



**ÇATI TİPİ FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ
SANTRALLERİNDE ÇEVRE ŞARTLARININ VE
TASARIMIN VERİME ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**2024
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

Kadir Selçuk EKER

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Selim ÖNCÜ**

**ÇATI TİPİ FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNDE ÇEVRE
ŞARTLARININ VE TASARIMIN VERİME ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Kadir Selçuk EKER

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Selim ÖNCÜ**

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Mayıs 2024**

Kadir Selçuk EKER tarafından hazırlanan “ÇATI TİPİ FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNDE ÇEVRE ŞARTLARININ VE TASARIMIN VERİME ETKİSİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Selim ÖNCÜ

.....

Tez Danışmanı, Elektrik Elektronik Mühendisliği

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 07/05/2024

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Selim ÖNCÜ (KBÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Mehmet DEMİRTAŞ (GAZİ)

.....

Üye : Doç. Dr. Mustafa GÖKDAĞ (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN

.....

Lisansüstü Eğitim 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.”

Kadir Selçuk EKER

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇATI TİPİ FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNDE ÇEVRE ŞARTLARININ VE TASARIMIN VERİME ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Kadir Selçuk EKER

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Selim ÖNCÜ

Mayıs 2024, 65 sayfa

Bu tez çalışmasında, bir endüstriyel zirai işletmenin elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla bina çatısına farklı yönlere bakan fotovoltaik paneller uygulanarak gölgelenmenin ve panel yüzey kirliliğinin üretim verimine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla Erenler Tarım Ltd. Şti. ye ait tesise yapılan 135 kWp gücünde çatı tipi güneş enerji santrali test amaçlı kullanılmıştır. Güneş panelinin sıcaklık değerleri termal cihaz ile ölçülmüş, panel sıcaklığı, yüzey tozu, gölgelenme, dönüştürücü kayıplarının etkileri ve bina gölgelenmesinden kaynaklanan kayıpların etkileri belirlenerek sunulmuştur. Ölçüm sonuçlarından ve sahanın termal ölçümlerinden, üretim kaybında önemli etkenin panellerin gölgelenmesi olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Güneş enerji santrali, Gölgeleme etkisi, Tesis verimliliği, Kirlenme etkisi

Bilim Kodu : 90544

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS AND DESIGN ON THE EFFICIENCY OF ROOF TYPE PHOTOVOLTAIC SOLAR POWER PLANTS

Kadir Selçuk EKER

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Electrical and Electronics Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Selim ÖNCÜ

May 2024, 65 pages

In this thesis study, the effects of shading and panel surface pollution on production efficiency were examined by applying photovoltaic panels for different directions to the building roof in order to meet the electricity needs of an industrial agricultural plant. For this purpose, 135 kWp solar power plant was used for testing purposes on Erenler Tarım Ltd rooftop. The temperature values of the solar panel were measured with a thermal device, and the effects of panel temperature, dust, shading, converter losses, and losses resulting from building shading were determined and presented. From the measurement results and thermal measurements of the field, it has been observed that the important factor in production loss is the shading of the panels.

Key Word : Solar power plant, Shading effect, Plant efficiency, Pollution effect

Science Code : 90544

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının gerçekleőtirilmesinde ilgisi, paylaőtımlarımı, desteğini esirgemeyen ve deneyimler edindiğim, verdiği geri dÖnÖőler ile kaliteli ve hedeflenen amaca uygun olarak çalıőmamı őekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Selim ÖNCÜ'ye, çalıőmadaki verilerin oluőtması için sahasının incelenmesine ve veri alınmasına müsaade eden Erenler Tarım Ltd. şti.'ye ve bu çalıőmayı hazırlarken geçirdiğim süreçte benden yardımlarını esirgemeyen EKR SOLAR ENERJİ MÜH. AYD. San. Ltd. şti. alıőanlarına ve yönetimine sonsuz teőkürlerimi sunarım.

Çalıőmamın tüm süreçlerinde her koşulda manevi desteğini esirgemeyen, her zaman destekçi oldukları için tüm kalbimle aileme, kardeőtım Ahmet EKER' e ve değerli meslektaőtım Kamer Öykü AÇIK' a teőkür ve őükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. GÜNEŞ ENERJİSİ	2
1.1.1. Güneş Enerjisi.....	2
1.1.2. Türkiye’de Güneş Enerjisi.....	2
1.1.3. Literatür Araştırması ve Tezin Literatürdeki Yeri	4
1.1.4. Tezin Amacı	10
1.1.5. Tezin Yapısı.....	10
BÖLÜM 2	11
2.1. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER ...	11
2.1.1. FV Hücre Çeşitleri.....	11
2.1.2. FV Hücrenin Matematik Modeli	11
2.1.3. FV Panellerin Karakteristik Eğrileri.....	14
2.1.4. Gölgeleme Etkisi	16
2.2. FV SİSTEM TİPLERİ	19
2.2.1. FV Sistem Bileşenleri.....	19
2.2.2. Şebekeye Bağlı FV Sistemler	19

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 3	20
SİSTEM KURULMASINDA PERFORMANSA ETKİ EDEN FAKTÖRLER	20
3.1. FV PANELİN KONUMLANDIRILMASI	20
3.1.1. FV Hücre Yüzey Malzemesinin Özellikleri	22
3.1.2. Sıcaklığı ve Rüzgar Etkisi	22
3.1.3. FV Hücresinin Temizliği	23
3.1.4. Güneş Işınımının Spektrel Özellikleri ve Konumlandırılma	23
BÖLÜM 4	25
ÇATI TİPİ GES KURULUMUNUN ÜRETİM PERFORMANSINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ	25
4.1. İncelenen Çatı Tipi Güneş Enerji Santralinin Özellikleri	25
4.2. İncelenen Tesisin Modellenmesi	26
4.3. İncelenen Çatı Tipi Güneş Enerji Santralinin Elektrik Projesi	28
4.4. İncelenen Çatı Tipi Güneş Enerji Santralinin Tek Hat Şeması	30
4.5. Güneş Enerji Santralinde Kullanılan Paneller	31
4.6. Güneş Enerji Santralinde Kullanılan Evirici	32
4.7. Veri Kaydedici	36
4.8. Termal Ölçü Aletleri	37
4.9. Gölgelemenin Üretime Etkisi	38
4.10. Termal Sonuçlar	40
4.11. Kirlenmenin Üretim Performansına Etkisi	46
BÖLÜM 5	49
ERENLER TARIM GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ ÜRETİM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	49
5.1. EVİRİCİ VERİLERİ	49
BÖLÜM 6	59
SONUÇLAR	59

	<u>Sayfa</u>
KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ	65

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli atlası	3
Şekil 1.2. Türkiye radyasyon teknik verileri	3
Şekil 2.1. Fotovoltaik Eşdeğer Devresi	12
Şekil 2.2. FV Panel Akım- Gerilim Eğrisi	14
Şekil 2.3. Değiştir ve Gözle Yöntemi Algoritması.	15
Şekil 2.4. Bir FV hücrenin akım gerilim eğrisi	15
Şekil 2.5. Kısmi gölgeli seri bağlı FV paneller Simulink Örneği	17
Şekil 2.6. Gölgelemenin güce etkisi	17
Şekil 2.7. Farklı sıcaklıklarda I-V ve P-V Değişimi	18
Şekil 2.8. Şebekeye Bağlı Güneş Enerji Santrali Şeması	19
Şekil 3.1. Gölgeleme Oluşan Tesise Örnek.....	20
Şekil 3.2. Solar Santral Kayıp Bileşenleri	22
Şekil 4.1 Erenler Tarım FV sahası konum görseli	25
Şekil 4.2 Erenler Tarım FV sahası Sketch-up tasarımı üstten görünümü.	26
Şekil 4.3 Erenler Tarım FV sahası Sketch-up tasarımı doğu yan görünümü.	27
Şekil 4.4 Erenler Tarım FV sahası Sketch-up tasarımı batı yan görünümü.....	27
Şekil 4.5 Erenler Tarım FV panel genel yerleşim projesi.	29
Şekil 4.6. Erenler Tarım GES tek hat şeması.....	30
Şekil 4.7 FV elektriksel akım, voltaj ve güç grafiği.....	32
Şekil 4.8. FV panel fiziksel ebatları	32
Şekil 4.9. Tesiste kullanılan 60 kW DC-AC evirici	33
Şekil 4.10. Eviriciye ait devre diyagramı.....	34
Şekil 4.11. Evirici verimlilik eğrisi.	34
Şekil 4.12 Evirici-1 MPPT girişlerine göre panel dağılımı.....	35
Şekil 4.13. Evirici-2 MPPT girişlerine göre panel dağılımı.....	36
Şekil 4.14. Veri kaydedici cihaz Smart Dongle	37
Şekil 4.15. DJI marka Termal Ölçüm Cihazı	38
Şekil 4.16. Tesis Sketch-up 21 Aralık Tasarımı Gölgeleme (Saat:11.30)..	39

Şekil 4.17. Tesis Sketch-up 21 Haziran Tasarımı Gölgeleme (Saat:11.30).....	39
Şekil 4.18. Tesis normal ve termal görüntüleri 29.12.2023 tarihine ait	40
Şekil 4.19. Termal görüntü farklı yönlerden 29.12.2022.....	40
Şekil 4.20. Termal görüntü Doğu cephesi farklı noktalar 29.12.2022	41
Şekil 4.21. Evirici 1 termal kamera ısı haritası farklı açılardan 29.12.2022 ait.	42
Şekil 4.22. Evirici 2 termal kamera ısı haritası farklı açılardan 29.12.2022 ait.	43
Şekil 4.23. 29.12.2023 tarihine ait tesis normal ve termal görüntüleri	44
Şekil 4.24 Tesis kuzey yönünden panellerin gölgeleme etkisi.....	44
Şekil 4.25.GES'e ait farklı yönlerden çekilmiş termal görüntüler (29.12.2023).....	45
Şekil 4.26.Evirici 1 gerçek ve termal görüntüsü.....	45
Şekil 4.27. Evirici 2 gerçek ve termal görüntüsü.	46
Şekil 4.28.Çevresel etmenler hayvan kalıntısı sahadan örnek.....	46
Şekil 4.29. Çevresel etmenler, tozlanmaya örnek	47
Şekil 4.30. Tesis panel yüzey temizliği.....	47
Şekil 4.31. Zirai kule kaldırıldıktan sonrasındaki sahanın görseli.....	48
Şekil 4.32. Çatı bölgesel termal görüntüleri.....	48
Şekil 5.1.Farklı tarihlere göre evirici 1 FV 1 girişi akım ve gerilim grafikleri.....	49
Şekil 5.2.Evirici 1 FV 9 girişi farklı tarihlere göre akım ve gerilim grafikleri.....	51
Şekil 5.3.Tesisin 21 Aralık günü saat 14:00 gölgeleme simülasyonu.....	51
Şekil 5.4. Evirici 2 FV 1 girişi farklı tarihlere göre akım ve gerilim grafikleri.....	53
Şekil 5.5.Evirici 2 FV 9 girişi farklı tarihlere göre akım ve gerilim grafikleri.....	55
Şekil 5.6. Tesisin 21 Aralık günü saat 10:00 gölgeleme simülasyonu.....	55
Şekil 5.7. Evirici 1 ve Evirici 2 aktif güç grafikleri.....	57

