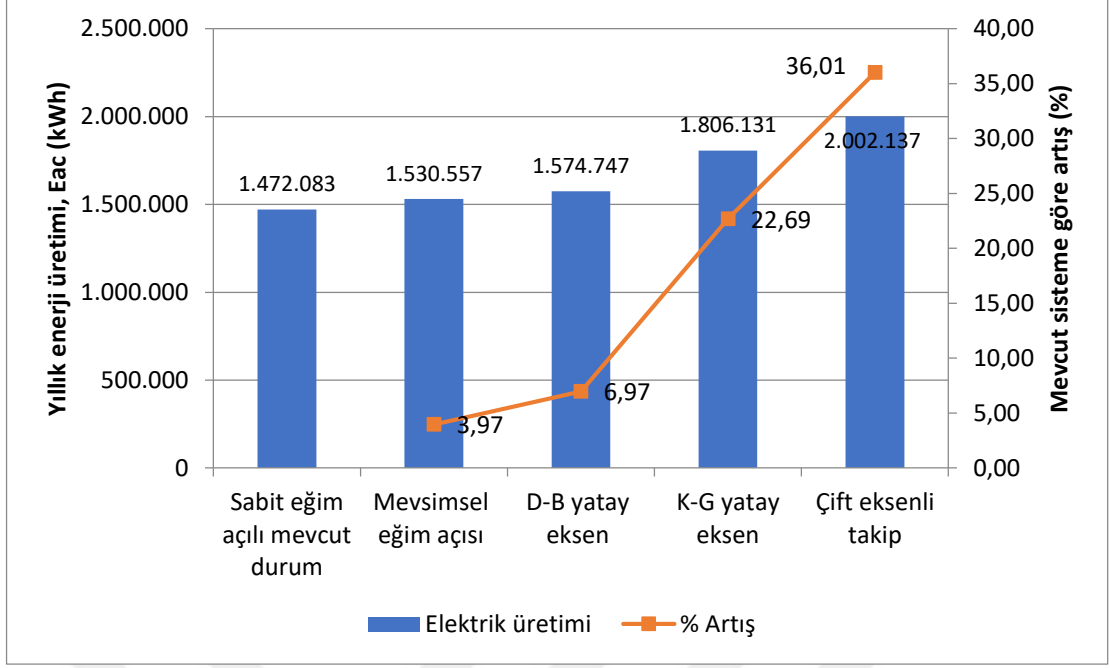
Şekil 4.24: Farklı panel yönlendirmelerine göre elde edilecek yıllık ortalama düzlem içi ışınım değerleri.

FV santralinde, yıl boyunca sabit panel eğimi yerine farklı panel yönlendirilmelerinin yapılması durumunda, panellere düşen düzlem içi ışınım değerlerinin aylık değişimleri önceki şekillerde karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Farklı panel yönlendirmelerine bağlı olarak düzlem içi ışınım değerlerinde ortaya çıkan artış, santralde üretilen elektrik enerjisinin de artmasına neden olacaktır. Şekil 4.24 ve 4.25'te farklı panel yönlendirmelerinin, sabit eğimli panel kullanımı durumuna göre üretilen aylık elektrik miktarını ne ölçüde değiştirdiği, yapılan PVsyst simülasyonu sonucu elde edilen değerler kullanılarak