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1. Türkiye'nin yıllık güneş enerjisi potansiyeli	4
Çizelge 2. FV panel üretim performansına etki eden parametreler..	21
Çizelge 3.1. CWT450-144MB Model FV elektriksel çalışma değerleri	31
Çizelge 3.2. Eviriciye ait elektriksel veriler.....	33
Çizelge 3.3. Veri kaydedici cihaz teknik verileri	37
Çizelge 4.1 Farklı tarihlere göre evirici 1 FV 1 girişi akım ve gerilim değerleri.	50
Çizelge 4.2. Farklı tarihlere göre evirici 1 FV 9 girişi akım ve gerilim değerleri.. ...	52
Çizelge 4.3.Farklı tarihlere göre evirici 2 FV 1girişi akım ve gerilim değerleri.....	54
Çizelge 4.4. Farklı tarihlere göre evirici 2 FV 9 girişi akım ve gerilim değerleri.. ...	56
Çizelge 4.5. Farklı tarihlere göre evirici 1 ve evirici 2 güç değerleri.....	58

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER VE KISALTMALAR

FV	: Fotovoltaik
IL	: FV hücre tarafından üretilen akımı
Io	: Diyotun ters doyum akımı
Rp	: Paralel kaçak akım direnci
Rs	: Hücredeki iç direnci
N	: Diyotun ideal faktörü
Isc	: Kısa devre akımı
Voc	: Açık devre gerilimi
kW	: KiloWatt
kWh	: KiloWatt Saat
MPPT	: Maksimum Güç Noktası İzleme
DC	: Doğru Akım
AC	: Alternatif Akım
GES	: Güneş Enerji Santrali
STK	: Standart Test Koşulları

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Ülkemizde ve dünyada artan enerji ihtiyacı, enerji üretme ve elde edilen enerjiyi depolama ihtiyaçlarına olan talebi oldukça önemli bir noktaya getirmiştir. Enerji üretiminde mevcut elektrik üretme metotları yerine alternatif elektrik üretme metotları kullanılarak daha verimli ve temiz enerji nasıl elde edebilir, uygulanabilir konusunda ciddi araştırmalar ve çalışmalar bulunmaktadır.

Bilim insanlarınca enerji kaynaklarının çevreye etkileri; fosil yakıtların kullanıldığı otomobiller, sanayiler ve elektrik üretim santralleri açısından tartışılmaktadır. Fosil yakıtların karbon salınımı çevreye zarar vermektedir. Ancak günümüzde ciddi ölçüde kullanılmaktadır. Gelişen sanayi ve artan enerji talebinin karşılanması için kurulan santrallerden atmosfere salınan karbondioksit, kükürt bileşikler, kurşun ve diğer zehirli kimyasal bileşikler her geçen yıl artış göstermektedir. Enerji ihtiyacının büyük oranının karşılandığı fosil yakıtların yoğun bir şekilde kullanılıyor olması ozon tabakasının yıpranması, asit yağmurları ve küresel ısınmanın meydana gelmesi gibi sonuçlar doğurmaktadır.

Bu sonuçlar, dünyanın geri dönüşü zor olan bir çevre kirliliğine sürüklendiğini göstermektedir. Fosil yakıt kullanımının artmasıyla önümüzdeki süreçlerde bu yakıtların tamamen tükeneceği gerçeği de kaçınılmazdır. En önemli enerji türlerinden birisi elektrik enerjisidir. Yeraltı kaynakları bakımından fakir olan ülkeler elektrik enerjisi ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla ya bu enerjiyi ithal etmiş ya da elektrik enerjisini üretmek için farklı kaynak arayışları içine girmişlerdir. Petrol piyasasında oluşan belirsizliklerden dolayı kömürden enerji üretimine bir eğilim olmuştur [1].

Fosil yakıttan üretilen ve çevreye zarar veren elektrik üretim yöntemlerinin kullanımının azalmama sebebi alternatif enerji kaynaklarından hedeflenen

büyükölükte ve hızda faydalanılmamasıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları temiz, çevreci, üretim maliyetleri daha uygun kaynaklarıdır. Bunlar; hidroelektrik, güneş, rüzgar, jeotermal, biyokütle ve gelgit türü yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Güneş enerjisi en yaygın ve her yerde bulunabilinen temiz ve çevre dostu enerji türüdür. Güneş panelleri FV hücrelerden oluşmaktadır. Silisyum FV hücreler üzerine gelen ışınım şiddetine bağılı olarak değışen miktarda elektrik enerjisi üretmektedir.

Yarı iletkenlerden oluşun güneş hücresinin üzerine gelen fotonların belli bir miktarı yansıtılır, belli bir miktarı ise güneş hücresi tarafından soğurulur. Soğurulan fotonlar enerjilerini yarı iletkendeki atomlara aktarırlar. Eğer fotonların sahip olduğu enerji en az elektronu atomdan koparabilecek veya boşlukları hareket ettirebilecek büyükölükte ise elektronların ya da boşlukların hareket etmesi sağlanır. Bu hareket neticesinde gerilim ve akım değerleri olarak tanımlanan veriler ile elektrik enerjisi üretimi gerçekleşmektedir [1].

1.1. GÜNEŞ ENERJİSİ

1.1.1. Güneş Enerji Sistemi

Güneş enerjisinden yararlanma hususunda coğrafi konum büyük önem taşımaktadır. Coğrafi konum parametresine ek olarak güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti de elde edilecek verimi etkilemektedir. Bazı ölkeler coğrafi konumları sayesinde avantajlıdırlar. Afrika, Avustralya ve Amerika bölgesi coğrafi konumu açısından avantajlıdır. Diğer yandan Türkiye coğrafi konumu açısından güneş enerjisi potansiyeli yüksek ölkelerdendir. Güneş ışığı alan bölgelerin çöl arazisi olması durumunda, bu yerleşkede yatırım imkanları ve nakliye çalışmaları yapılması gerekmektedir. Bu bakış açısında Türkiye, İspanya gibi ölkeler değerlendirildiğinde Türkiye'nin büyük imkanlara sahip olduğu, yatırım ve nakliye çalışmalarının gerekmediğı görölmektedir [2].

1.1.2. Türkiye'de Güneş Enerjisi

Dünyada güneşlenme süresi düşüş açısı bakımından Türkiye'nin pozisyonu Çin, ABD ve Japonya'dan sonra gelmektedir. Türkiye coğrafi konumundan kaynaklı

Türkiye'nin güneş enerji potansiyeli atlası incelendiğinde güneş ışınlarından en verimli şekilde fayda sağlanacak bölgelerin koyu ve açık kırmızı ile gösterilen Güneydoğu Anadolu, Akdeniz, Doğu Anadolu ve İç Anadolu bölgeleri olduğu görülmektedir.

Çizelge 1'de görüldüğü gibi bölgelere göre ortalama güneş enerji ışınım şiddeti ve güneşlenme süreleri verilmiştir. Çizelgede Akdeniz Bölgesi'nin ışınımı 1390 kWh/m² yıl değerindedir. Bu değer dikkate alınarak bölgenin üretimi hakkında fikir sahibi olunmaktadır.

Bölge	Ortalama Güneş Enerjisi (kWh/m²-yıl)	Toplam Güneşlenme Süresi (saat/yıl)
Güneydoğu Anadolu Bölgesi	1460	2993
Akdeniz Bölgesi	1390	2956
Doğu Anadolu Bölgesi	1365	2664
İç Anadolu Bölgesi	1314	2628
Ege Bölgesi	1304	2738
Marmara Bölgesi	1168	2409
Karadeniz Bölgesi	1120	1971

Çizelge 1. Türkiye'nin yıllık güneş enerjisi potansiyeli [3].

1.1.3. Literatür Araştırması ve Tezin Literatürdeki Yeri

Literatürde, FV sistemler ile ilgili birçok uygulamalı ve tasarım şeklinde teknik çalışmalar mevcuttur. FV sistemlerin yaygınlığı ve kullanılabilirliği, FV sistemlerde çevresel faktörlerden kaynaklı kayıplar ve sistem tasarımından kaynaklı kayıpların etkisi, çatı ve arazi tipi FV sistemlerin simülasyon çalışmaları aşağıdaki çalışmalarda değerlendirilmiştir.

Çelik A.N. vd. 2006 yılında yaptıkları çalışmada, Türkiye'de kurulmuş olan şebekeye bağlı güneş enerji santralinin, tekno ekonomik analizi gerçekleştirilmiştir. Güneş enerjisi üretimi olmadığında veya yetersiz kaldığında sistem beslemesi şebekeden sağlanabilir. Bu çalışmada, sistemin maliyeti ve ekonomik fizibilitesi incelenmiştir. Işınım ve sıcaklığın FV panelinin elektrik üretimine ve performansına

etkisi incelenerek, test standartları uygulanarak verimsiz ve arızalı noktalar tespit edilmiştir. FV panellerine standart ve standart dışı durumlarda ışınım ve sıcaklığın etkisi incelenmiştir [4].

Amrouche vd. 2014 yılında yaptıkları çalışmada, monokristal model ile polikristal silisyum FV model zengin bir deneysel veri tabanı kullanılarak karşılaştırılmış ve veriler doğrulanmıştır. Polikristal silisyum sistemin, herhangi bir çalışma koşulu altında, ortam sıcaklığı ve güneş ışınım değerleri seçilerek, elde edilebilecek elektrik çıkışı bulunmuştur. Büyük bir veri tabanı kullanılarak yapılan doğrulama testleri ile birlikte modelin bu sürümü geliştirilmiştir. Bu veri tabanında, diğer üç FV teknolojisi (Monokristalin silisyum, CIS ve CdTe) ile ölçülen akım, gerilim özelliklerini kullanılmıştır. Ayrıca akış şeması kullanılması bu uygulamanın somut bir örneğini oluşturmaktadır [7].

Tsai H.L. vd. 2012 yılında yaptıkları çalışmada, Matlab-Simulink programı kullanılarak FV modülü tasarlanmıştır. Önerilen modelde referans girişi olarak ortam sıcaklığı ve güneş ışınım şiddeti kullanılmıştır. Çıkış verileri akım ve gerilim güç özellikleri modellenmiştir ve önerilen FV modeli kullanılarak analiz edilmiştir. Hücre sıcaklığına güneş ışınlarının etkisi, çıkış karakteristikleri belirlenmiştir. Çalışmalar sırasında ortam sıcaklığı, güneş ışınım şiddeti ve çevresel parametreler uygulanarak daha kolay tespit sağlanmıştır [8].

Bellia H. vd. 2014 yılında yaptıkları çalışmada, FV modülün çıkış parametreleri ışınım şiddeti ve sıcaklık gibi etmenleri ile ayrıntılı MATLAB ile modellenmiştir. Bu model, yarı iletkenlerin temel özelliklerine ve FV hücre teknolojisine uygun olarak tasarlanmıştır. Modellemede tek bir diyot modeli ile seri ve paralel dirençler etkisine dikkat edilmiştir. Modellemenin FV simülasyon sonucunda doğruluğu görülmüştür [9].

Khezzar R. vd. 2014 yılındaki çalışmasında, akım-gerilim karakteristiğindeki değişimin doğru izlenebilmesi için FV hücre modülünde bazı iyileştirmeler yapılmıştır. Hem açık gerilim denklemi hem de maksimum güç noktasındaki gerilim değiştirilerek, ışınım ve sıcaklık ile eşdeğer devre parametrelerinin değişimi detaylandırılmıştır. Çeşitli üreticilerin farklı türdeki (monokristal, polikristal ve ince

film) FV modülleri kullanılarak ve beş farklı parametre karşılaştırılarak teyit edilmiştir [10].

AL. A. vd. 1998 yılında yaptıkları çalışmada, güneş panellerinin ideal ortam koşullarında (25 °C, 1000 W/m²) ürettiği enerji, sıcaklığın artmasıyla azalmaktadır. FV sistemler uygulanan ülkelerde sıcaklık önemlidir. Güneş paneli içindeki hücre sıcaklığı; ortam sıcaklığı, güneş ışınım şiddeti, iklim şartları diğer faktörler ve panel üretim teknolojisine bağlı olarak ortaya çıkmaktadır [11].

Skoplaki E.ve Palyvos J. vd. 2009 yılında yaptıkları çalışmada, silisyum hammaddeli FV sistemlerde, güneş panellerinin çalışması esnasında ortam ve üretimden kaynaklı ortaya çıkan sıcaklığın etkisini incelemiştir. Sıcaklık etkisi, çevresel etkenler, meteorolojik faktörler, malzeme modelleme ve tasarım sürecinin hızlandırılabilceği üzerinde durulmuştur [12].

Mavromatakis F. vd. 2014 yılında yaptıkları çalışmada, FV modüllerde sıcaklığın performansa etkisinin önemli olduğu belirlemiştir. Sıcaklığın doğruluğu önemlidir. FV modül sıcaklığında %2,5'lik bir değişim hataya yol açabilmektedir. Hücre sıcaklığını bulurken açık devre gerilimi yöntemi uygulanmıştır [13].

Çelik A.N. vd. 2007 yılında yaptıkları çalışmada, günlük enerji ihtiyacı olan 9,4 kWh olan bir sistemin farklı yüklerdeki performansı analiz edilmiştir. Verim, simülasyon sonuçlarıyla incelenmiştir. FV sistemin, beş farklı zamanda yük kaybı olasılığı simülasyon sonuçlarında incelenmiştir. Elektrik maliyeti gibi farklı parametreler incelenerek, 1 yıllık güneş ışınım ve ortam sıcaklık verileri elde edilmiştir [14].

Abiola-Ogedengbe A. vd. 2015 yılında yaptıkları çalışmada, FV sistemde rüzgar etkenleri incelenmiştir. 24 ayrı panelden oluşan FV sistem modüllerinin üst ve alt yüzeylerine rüzgar etkisi dört farklı rüzgar yönü ile kontrol ve test edilmiştir. Modüller üzerindeki rüzgar basıncı ve etkisinin direk rüzgar geldiği zaman modül ortasında yüzey etrafında simetrik olduğu, diğer rüzgar yönlerinde ise asimetrik olduğu gözlemlenmiştir. Modülün eğim açısı arttıkça yüzey basıncının arttığı

gözlemlenmiştir. Açık arazideki rüzgar etkisiyle, düzgün stabil bir rüzgar altında basınç değerlerinde önemli farklar oluşmaktadır [15].

Ajder A. vd. 2015 yılında yaptıkları çalışmada, güneş enerjisinde optimum güneş açısını belirlemek için farklı iki şehirde MATLAB programıyla ideal eğim hesaplamıştır. Yatay ve dikey olacak şekilde ışınım açıları kullanılmıştır, ışınımından optimum düzeyde yararlanılmıştır [16].

2012 yılında, FV panellerin optimum eğim açılarının bulunmasıyla ilgili çalışma yapılmıştır. Eğim açılarının optimizasyonu Türkiye'deki sekiz büyük ilde ölçülen güneş ışınımı verileri kullanılarak yapılmıştır. Güneş ışınım şiddeti, belirli zamanlarda maksimum değerlere ulaşmaktadır [17].

Andrews R. vd. 2009 yılında yaptıkları çalışma ile, FV sistemin verimi, kar yağışıyla oluşan gölgelenme ve kısmi gölgelenme etkisi farklı açılarda iki kış boyunca incelemiştir. Kar birikiminin modülde oluşturacağı gölgelenme için görüntü işleme yöntemi geliştirilmiştir. Kardan kaynaklı olarak oluşan verimsizliğin ve kayıpların panel açısının önemi ve kar birikintisinin oluşturduğu gölgelenmeden kaynaklı olduğu sonucuna varılmıştır [18].

Soler-Bientz R. vd. 2006 yılında yaptıkları çalışmada, FV enerji sisteminin veriminin incelenebilmesi için sensörler kullanmıştır. Işınım şiddeti, çevre ve FV modülün sıcaklık değeri gibi parametreler değerlendirilmiştir. Çevre koşullarının etkisi görülerek sistemin verimi incelenmiştir [19].

Girgin M.H. vd. 2011 yılında yaptıkları çalışmada, Karaman ilinde 5 MW'lık güneş enerji santralının fizibilitesi yapmıştır. Güneş enerji santralinde altı farklı FV panel markası kullanılmıştır. FV panelleri montaj şekilleri, evirici modelleri farklı olacak şekilde çalışma gerçekleştirilmiştir. Simülasyon programı sonuçları kıyaslanmıştır [20].

Keskin E. vd. 2012 yılında yaptıkları çalışmada, Türkiye'de yedi farklı il için şebekeden bağımsız akülü sistemleri farklı FV modüller ile modellemesi yapılmıştır.

Tasarımların maliyet analizleri yapılmıştır. PVSYST programı kullanılmıştır. Üç farklı FV teknolojisi ile gerçekleştirilen sistemelerde iklim ve meteorolojinin etkisinin ciddi olduğu ve göz ardı edilemeyeceği belirlenmiştir [21].

Gültuna K.M. vd. 2015 yılında yaptıkları çalışmada, Bursa bölgesindeki güneş enerji santraline çevresel faktörlerin etkisi, teknolojik ve ekonomik yönden araştırılmıştır. Çalışma için simülasyon programı aracılığıyla bir modelleme oluşturulmuştur. RetScreen programı kullanılarak simülasyon modellenerek sonuçlar alınmıştır. Modellemede elektrik üretimi için %1,8' lik azalma, amortisman süresinde ise %2,7' lik artma şeklinde sapma gözlenmiştir [22].

Gölgelenme kayıplarını azaltmak için FV sistem tasarımında uygulanabilecek çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bunlar farklı dizi (string) düzenlemeleri, bypass diyotları ve modül seviyesi güç elektroniğinin (optimizer) kullanımınıdır [17,18].

Kısmi gölgelenmenin çok olduğu noktalarda, by-pass diyotunun kullanılmadığı FV sistemlerde panel sayısını artırarak gölgelenmeden oluşan kaybı azaltamaz aksine daha da verim kaybının artmasına sebep olur. By-pass diyotunun olmadığı FV seri bağlı sistemlerde en düşük gölgelenme bile ciddi oranda verim kayıplarının olduğu gözlemlenmektedir [42].

Seri bağlanan modüller dizileri oluşturur ve diziler bir invertöre seri olarak bağlanmaktadır. Bypass diyotları, gölgelenmemiş hücre dizilerinin akımının gölgeli hücre dizisi etrafından akmasını sağlar. Modül seviyesi güç elektroniği (optimizer), gölgeli şartlarda performansı yükseltmek için modüllere bağlı olan cihazlardır. Modül seviyesinde maksimum güç noktası takibi yapılmaktadır [16,17].

Yansımanın önüne geçmek için anti reflekte cam kaplamaları uygulanarak panel veriminin artırılması hedeflenmektedir. FV panellerin dış yüzeyi olan cam yüzeyinde oluşan kirlilik, çeşitli temizleme yöntemleri ile giderilmeye çalışılmaktadır [24].

Yapılan çalışmaların birçoğunda FV panel yüzeylerinde tozlanmadan kaynaklı verimlerinin % 4 ile % 32 arasında olumsuz etkilediğine ulaşılmıştır. FV panel yüzeylerinde meydana gelen tozlanmadan kaynaklı FV panellerin üretim gücünün % 85 oranında düşüreceğini kanıtlamışlar ve panellerin yüzeylerinin belirli aralıklarla temizlenmesinin üretim değerlerine katkı sağlayacağını belirtmişler [39].

Kirlenmenin artış göstermesi, üretilen elektriğin miktarını düşürmektedir. Yapılan araştırmalar, tozlanmadan kaynaklanan kayıpların özellikle yağış oranının çok az olduğu alanlarda % 15'e kadar ulaşabildiğini göstermektedir [40].

Toz boyutu 500 μm ' den küçük olan ezilmiş formadaki küçük parçacıklar olarak tanımlanan toz fırtınası, inşaat ve endüstriyel tozları test ortamında incelemiştir. Toz birikim yoğunluğuna bağlı olarak Avrupa' da farklı ülkeler ve farklı yıllarda yapılan çalışmalarda tozlanmanın verime etkisinin % 3 ile % 30,6 kayıp yüzdeleri olduğu sonucuna varmışlardır [41].

Farklı kirlilik çeşitlerine ve sürelerine göre yapılmış olan çalışmada bir yüksek lisans tezinde, 1 günlük tozlanmada killi, kireçli ve şehirselle kirlilikteki ve temiz panel arasındaki verim incelenmiş ve temiz panellere göre sırasıyla % 0,78, % 1,04 ve % 1,22 enerji kaybı olduğu saptanmıştır. 6 aylık ölçümler kullanılarak kirliliği ve temiz panel arasındaki farklar incelenmiştir. Kirliliğin FV sistem performansına etkisi sunulmuştur [44].

FV sistemlerde panellerin elektrik üretimi sırasında yüzeylerinin aşırı ısınmasından dolayı elektrik üretiminde ciddi kayıplar olmaktadır. Bu kayıpların önüne geçmek adına FV yüzeylerini su ile soğutma çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada yüzeyi su ile soğutan panelde elektriksel güç üretiminde artış gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Elektrik üretimin yanı sıra yüzeyde gezdirilen suyun ısınması ile ısınmış bir su kazanımı elde edilmiştir [43].

Bu tez çalışmasında Adana ilinde kurulumu gerçekleştirilmiş çatı tipi güneş enerji santrali hakkında çalışmalar yürütülmüştür. Yaz mevsimi tesisin panel temizliği öncesi ve sonrası üretim değerleri gözlemlenmiştir. Tesis kurulumundan itibaren

tesise gölge yapan zirai kule kaldırılmıştır. Zirai kulenin gölgesinin üretime etkisi incelenmiştir. Gölgelemenin santrale etkisi, FV panel ömrü ve üretim performansı açısından tezde sunulmuştur.

1.1.4. Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı, lisanssız elektrik üretim yönetmeliği esaslarına ve teknik detaylarına göre 135 kWp'lık bir güneş enerji santralının kurulum sonrasında kirlenme ve bölgesel gölgelemenin etkisini incelemektir. Kurulum sonrasında gölgelemenin saha üzerine etkisi ve üretim değerlerine etkisinin karşılaştırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla tesisin bölgesel gölgelemeli ve gölgeleme kaldırıldıktan sonraki üretim durumu ile panel yüzeyindeki kirlenmenin etkisi alınan ölçüm ve yapılan simülasyon ile analiz edilmiştir.