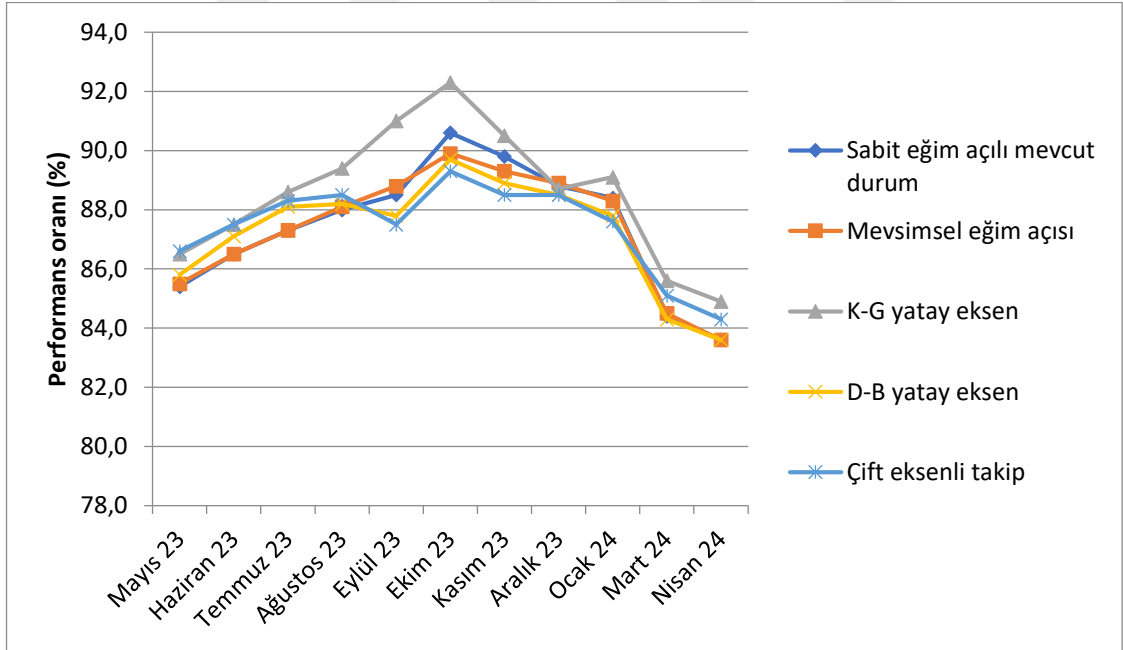
gösterilmiştir. Simülasyon sonuçları, mevcut sabit eğimli hareketsiz FV panel sistemi yerine, güneşi çift eksenle takip edebilecek FV panel sisteminin, yıllık elektrik üretim değerini %36,01 oranında artırabileceğini göstermektedir (Şekil 4.25). Simülasyon, çift eksenle güneş takibinin dışında, yatay K-G ekseninde döner yapılabilecek tek eksenli güneş takibinin, mevcut sistem için en iyi ikinci FV panel yönlendirme alternatifi olduğunu göstermektedir. Simülasyon ayrıca, mevsimsel ve D-B ekseninde yapılacak FV panel yönlendirmesinin, elektrik üretiminde, sırasıyla, %3,97 ve %6,97 gibi nispeten düşük oranlarda bir artış sağlayabileceğini göstermiştir.



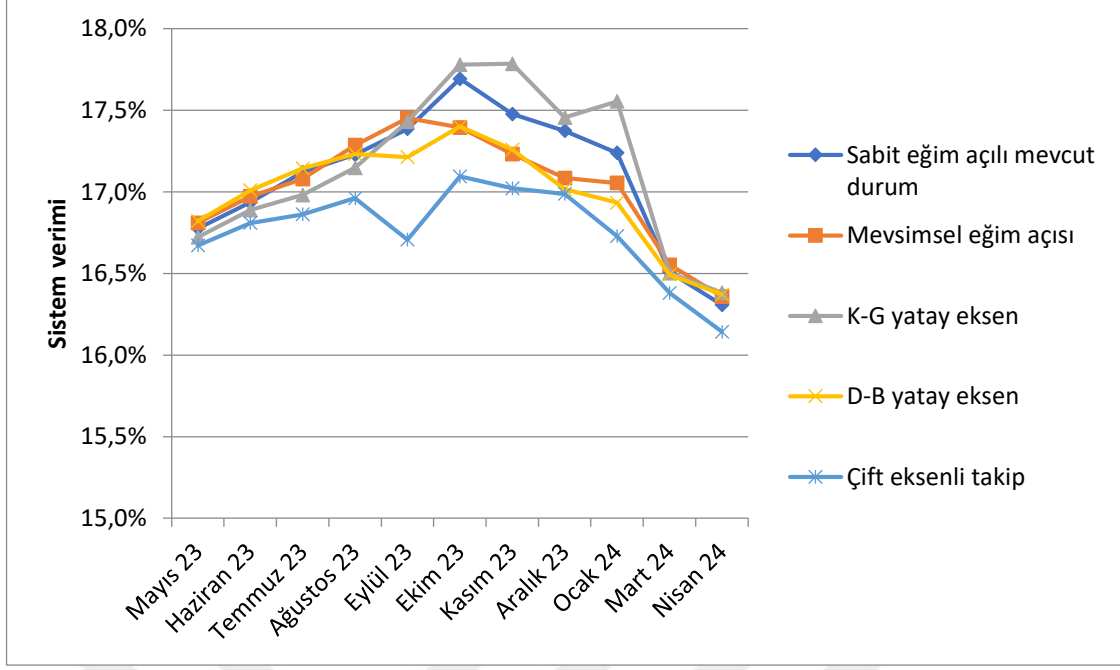
Şekil 4.25: Santral tarafından şebekeye verilebilecek aylık elektrik enerjisinin farklı FV panel yönlendirmelerine göre değişimi.