1.1.5. Tezin Yapısı

Bu araştırma çalışması beş bölümde incelenerek detaylandırılmıştır. Tez çalışmasının ilk bölümünde, yenilenebilir enerji kaynakları genel bilgileri, Türkiye'deki ve dünyadaki sistem verimliliği ve kullanım yaygınlığı hakkında bilgiler verilmiş, yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinin Türkiye'deki kullanım alanları ve etkisi incelenmiştir. Tez çalışmasının ikinci bölümünde, FV sistemin teorik eşdeğer devresi ve çevresel etmenlerin matematiksel karşılığı, çevresel etmen olan gölgeleme, ışınım şiddetinin etkisi ve şebekeye bağlı bir sistemin temellendirilmesi incelenmiştir. Tez çalışmasının üçüncü bölümünde, Erenler Tarım çatı tipi güneş enerji santralinde kullanılan elemanlar incelenmiştir. Bu elemanların seçiminde kullanılan yöntem, hesaplamalar ve tasarım üzerinde durulmuştur. Tez çalışmasının dördüncü bölümünde, santralin üç farklı zaman diliminde gün içerisinde üretim değerleri ve termal ölçümleri incelenerek sunulmuştur. Sonuç bölümünde, yapılan tüm araştırma ve incelemeler ışığında Erenler enerji santralinden elde edilen veriler incelenerek, konu ile ilgili olarak yapılabilecek çalışmalardan bahsedilmiştir.

BÖLÜM 2

2.1. FV SİSTEMLER

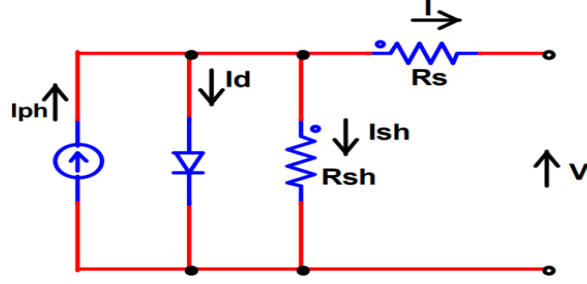
2.1.1. FV Hücre Çeşitleri

FV hücreler, üzerine düşen güneş ışığını elektrik enerjisine çeviren temeli silisyum vb. maddelerden oluşan malzemelerdir. Güneş pilinin ham maddesinin büyük oranı silisyumdur. Silisyum Türkiye’de fazla miktarda bulunmaktadır [2]. Kristal silisyum güneş hücresi, güneş pili üretiminde ilk akla gelen, en çok tercih edilen hücre tipidir. Hücrenin ışınları yutma oranı düşük, verimleri % 15 civarındadır. Hücre ve FV modül verimlilikleri hücre tipine göre farklılık göstermektedir. Hücre tipleri, monokristal ve polikristal olarak iki kısımda incelenmektedir. İnce film güneş hücresi, yarı iletken malzemenin uygulandığı geniş yüzeyler üzerine ince film ile kaplanması tekniği ile yapılmaktadır. Araştırmalar neticesinde yarı iletken malzemenin daha düşük fiyatlarda cam, metal vb. tabakalar üzerinde büyük yüzeylere kaplanabileceğini kanıtlanmıştır. Uzun zaman diliminde kararlılıklarının yüksek olmaması, üretici firmaların tercihlerini etkilemektedir [29].

2.1.2. FV Hücrenin Matematik Modeli

Karanlıkta FV hücre I-V karakteristiği incelendiğinde, diyot karakteristiğine çok benzer olduğu görülmektedir. Aydınlık ortamda fotonların gerçekleştirmiş olduğu elektron hareketi sayesinde akım oluşmaktadır. Fotovoltaik hücrenin temel eşdeğer devre modeli ideal bir akım kaynağı ve buna paralel gerçek bir diyot ile Şekil 2.1’deki gibi ifade edilmiştir. Güneşlenme ve içerisindeki silisyum verimine göre FV panel sisteminin enerji üretim verimi ortaya çıkmaktadır. FV hücrenin eşdeğer devresi, akım kaynağı buna paralel bağlı diyot ile seri ve paralel dirençlerden oluşmaktadır. Güneş panelleri; istenilen gerilim ve akım değerlerine ulaştırmak için

hücrelerin seri ve paralel bağlantılarından oluşturulmaktadır. Şekil 2.1'de FV hücrenin elektriksel eşdeğeri verilmiştir.



Şekil 2.1. Fotovoltaik Eşdeğer Devresi.

Şekil 2.1'de, I_{ph} , foton akımını, R_s , seri direnci, R_{sh} , paralel direnci, I , FV hücre çıkış akımını ve V , FV hücrenin çıkış gerilimini göstermektedir. FV hücrede foton akımı güneşli tam açık havada en fazladır, buna karşılık bulutlu veya kapalı havalarda güneşten gelen ışığa miktarına bağlı olarak foton akımında azalmalar gözlenir. Bunlara ek olarak bulutlu havalarda kısa devre akımında (I_{sc}) azalmalar gözlenir. Şekil 2.1'in analizinden fotovoltaik hücrenin çıkış akımı,

$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{q(V+IR_s)}{nkT_c}} - 1 \right) - \frac{(V+IR_s)}{R_{sh}} \quad (1)$$

formülü ile bulunur. Burada k , Boltzmann sabitini ($1,380622 \times 10^{-23}$ J/ OK), q , elektron yükünü ($1,6021917 \times 10^{-19}$ C) ve I_0 diyotun ters doyma akımını göstermektedir. R_{sh} direnci FV hücredeki sızıntı akımlarını, R_s direnci ise çıkıştaki gerilim düşümünü ifade etmek için kullanılmıştır. Eşdeğer devredeki paralel direncin değeri, seri direnç değerinden oldukça büyüktür. FV hücre sıcaklığı yalnız ortam sıcaklığına değil, güneşten gelen ışığa bağlı olarak değişir [31].

FV hücreye gelen ışımının enerjiye dönüşmeyen kısmı ısı olarak hücreden dışarı çıkar. T_{nom} , hücre sıcaklığı 20 °C, ortam sıcaklığında, 800 (W/m^2) ışığa değeri ve 1 (m/sn) rüzgar hızında tanımlanır. T_c hücre sıcaklığı,

$$T_c = T_{ortam} + \frac{T_{nom} - 20}{0,8} * G \quad (2)$$

formülü ile bulunur. Burada T_c , FV hücre sıcaklığını (°C), T_{ortam} , ortam sıcaklığını (°C), G , güneşten gelen ışımayı (W/m^2) göstermektedir. FV hücrelerin yüksek

sıcaklıkta verimleri yüksek değildir. FV hücrelerin düşük sıcaklıkta ve yüksek ışımada verimleri yükselir.

Hücrenin eşdeğer devresinde $R_{sh} = \infty$ alındığında, FV hücre akımı,

$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{q(V+IR_s)}{nkT_c}} - 1 \right) \quad (3)$$

olarak bulunur. FV sistemde akımı artırmak için FV hücreler paralel bağlanır. Yüzeylerine ışık düştüğünde uç terminallerinde gerilim indüklenir ve bu gerilim değeri 0,5 V civarındadır. FV hücrelerin verdiği enerji, yüzeylerine güneşten gelen ışıma enerjisidir. FV hücrenin gerilimi,

$$V = \frac{nkT_c}{q} L_n \left(\frac{I_{ph} + I_0 - I}{I_0} \right) - IR_s \quad (4)$$

şeklinde bulunur. FV hücrede indüklenen gerilim, hücre yüzeyine gelen ışık şiddeti ile orantılıdır. FV hücre çıkış uçlarına yük bağlanırsa yük üzerinden bir akım akar. N_s , FV panelde kullanılan seri hücre sayısını ve N_p , panelde kullanılan paralel hücre sayısını gösterilir ise, seri hücre sayısı artırılarak panelin gerilim değeri, paralel hücre sayısı artırılarak panelin çıkış akımı değeri artırılır. N_s ve N_p değerleri dikkate alındığında FV panel akım değeri,

$$I = N_p I_{ph} - N_p I_0 \left(e^{\frac{q \left(\frac{V}{N_s} + \frac{IR_s}{N_p} \right)}{nkT_c}} - 1 \right) - \frac{1}{N_p} \left(\frac{V + IR_s}{R_{sh}} \right) \quad (5)$$

formülü ile bulunur.

Burada $R_{sh} = \infty$ alındığında, FV panel akımı,

$$I = N_p I_{ph} - N_p I_0 \left(e^{\frac{q \left(\frac{V}{N_s} + \frac{IR_s}{N_p} \right)}{nkT_c}} - 1 \right) \quad (6)$$

formülü ile bulunur. FV panelin çıkış geriliminin değeri,

$$V = \frac{nkT_c}{q} L_n \left(\frac{I_{ph} + I_0 - I + N_p}{I_0} \right) - R_s I \quad (7)$$

formülü ile hesaplanır. FV panel etiketteki değerleri normal koşullar altında tespit edilen değerlerdir. FV panelin test sonuçları, standart test koşullarına göre daha az veya daha fazla olduğu durumlarda FV panelin çıkış güç değeri de o oranda eksik veya fazla olabilir.

FV panelin çıkış gücü,

$$P=V*I \quad (8)$$

formülü ile bulunur. (6) ile (7) denklemlerinden hareketle FV panelin çıkış gücü,

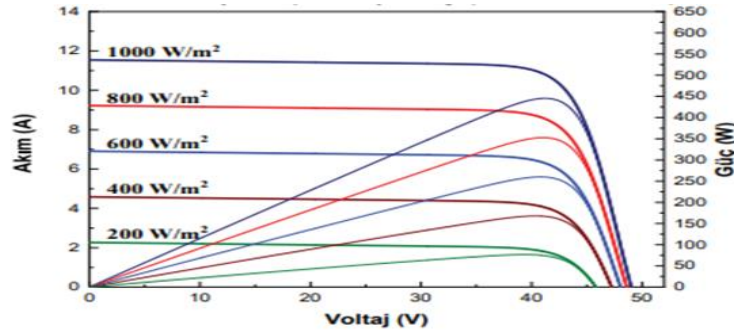
$$P = \left[\frac{nkT_c}{q} \ln \left(\frac{I_{ph} + I_0 - I + N_p}{I_0} \right) - R_s I \right] * [N_p I_{ph} - N_p I_0] * \left[e^{\frac{q \left(\frac{V}{N_s} + \frac{IR_s}{N_p} \right)}{nkT_c}} - 1 \right] \quad (9)$$

olarak bulunur. (9) denkleminde lineer olmayan karakteristiğe sahip parametre değerleri Newton - Raphson veya benzeri lineer olmayan çözüm yöntemleri ile bulunur. FV panelin ürettiği güç değeri, güneş ışınlarının açısına, panel yüzeyinin kirlilik oranını ile havanın bulutlu veya açık olmasına bağlı olarak değişir. FV panellerin kirlenmesi üretimi azaltır.

2.1.3. FV Panellerin Karakteristik Eğrileri

FV panel parametreleri içerisinde açık devre gerilimi (V_{oc}) ve kısa devre akımı (I_{sc}) gibi iki önemli parametre bulunmaktadır. FV panel kısa devre iken en yüksek akım çıkışı, açık devre durumunda ise en yüksek panel gerilimi elde edilir.

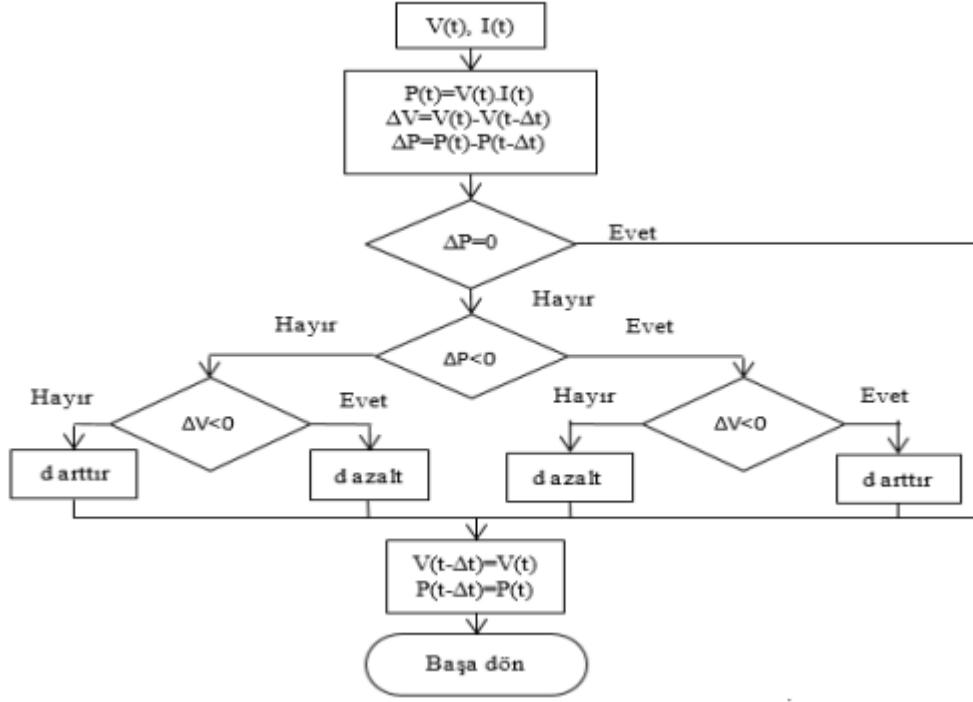
Ancak Şekil 2.2' deki akım-gerilim eğrisinde de görüldüğü üzere panelden alınan güç, panel açık devre veya kısa devre iken sıfır olmaktadır.



Şekil 2.2. FV Panel Akım Gerilim Eğrisi [30].

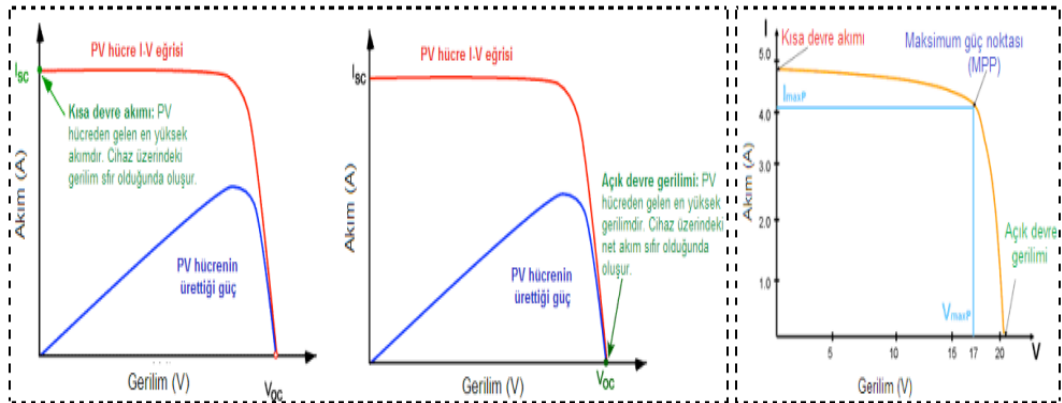
FV panelin ürettiği akım ve gerilim değeri yükün değerine göre değişiklik göstermektedir. Buna göre değişken koşullara göre farklı güç üretimi oluşur. Her zaman maksimum güç üretebilmek için maksimum güç noktası izleyicili algoritmalar

kullanılır. Şekil 2.3’ de Değiştir ve Gözle algoritmasına göre örnek bir maksimum güç noktası izleme algoritması sunulmuştur [30].



Şekil 2.3. Değiştir ve Gözle Algoritması [30].

Şekil 2.4’ de FV hücrenin kısa devre akımı, açık devre gerilim ve MPPT noktasındaki akım ve gerilim noktalarını belirten grafikler bulunmaktadır. Panelin üretebileceği maksimum güç, açık devre gerilimi veya kısa devre akımı noktalarında oluşmamaktadır.



Şekil 2.4. Bir FV hücrenin akım gerilim eğrisi [45].

2.1.4. Gölgeleme Etkisi

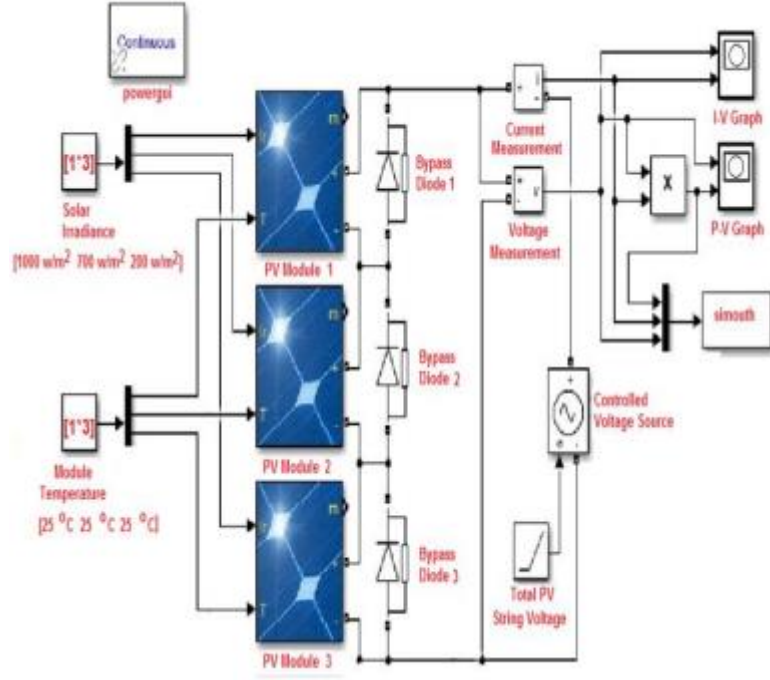
FV panellerde enerji üretimi, çevresel etkenlerin etkisi ve panel üzerinde oluşan gölgelemelerden dolayı değişim görülmektedir. Bu etkenler yalnızca verimi düşürmekle kalmayıp, FV panellere de zarar verebilir. Panellere düşen gölgelemede, FV panel gerilimi de düşer. FV panellerde hücrelerin birbirine seri gruplar ve paralel gruplar halinde bağlanarak gerilim ve akım üretmesi sonucu belirli güçte elektrik üretilmektedir. Panelin yüzeyine düşen ışınım farklılıkları kayıplara neden olmaktadır [15, 16].

FV panellerin montajının yapıldığı noktada bölgesel olarak dağ ve tepe gibi engellerden kaynaklı oluşan gölgelemeler, ufuk gölgelemesi olarak adlandırılmaktadır [17].

FV panelin en yüksek güç üretebildiği çalışma noktasına V_{mpp} ve I_{mpp} noktaları olarak isimlendirilmektedir. FV sistemde gölgeleme olan noktalarda çalışma noktası değişmekte ve gölgelemeye göre farklı maksimum güç noktaları meydana gelmektedir [15].

Panellerde çalışma koşullarının değişmesiyle FV hücreler elektrik üretici yerine, elektrik tüketici olmaktadır. Bu duruma hücrede oluşan kırılma, gölgeleme veya kirlenme durumlarında rastlanılmaktadır. Gölgelenen bir FV hücrede ciddi derecede ısınma meydana gelebilir ve bu ısınma ile birlikte hücrede ciddi zararlar oluşturabilir. Bu ısınmadan kaynaklı panel üzerinde sıcak nokta (hot spot) meydana gelir. FV panelde sıcak nokta panel verimini düşürür, eğer ki hücre bazında bağlantı tellerinde (ribbon) ciddi tahribat var ise panelin arıza durumu daha büyük olumsuz etki oluşturur.

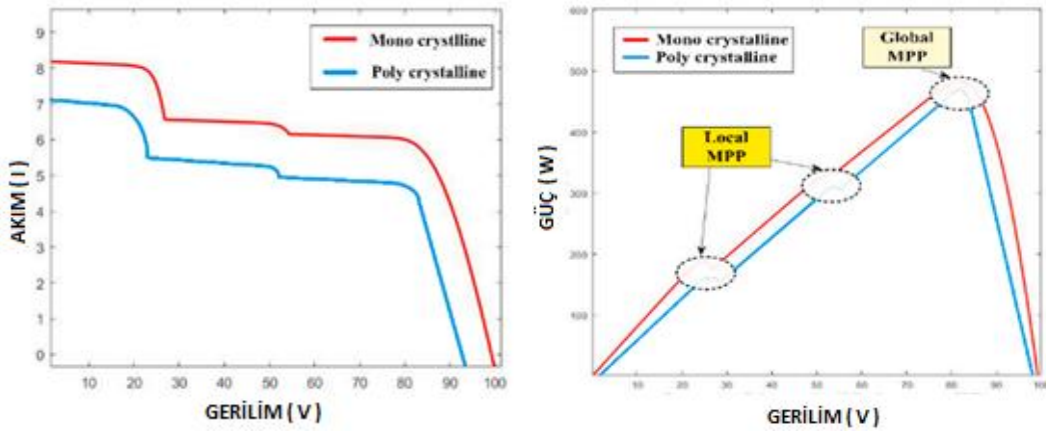
Kısmi gölgeli seri bağlı panellerin Simulink simülasyon devresine bir örnek Şekil 2.5' de verilmiştir.



Şekil 2.5. Kısmi gölgeli seri bağlı FV paneller Simulink örneği [31].

FV panellere bağlı by-pass diyotları normal iletim durumunda açık devredir. Gölgelemenin olduğu durumlarda iletme geçerek akımın gölgeli panel üzerinden devre tamamlamasının önüne geçilir. Panellerde kullanılan bypass diyotları FV sistemlerin üretim performansını artırır [31].