Şekil 4.26: Santral tarafından şebekeye verilebilecek aylık elektrik enerjisinin farklı FV panel yönlendirmelerine göre değişimi.



Şekil 4.27: Aylık ortalama performans oranının farklı FV panel yönlendirmelerine göre aylık değişimi.



Şekil 4.28: Aylık ortalama sistem veriminin farklı FV panel yönlendirmelerine göre aylık değişimi.

5. GENEL SONUÇLAR

Çalışmanın ilk aşamasında, Balıkesir'in Bigadiç ilçesinde yer alan 1.171,8 kWp gücündeki Bigadiç GES'nin, Mayıs 2023- Nisan 2024 aylarını kapsayan bir yıllık gerçek saha verileri kullanılarak, enerji performans değerlendirmesi yapılmıştır. Değerlendirmede, kantitatif analiz parametreleri olarak da adlandırılan ve IEC 61724 Fotovoltaik Sistem Performansı Standardında açıklanan parametreler kullanılmıştır. Bu parametreler arasında enerji çıkışı, dizi verimi, nihai verim, referans verimi, FV modül verimliliği, invertör verimliliği, sistem verimliliği, dizi yakalama kaybı ve sistem kaybindan oluşan enerji kaybı, performans oranı ve kapasite faktörü yer almaktadır.

Çalışmanın ikinci aşamasında, mevcut FV santral bilgileri yardımıyla santralin PVsyst modeli oluşturulmuş ve programdan elde edilen sonuçlar, deneysel saha verilerine dayalı performans değerlendirme sonuçlarıyla karşılaştırılarak, yapılan çalışmanın doğrulaması yapılmıştır. Bu model sayesinde ayrıca, hareketsiz ve sabit eğimli FV panellerden oluşan santralde, çeşitli FV panel yönlendirme ve güneş takip uygulamalarının, santral performans parametreleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Gerçekleştirilen deneysel ve simülasyona dayalı enerji performans çalışması neticesinde aşağıda belirtilen genel sonuçlar elde edilmiştir:

- PVsyst simülasyonu sonucu elde edilen birçok parametrenin, deneysel sonuçlarla büyük bir uyum sergilediği görülmüştür. Özellikle santralde DC ve AC tarafında üretilen aylık ve yıllık gerçek elektrik üretim değerleriyle, santralin aylık ve yıllık ortalama kapasite faktörü değerleri, PVsyst simülasyonu sonucu elde edilen değerlerle büyük bir uyum içindedir. Simülasyon, yıllık DC elektrik üretimini %2,8, AC elektrik üretimini ise yalnızca %2,3 oranında gerçek üretim değerlerinden daha küçük hesaplamıştır. Benzer şekilde, yıllık ortalama kapasite faktörü, simülasyon tarafından gerçek değerinden yalnızca %2,3 oranında daha küçük olarak hesaplanmıştır.