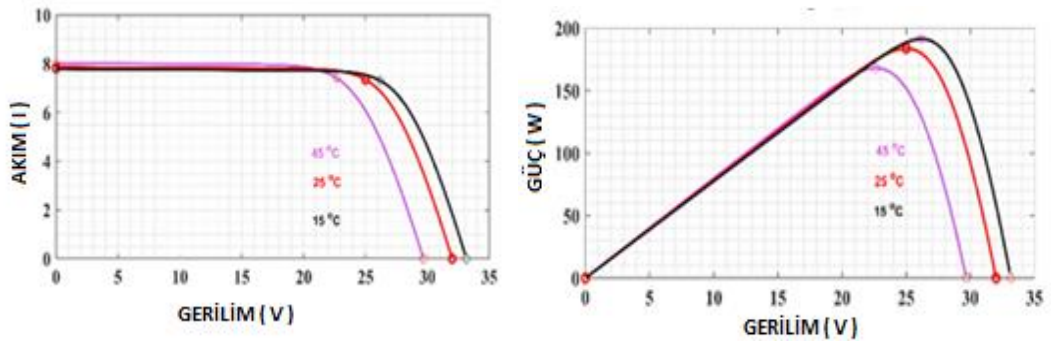
Mono ve polikristal panellere gölgeleme durumunda ait I-V ve P-V grafiğine örnek Şekil 2.6’ da verilmiştir [46].



Şekil 2.6. Gölgelemenin güce etkisi [46].

Şekil 2.6, birden çok maksimum güç noktasının oluşabileceğine dair bir Simulink simülasyon örneğini göstermektedir. Farklı gölgelenme veya tozlanma durumlarında birden çok maksimum güç noktası oluşabilir. Bu durum, gerekli tedbir alınmazsa maksimum güç noktası izleyici algoritmasında yanılmaya sebep olarak sistemin bölgesel maksimum güç noktasında çalışmasına ve güç kaybına yol açar.

Gölgelenmeye benzer bir diğer güç kaybı etkisi de sıcaklıktır. Bölüm 2.1.2’de panel eşdeğer devresi ve türetilen denklemlere göre sıcaklığın etkisi ile panel akımı bir miktar artsa da, panel gerilimindeki düşüş sebebiyle üretilen güç miktarı da düşmektedir. Sıcaklığın panel akım, gerilim ve gücüne etkisi Şekil 2.7’ de net bir şekilde görülmektedir. Sıcaklık arttıkça panel kısa devre akımı bir miktar artarken açık devre gerilimi belirgin şekilde düşmektedir [46].



Şekil 2.7. Farklı sıcaklıklarda I-V ve P-V değişimi [46].

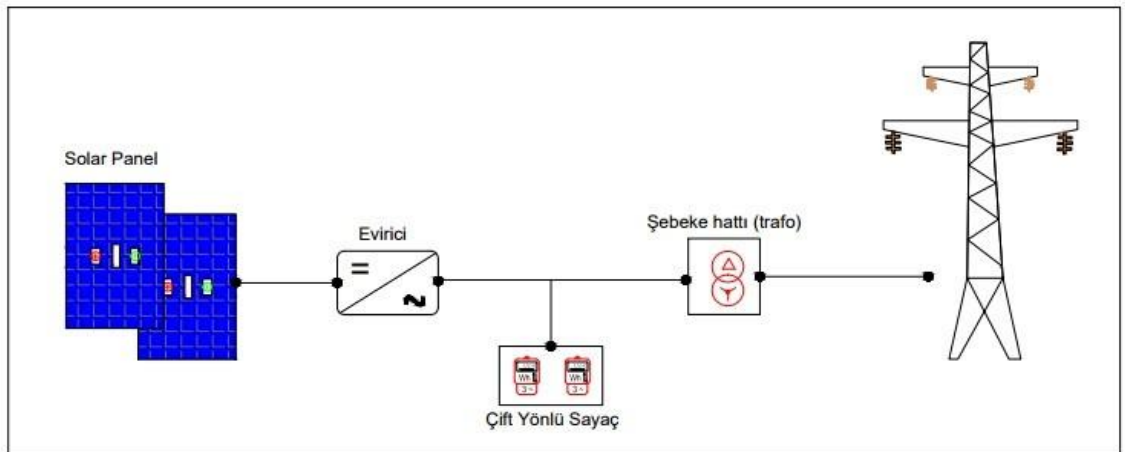
2.2. FV SİSTEM TİPLERİ

2.2.1. FV Sistem Bileşenleri

FV sistemi oluşturan temel ürün güneşten elektrik üretimi sağlanan FV panellerdir. Bu panellerin ürettiği elektrik enerjisini farklı akım ve gerilim seviyelerine dönüştürme işlemini yapan güç elektroniği devreleri mevcuttur. Bu devreler evriciler ve dc-dc dönüştürücülerdir. Üretilen elektrik enerjisini depolama ihtiyacı olması durumunda, batarya depolama/kontrol üniteleri de sistem bileşenleri arasında bulunmaktadır.

2.2.2. Şebekeye Bağlı FV Sistemler

Şebeke ile birlikte çalışabilen evriciler şebeke ile senkronize olarak üretilen elektrik enerjisini hem yüke hem de şebekeye aktarabilme kabiliyetine sahiptir. FV panellerinin ürettiği enerji, yükün ihtiyacını karşılamıyorsa şebekeden güç çekilecektir. Güneşten enerjisinin fazla olduğu durumlarda üretilen elektrik enerjisi şebekeye aktarılır. Şebekeye bağlı evricilerin haberleşme ve takip özelliği ile tesisin ve panellerin gün içerisindeki durumu uzaktan takip edilebilir [21].



Şekil 2.8 Şebekeye bağlı güneş enerji santrali şeması.

BÖLÜM 3

SİSTEM KURULUMUNDA PERFORMANSA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

3.1. FV PANELİN KONUMLANDIRILMASI

Güneş enerji santrali tasarımı yapılırken sahanın teknik altyapısı, coğrafi konumu, çevre ve meteorolojik etkenleri incelenerek projelendirilmesi önem taşımaktadır. FV panellerin yatay veya dikey montaj yapılması FV panelin verimini etkilememektedir.

Performansa etki eden bazı faktörler;

1. Panel yüzey malzemesinin özellikleri
2. Ortamdaki havanın sıcaklığı ve rüzgar etkisi
3. Panel yüzey temizliği
4. Güneş ışınlarının panel üzerine geliş açısı

Belirtilen unsurların etkilerinin sunulabilmesi amacıyla yön, montaj açısı ve gölgelenme etkisi dikkate alınmadan tasarlanıp, kurulup, devreye alınmış bir FV sistem örnek alınmış ve görseli Şekil 3.1' de sunulmuştur. Fotoğrafta çevresel etki olarak gölgelenme net bir şekilde görülmektedir. Bu ve benzeri çevresel etkenler dikkate alınarak tasarım aşamasında yapılacak bazı değişiklik ve düzenlemeler ile saha üretim performansı artırılabilir.



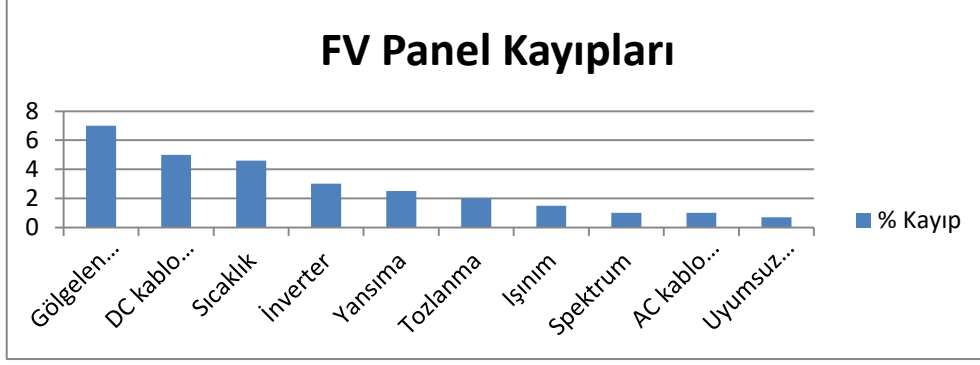
Şekil 3.1 Gölgeleme oluşan tesise örnek.

FV tesiste üretime etki eden faktörler ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Çizelge 2’ de bu çalışmalardan bazıları sunulmuştur [47].

Parametre	Açıklama	Etki oranı	Referans
Gölgelenme	Panel Üzerine Düşen Gölge	%7	Rodrigues vd. (2011) Sathyanarayana vd. (2015)
Sıcaklık	Panel Isısının Artması	%4,6	Wardowski vd. (1996)
Yansımaya	Güneş ışınımı yansımaları	%2,5	Navruz (2013)
Tozlanma	Panel yüzeyindeki kirlenme	%2	Boppa (2015)
Işınım	Panel üzerine düşen UV radyasyon şiddeti	%1,5	Navruz (2013)
DC kablo kaybı	DC Kablo iç direncinden kaynaklı kayıplar	%5	Deniz(2013)
İnverter	Dönüştürücü malzeme dönüşüm kayıpları	%3	Giesler(2010)
AC kablo kaybı	AC Kablo iç direncinden kaynaklı kayıplar	%1	Deniz(2013)
Uyumsuzluk	Şebeke dengesiz ve uyumsuzluklarında kaynaklı verimsizlik	%0,7	Sathyanarayana vd.(2015)

Çizelge: 2. FV panel üretim performansına etki eden parametreler [47].

Fotovoltaik sistemlerin verimini, çevresel faktörler ve sistem tasarımı etkilemektedir. Çizelgede sunulan çalışmalardan da görüleceği üzere tesiste kullanılan kablolar ve şalt ekipmanları da verimi etkilemektedir. Benzer şekilde alınan sonuçlara göre tipik bir FV sisteminde tozlanma kayıpları %2 civarındadır [47]. Ancak bu durumun, tesisin kurulduğu bölgeye göre çok farklılık göstereceği dikkate alınmalıdır.



Şekil:3.2 Solar santral kayıp bileşenleri [28].

Şekil 3.2’de FV tesislerde en yüksek kayba sebep olan etkenin gölgelenme olduğu, en düşük ise AC kablolarının olduğu görülmektedir. FV tesislerde performans oranının değerlendirilmesi kayıpların etkisiyle daha net görülür [23].

3.1.1. FV Hücre Malzemesinin Özellikleri

FV hücre, temel olarak ikiye ayrılmaktadır; tek kristalli (mono) ve çok kristalli (poli) silisyumdan oluşan malzeme yapısından oluşur. Silisyum yoğunluğuna göre monokristal veya polikristal olarak ayrıştırılmaktadır. Polikristal yapıya sahip silisyum hücresi monokristale göre daha düşük verime sahiptir. Ancak verimlilikleri ortam şartlarına göre değişiklik gösterebilmektedir. Malzemenin farklı ortam şartlarında vereceği tepkilere göre verimlilik oranları da değişmektedir. Çevresel faktörler panelin kısa devre akımını ve açık devre gerilimi değerlerini etkilemektedir [37].

3.1.2. Ortam Sıcaklığı ve Rüzgar Etkisi

Rüzgar, panellerin üstünde soğutucu etki yapmaktadır. Rüzgarın sıcaklık etkisini azaltıyor olması verimi artırabilir ancak panelin konstrüksiyon yapısında ve inşasında olumsuz etki ve zarar verebilmektedir. Bundan dolayı güneş santrallerinin inşaatında uzun periyotlu rüzgar verileri de incelenmeli, rüzgar hızı panel yerleşiminde dikkate alınmalıdır. Rüzgarın 45° ve 135° açı ile esmesi durumunda panellerin konstrüksiyon yapısına ciddi derecede mukavemete maruz kalacağı belirtilmiş ve hesaplamaların buna göre değerlendirilmesi gerektiği belirtilmiştir [38].