- Simülasyon değerlerinin deneysel değerlerle önemli derecede yakınlık göstermesinde, PVsyst programına, santral sahasında ölçülen küresel yatay ışınım değerlerinin girilmesinin önemi büyüktür. Nitekim PVsyst'de küresel yatay ışınım verileri için gerçek saha verileri

yerine Meteororm verilerinin kullanıldığında, simülasyona dayalı yıllık elektrik üretim değerinin, santralin ürettiği gerçek elektrik değerinden %24,73 oranında daha büyük çıktığı görülmüştür.

- Santral için PVsyst programında yapılan varyant çalışmaları neticesinde, mevcut durumda yer alan hareketsiz ve sabit eğimli FV paneller yerine farklı panel yönlendirilmelerinin, panellere düşen düzlem içi ışınım değerlerini önemli ölçüde artıracığı görülmüştür. Simülasyon, bu artışla birlikte, santralin yıllık elektrik üretiminde de önemli yükselmelerin olacağını ortaya koymuştur. Buna göre, mevcut sabit eğimli hareketsiz FV panel sistemi yerine, güneşi çift ekseninde takip edebilecek FV panel sisteminin, yıllık elektrik üretim değerini %36,01 oranında artırabileceği görülmüştür.

- Bununla birlikte, simülasyon, çift ekseninde güneş takibinin dışında, yatay K-G ekseninde etrafında dönerek yapılacak tek eksenli güneş takibinin, mevcut sistem üretimini %22,69 oranında artırarak, en iyi ikinci FV panel yönlendirme alternatifi olduğunu göstermiştir. Simülasyon ayrıca, mevsimsel ve D-B ekseninde yapılacak FV panel yönlendirmesinin, elektrik üretiminde, sırasıyla, %3,97 ve %6,97 gibi nispeten düşük oranlarda bir artış sağlayabileceğini göstermiştir.

6. KAYNAKLAR

- [1] <https://image.made-in-china.com/44f3j00baLqhQilJroZ/Cheapest-Home-Hybrid-Solar-Energy-System-5kw-8kw-10kw-PV-Solar-System.webp> adresinden 27.05.2024 tarihinde erişildi.
- [2] [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Photovoltaic_system#:~:text=A%20photo%20voltaic%20\(PV\)%20system%20is,massive%20utility%20scale%20generation%20plants](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Photovoltaic_system#:~:text=A%20photo%20voltaic%20(PV)%20system%20is,massive%20utility%20scale%20generation%20plants) adresinden 27.05.2024 tarihinde erişildi.
- [3] <https://www.afrik21.africa/en/libya-irish-ag-energy-to-build-a-200-mwp-solar-power-plant-in-ghadames/> adresinden 27.05.2024 tarihinde erişildi.
- [4] <https://www.eia.gov/energyexplained/solar/photovoltaics-and-electricity.php> adresinden 27.05.2024 tarihinde erişildi.
- [5] <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/solar-home-systems> adresinden 27.05.2024 tarihinde erişildi.
- [6] Usaid.gov. (2004). *Photovoltaic (PV) Systems* Washington DC: United States Agency for International Development.
- [7] Holliman J., (2010). Designin a Photovoltaic SystemHybrid for a Health Clinic. <https://digitalcommons.calpoly.edu/eesp/58/> sitesinden 23.05.2024 tarihinde erişildi.
- [8] Udochukwu, B. A., Ifeanyichukwu, E. O., Ogbonnaya, I. O., Emeka, S. O. (2017). Towards 100% renewable energy in Nigeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 943-953.
- [9] Alahmed, A., Sidiki, S. I., Alharthi, Y., Chaudhry, G. M., Siddiki, M. K., (2016). Design, simulation and financial analysi of stand alone photovoltaic system at University of Missouri-Kansas City, Missouri, USA. *2016 IEEE 43rd Photovoltaic Specialists Conference*, 2658-2662.
- [10] Sundaram, S., Babu, J.S.C. (2015). Performance evaluation and validation of 5MWp grid connected solar photovoltaic plant in South India. *Energy Conversion and Management*, 100, 429-439.
- [11] Okello, D., Dyk, E. E., Vorster, F. J. (2015). Anaysis of measured and simulated performance data of a 3.2 kWp grid connected PV system in Port Elizabeth, South Africa. *Energy Conversion and Management*, 100 10–15.