Tayvan bölgesinde yapılan incelemelerde yüksek hızda rüzgar yüklerine maruz kalan paneller için standart hesaplamaların yeterli olmayacağı gösterilmiştir [38].

Panellerde, rüzgarın taşımış olduğu tozların yüzeye nem ile birikmesi neticesinde sıcaklık artışlarına sebep olduğu, bundan kaynaklı üretime olumsuz etki ettiği görülmüştür. Sıcaklık değerinin düşmesi ile hücrenin üreteceği gerilim değeri artar, sıcaklık değerinin artması ile azalır. Evirici içerisinde bulunan maksimum güç takibi yapan yazılım, sıcaklık değişimine de bağlı olan FV enerji üretim verimini arttırmak ve dizinin çalışma noktasını ideal çalışma noktasında tutmak için tarama yapar.

3.1.3. FV Hücre Temizliği

FV modülün cam yüzeyinde oluşan kirlilikler, panele gelen güneş ışınlarını engeller ve üretimde kayıplar oluşmasına neden olur. Yüzeye gelen ışınım şiddetinin modül üzerine düşmesinde oluşan azalma hücre içerisinde soğurulmayı azaltır. Bu durum, enerji üretiminde kayıplar oluşturur. Panel yüzeyinin temiz olması sistemin enerji üretim verimini artıracaktır.

3.1.4. Güneş Işınımının Spektral Özellikleri ve Konumlandırma

FV panellerin montaj açısı, verime etki eder. Panellere aynı açılarda güneşi takip eden montaj şekilleri uygulanırsa verim artmakta ve üretim performansı yükselmektedir. Kısmi gölgelenmeler verimi olumsuz olarak etkilemektedir. FV panellerin montajı aynı eğim ve aynı yöne bakacak şekilde yapılmalıdır.

FV hücreler üzerine düşen ışınım açısına göre üretim verimi değiştiğinden, yüksek verimli üretim sağlanabilmesi için, güneş ışıkları mümkün olduğunca hücrelere dik düşecek şekilde panel montajının (veya ışık takip sisteminin) gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Güneş ışınlarının panel yüzeyine düşüşü, hem gün içerisinde hem de yıl içerisinde sürekli değişmektedir. Hücrelerin üzerine en ideal açıda güneş ışınımı düşebilmesi için hücrenin ideal açıda montajı (optimum panel açısı) ve/veya güneşin hareketine takip eden mekanik takip sistemleri kullanılması durumunda yüksek verimli sonuçlar

alınır. Hücrenin üzerine düşen ışınım açısına bağlı olarak aynı güçteki panel ve sistemden % 10 ile % 40 arasında güç artışı olabilmektedir [38].

Panellerin kurulmasında dikkat edilecek açı enlem derecesi baz alınarak belirlenebilir. Bu amaçla çeşitli çalışmalar ile optimum panel açısı belirlenebilmektedir. Bunlardan bir tanesi enlem açısına göre uygun açı tespitidir. Buna göre panelin kurulacağı yerin enlem derecesi 25° ' den küçük ise 0,87 ile çarpılarak, enlem karşılığı 25° ile 50° arasında ise 0,87 ile çarpılıp sonuca $3,1^{\circ}$ eklenerek panel montaj açısı belirlenebilir. 50° ve üzerindeki enlem değeri için panel açısı yaklaşık 45° olarak belirlenir [19].

BÖLÜM 4

ÇATI TİPİ GES KURULUMUNUN ÜRETİM PERFORMANSINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

4.1. İNCELENEN ÇATI TİPİ GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde GES kurulunun ve panel performansının üretime etkisinin incelenebilmesi amacıyla 135 kW_p DC, 120 kW_e kurulu güce sahip çatı tipi bir santral incelemeye alınmıştır. Sahadan alınan ölçümler ile GES kurulmasının üretim performansına etkisi sunulmuştur. Bununla birlikte gölgeleme ve tozlanma etkileri incelenerek sonuçlar yorumlanmıştır. GES kurulum alanı Adana ili, Seyhan ilçesinde şehir merkezine yaklaşık 25 km uzaklıkta bulunan Erenler Gübre Tarım San. ve Tic. Ltd. Şti.'ne ait zirai işletme olarak hizmet vermektedir. Şekil 4.1 de görülmekte olan tesisin koordinatları 36° 59' 15.11''K - 35° 08' 32.50''D enlem ve boylamlarında yer almaktadır. FV paneller çatı yüzeyine paralel şekilde monte edilmiştir. Çatı eğimi 7° olduğundan dolayı panel eğimi de aynı olmuştur. Adana ilinde Akdeniz iklimi görülmektedir. Yazları sıcak ve nemli, kışları da yağışlı geçmekte olup kar yağışı olmamaktadır. Sıcaklık değerleri ocak aylarında nadir de olsa -5 °C derecelerine ulaşır. Yazın da temmuz ayında 50 °C derecelere ulaşmaktadır. Yıllık sıcaklık ortalaması 19.2 °C olup yıllık ortalama nem oranı % 62,4 olmaktadır [40].



Şekil 4.1. Erenler Tarım FV sahası konum görseli.

4.2. İNCELENEN TESİSİN MODELLENMESİ

Şekil 4.2’de incelemesi yapılan GES’in sketch-up programında yapılan modellemesini ve gerçek tesis görselini içermektedir. Bilgisayar modellemesi aracılığıyla tesisteki paneller üzerindeki gölgelenme yılın farklı günleri için saatlik olarak incelenebilmektedir.



(a)

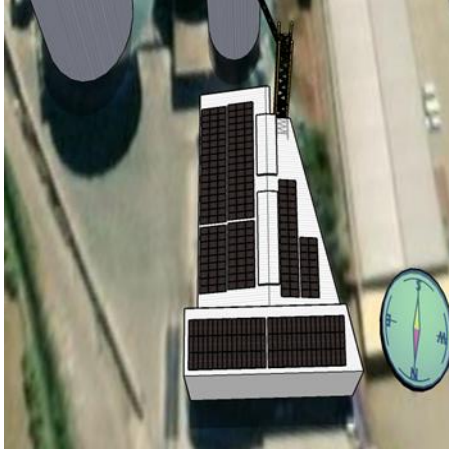
(b)

Şekil 4.2. Erenler Tarım FV sahası Sketch-up tasarımı üstten görünümü.

(a) Tesis Sketch-up tasarımı üstten görünümü.

(b) Tesis gerçek üstten görünümü.

Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’ de, tesisin farklı yönlerden tasarım programı ve gerçekte uygulanmış görselleri sunulmuştur. Simulasyon sonuçları ile gerçeğe yakın bir çalışma elde edilebilmektedir. Yapılan simülasyon çalışmaları ile zirai kule kaldırılmadan önceki gölgelenme etkilerinin, gerçek gölgelenme ile benzer olduğu gözlemlenmiştir.



(a)

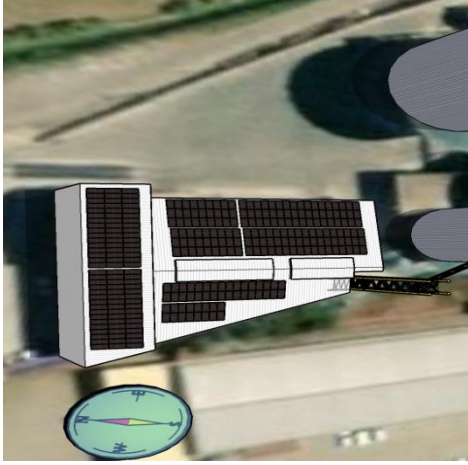


(b)

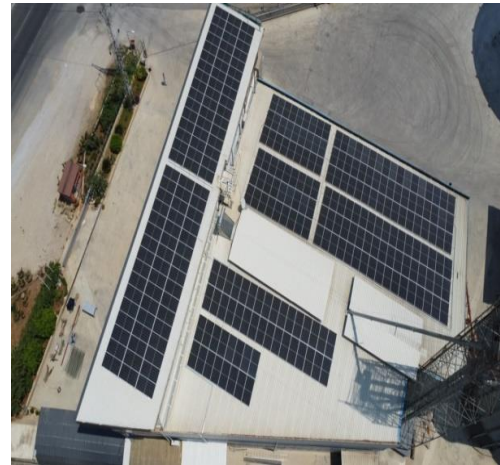
Şekil 4.3. Erenler Tarım FV sahaları Sketch-up tasarımı doğu yan görünümü.

(a) Tesis Sketch-up doğu yan görünümü.

(b) Tesis gerçek doğu yan görünümü.



(a)



(b)

Şekil 4.4. Erenler Tarım FV sahaları Sketch-up tasarımı batı yan görünümü.

(a) Tesis Sketch-up batı yan görünümü.

(b) Tesis gerçek batı yan görünümü.

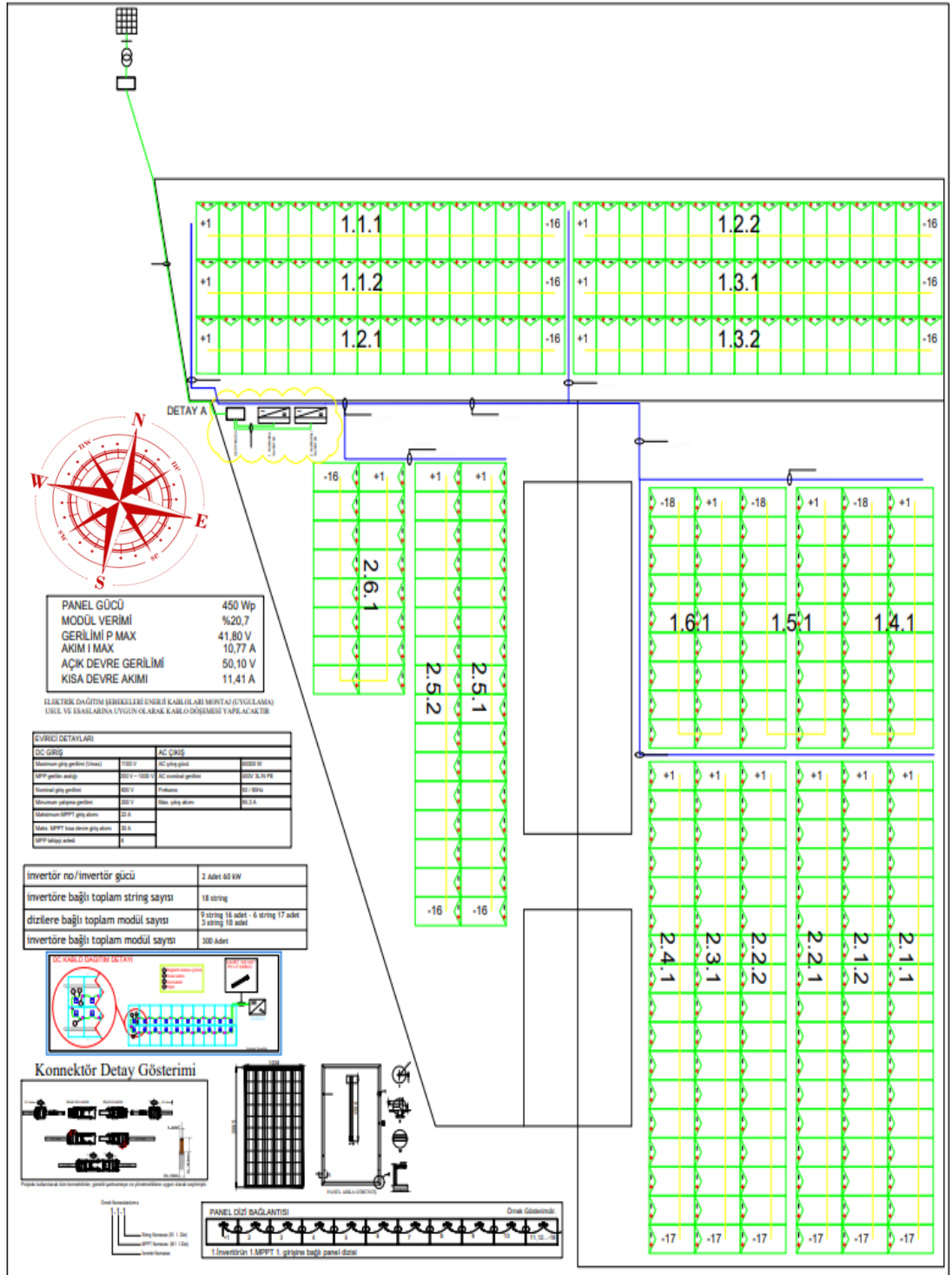
4.3 İNCELENEN ÇATI TİPİ GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN ELEKTRİK PROJESİ