- [12] Padmavathi, K., Daniel, S. A. (2013). Performance analysis of a 3MWp grid connected solar photovoltaic power plant in India. *Energy for Sustainable Development*, 17(6), 615-615.
- [13] Dabou, R., Arab, A.H. (2016). Monitoring and performance analysis of grid connected photovoltaic under different climatic conditions in south Algeria. *Applied Energy*, 130, 200-206.
- [14] Milosavljević, D. D., Pavlović, D. S. (2015). Performance analysis of A grid-connected solar PV plant in Niš republic of Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 423-435.
- [15] Al-Badi, A. H. (2018). Measured performance evaluation of a 1.4 kW grid connected desert type PV in Oman. *Energy for Sustainable Development*. 47, 107–113.
- [16] Aoun, N. (2024). Energy and exergy analysis of a 20-MW grid-connected PV plant operating under harsh climatic conditions. *Clean Energy*. 8(1), 281–296.
- [17] Agrawal, B., Tiwari, G.N. (2010). Optimizing the energy and exergy of building integrated photovoltaic thermal (BIPVT) systems under cold climatic conditions. *Applied Energy*, 87, 417–426.
- [18] Shukla, M., Khare, M., Shukla, K.N. (2015). Experimental Exergetic Performance Evaluation of Solar PV Module. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 5 (1), 28-45.
- [19] Mfetoum, I., M., Ngoh, S., K., Mboumboue, E., Tonga, A., Lissouck, D. (2023). Exergoeconomic analysis of solar photovoltaic power plants: Case study in different tropical zones (Maroua and Douala) in Cameroon. *Energy Nexus*. 10, 100-206.
- [20] Abid, M., Hepbaşlı, A. (2015). Dynamic Exergetic Analysis and Evaluation of Photovoltaic Modules. *Energy Sources. Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 37(21), 21-37.
- [21] Banda, M.H., Nyeinga, K., Okello, D. (2019). Performance evaluation of 830 kWp grid-connected photovoltaic power plant at Kamuzu International Airport-Malawi. *Energy for Sustainable Development*, 51, 50-55.
- [22] Sahouane, N., Dabou, R., Ziane, A., Neçaibia, A. (2019). Energy and economic efficiency performance assessment of a 28 kWp photovoltaic grid-connected system under desertic weather conditions in Algerian Sahara. *Renewable Energy*, 143, 1318-1330
- [23] https://energyeducation.ca/encyclopedia/Photovoltaic_system#:~:text=A%systems%20is,massive%20utility%2Dscale%20generation%20plants%20adresinden 27.05.2024 tarihinde erişildi.

- [24] <https://www.usaid.gov/energy/poweringhealth/systemcomponents/photovoltaicsystem> adresinden 27.05.2024 tarihinde erişildi.
- [25] <https://www.greenmach.co.uk/solar-energy/photovoltaicsystem> adresinden 27.05.2024 tarihinde erişildi.
- [26] <https://www.aydemperakende.com.tr/blog/fotovoltaik-sistem> adresinden 27.05.2024 tarihinde erişildi.
- [27] <https://energysavingtrust.org.uk/advice/solar-panels/> adresinden 27.05.2024 tarihinde erişildi.
- [28] <https://solarcati.com/gunes-paneli-hangi-yonde-v-acida-olmali/> adresinden 27.05.2024 tarihinde erişildi.
- [29] <https://www.urhanshop.com/powmr-1500w-mppt-solar-inverter-entegre-makine-avrpa-standardi-tek-fazli-sinus-dalgasi-fotovoltaik--u116845> adresinden 27.05.2024 tarihinde erişildi.
- [30] <https://www.gezegensolar.com/icerik/solar-inverter-nedir-ve-nasil-calisir> adresinden 27.05.2024 tarihinde erişildi.
- [31] <https://www.muhandisbeyinler/fotovoltaik-pv-solar-sistem-ve-elemanlari/> adresinden 27.05.2024 tarihinde erişildi.
- [32] <https://www.incitas.com.tr/bilgigune/gunes-enerjisi-sistemlerinin-parcalari> adresinden 27.05.2024 tarihinde erişildi.
- [33] https://tr.wikipedia.org/wiki/Fotovoltaik_sistem adresinden 27.05.2024 tarihinde erişildi.
- [34] <https://beny.com.tr/solar-system-circuit-breaker-types-and-itsapplications/> adresinden 27.05.2024 tarihinde erişildi.
- [35] <https://www.sunnoovaenerji.com.tr/cift-yonlu-sayac-oz-nedir/> adresinden 27.05.2024 tarihinde erişildi.
- [36] <https://www.enerjievi.com.tr/enerjilog/icerik/solar-kablo-nedir> adresinden 27.05.2024 tarihinde erişildi.
- [37] <https://eco-tron.com/panel-temizligi-ve-onemi-ne-2/> adresinden 27.05.2024 tarihinde erişildi.
- [38] <https://www.keremcili.com/gunes-paneli-golge-solar-panelde-golgelenme/> adresinden 27.05.2024 tarihinde erişildi.
- [39] <https://www.enerjisistemlerimuhe.com/fotovoltaik-sistemlerin-verimlilikini-etkileyen-faktorler/3753/> adresinden 27.05.2024 tarihinde erişildi.
- [40] <https://solarvizyon./sunny-terimler-tanimlar/> adresinden 27.05.2024 tarihinde erişildi.

- [41] <https://www.kontrolkalemi.com/forum/konu/%z-takip-sistemiyard%C4%B1m.57718/> adresinden 27.05.2024 tarihinde erişildi.
- [42] <https://solarvizyon.org/sunny-gunes-takip-sistemleri/> adresinden 27.05.2024 tarihinde erişildi.
- [43] Sundaram, S., Babu, J.S.C. (2015). Performance evaluation and validation of 5MWp grid connected solar photovoltaic plant in South India. *Energy Conversion and Management*, 100, 429-439.
- [44] Padmavathi, K., Daniel, S. A. (2013). Performance analysis of a 3MWp grid connected solar photovoltaic power plant in India. *Energy for Sustainable Development*, 17 (6), 615-615.
- [45] Ayompe, L.M., Duffy, A., McCormack, S.J., Conlon, M. (2011). Measured performance of a 1.72kW rooftop grid connected photovoltaic system in Ireland. *Energy Conversion and Management*, 52(2), 816-825. <https://doi.org/10.1016/j.encn.2010.08.007>.
- [46] Decker, B., Jahn, U. (1997). Performance of 170 grid connected PV plants in Northern Germany Analysis of yields and optimization potentials. *Solar Energy*. 59(4), 127-133.
- [47] Mondol, J. D., Yohanis, Y. Smyth, M. Norton, B. (2006). Long term performance analysis of a grid connected photovoltaic system in Northern Ireland. *Energy Conversion and Management*. 47(18-19), 2925-2947.
- [48] - Makrides, G., Zinsser, B., Norton, M., Georghiou, G. E., Schubert, M., Werner, J. H. (2010). Potential of photovoltaic systems in countries with high solar irradiation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 14(2), 754-762.
- [49] Ayompe, L. M. Duffy, A. McCormack, S. J., Conlon, M. (2011). Measured performance of a 1.72kW rooftop grid connected photovoltaic system in Ireland. *Energy Conversion and Management*, 52(2), 816-825.
- [50] Pietruszko, S. M., Gradzki, M. (2003). Performance of a grid connected small PV system in Poland. *Applied Energy*, 74(1-2), 177-184.
- [51] Kumar, M., Chandel, S.S., Kumar, A. (2020). Performance analysis of a 10 MWp utility scale grid-connected canal-top photovoltaic power plant under Indian climatic conditions. *Energy*, 204, 117903.

7.ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Sinan KADİR

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/ Makine Mühendisliği	2024
Lisans	Konya Selçuk Üniversitesi/Otomotiv Öğretmenliği	2012
Lise	Balıkesir Sırrı Yırcalı Anadolu Lisesi	2003