Tesisin çatı üzeri güneş enerji santrali, Lisanssız Elektrik üretim yönetmeliğine tabi olacak şekilde 01.09.2022 tarihinde devreye alınmıştır. Tesis tasarımı yapılırken yatırımcı ve proje tasarımcısı tarafından gölgelenmenin olacağı kabul edilerek tasarlanmıştır. Gölgeleme faktörünün tesisin elektrik üretimini nasıl etkilediğini ve FV panellerin ömrünü ve genel tesis verim ömrüne etkileri hesap edilmeden projelendirilmiştir. İncelemeleri yalnızca gölgelenme faktörü olarak değil kirlenme, farklı yönlere bakan panellerin üretime etkileri de incelenmiştir.

Tesis onaylı elektrik projesi Şekil 4.5' de gösterilmiştir. Dizilerdeki panel sayısı, hangi eviriciye hangi dizi bağlantısı yapıldığı ve çatı üzerinde hangi yöndeki panellerle tasarım gerçekleştirildiği görülmektedir. Şekil 4.5' de panellerin genel yerleşimi ve dizi bağlantı tasarımları onaylı elektrik projesinde evirici giriş adresleri de belirtilerek uyumları gözlemlenebilmektedir.

Evirici 1' e giriş yapılacak olan 1.1.1, 1.1.2, 1.2.1, 1.2.2, 1.3.1, 1.3.2. numaralı diziler, kuzey yönüne çatı eğiminde montajı yapılmıştır. Dizilerde 16 adet panel birbirine seri olarak bağlanmıştır. Doğu yönüne montajlı 1.4.1, 1.5.1, 1.6.1 numaralı diziler, çatı eğiminde 18 adet panel birbirine seri olarak bağlanmıştır.

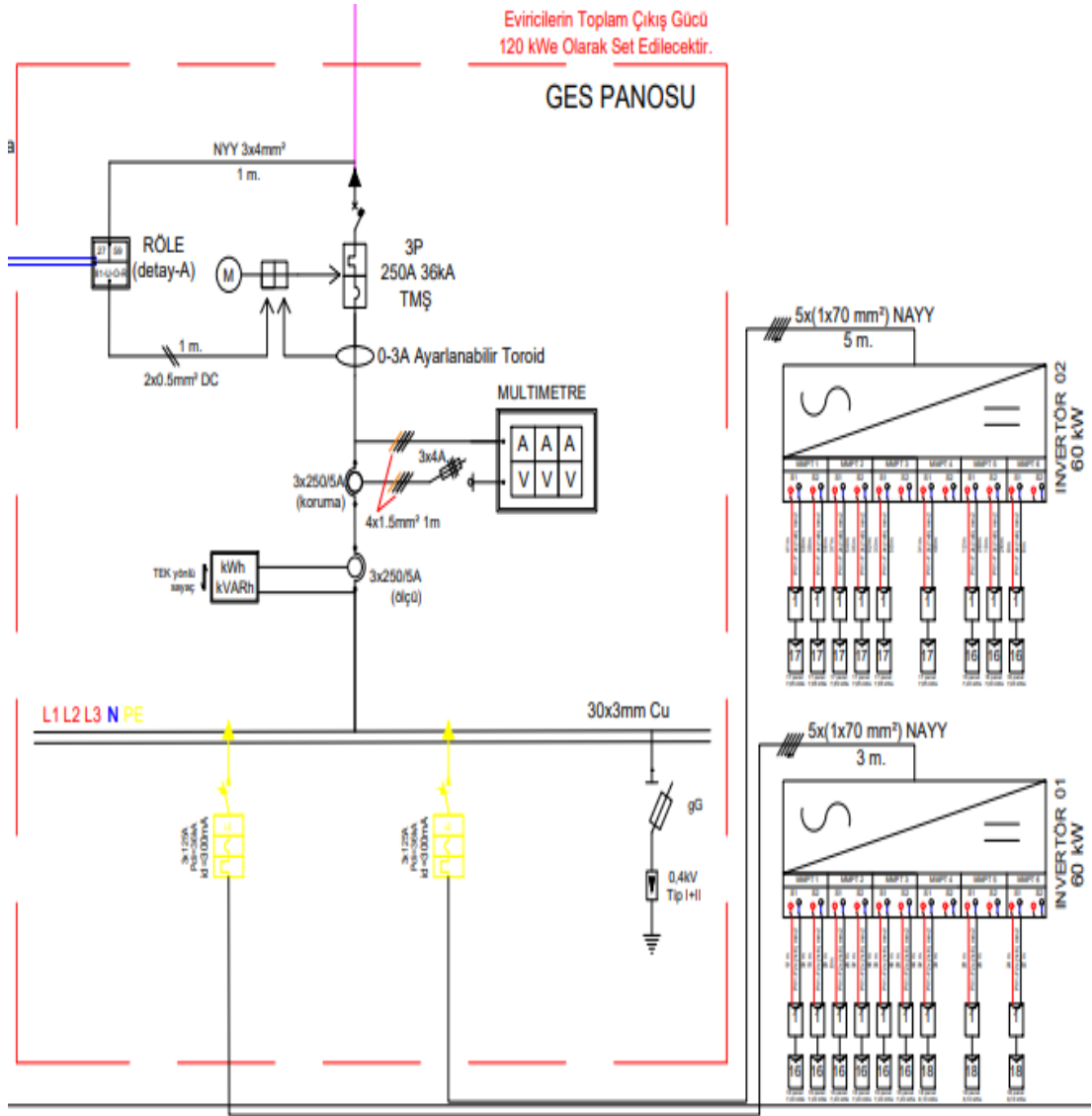
Evirici 2' ye giriş yapılacak olan 2.1.1, 2.1.2, 2.2.1, 2.2.2, 2.3.1, 2.4.1 numaralı diziler, doğu yönüne çatı eğiminde montajı yapılmıştır. Diziler 17 adet panel birbirine seri olarak bağlanmıştır. Batı yönüne montajlı 2.5.1, 2.5.2, 2.6.1 numaralı dizi çatı eğiminde 16 adet panel birbirine seri olarak bağlanmıştır. Tesiste 3 farklı yöne bakacak şekilde tasarlanmış ve uygulanmış FV paneller mevcuttur.



Şekil 4.5 Erenler Tarım FV panel genel yerleşim projesi.

4.4. İNCELENEN ÇATI TİPİ GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TEK HAT ŞEMASI

Güneş enerji santralının tek hat şeması Şekil 4.6’ da sunulmuştur. Tek hat şemasında evirici DC giriş bağlantı kabloları, panel sayısı ve gücü belirtilmiştir. Şema 2 adet eviriciden oluşmakta, toplama panosunda termik manyetik şalterler üzerinden ortak barada toplanarak ana dağıtım panosuna üretilen elektrik enerjisi taşınmaktadır.



Şekil 4.6. Erenler Tarım GES tek hat şeması.

4.5. GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNDE KULLANILAN PANELLER

Santralde güneş paneli olarak CWT 450 Watt –Halfcut güneş paneli kullanılmıştır. Her bir panelde 144 adet half cut mono kristal hücre bulunmaktadır. Tesiste verimin maksimum olması hedeflenmiştir, bu sebeple hücre tipi olarak monokristal ve half-cut serisi olan teknik özelliğe sahip bir ürün seçimi gerçekleştirilmiştir.

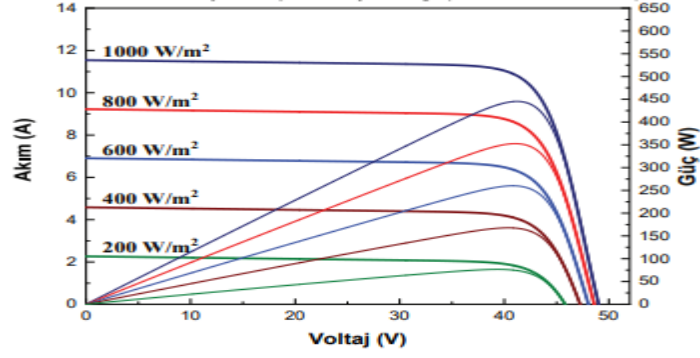
Panel elektriksel değerleri incelenecek olursak Voc değeri 49,2 volt ve Vmp 41,4 voltdur. Dizi tasarımında bu değerler dikkate alınmıştır. Maksimum sistem gerilimine göre tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Çalışma sıcaklıkları dikkate alındığında geniş bir çalışma sıcaklık aralığı gözlemlenmektedir. Çalışma sıcaklık aralığı, verimi etkileyen faktörler arasında yer almaktadır.

PERC MONOKRİSTAL ■ 144MB		Half Cut						
ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER								
Model Tipi	CWT420 144MB	CWT425 144MB	CWT430 144MB	CWT435 144MB	CWT440 144MB	CWT445 144MB	CWT450 144MB	CWT455 144MB
Maksimum Güç (P_{max})	420 Wp	425 Wp	430 Wp	435 Wp	440 Wp	445 Wp	450 Wp	455 Wp
Modül Verimliliği	19,30	19,52	19,75	20,00	20,20	20,40	20,70	20,90
Maksimum Güç Gerilimi (V_{mp})	40,20	40,40	40,60	40,80	41,00	41,20	41,40	41,60
Maksimum Güç Akımı (I_{mp})	10,45	10,52	10,6	10,67	10,74	10,81	10,87	10,94
Açık Devre Gerilimi (V_{oc})	48,00	48,20	48,40	48,60	48,80	49,00	49,20	49,40
Kısa Devre Akımı (I_{sc})	11,17	11,25	11,32	11,40	11,47	11,54	11,61	11,67
Güç Toleransı	0~+5W							
Maks. Sistem Anma Gerilimi	1000V DC / 1500V DC							
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-40~+85°C							
Güvenlik Sınıfı	C							
Maks. Seri Sigorta Akımı	15A/20A							

Çizelge 3.1. CWT450-144MB Model FV elektriksel çalışma değerleri [34].

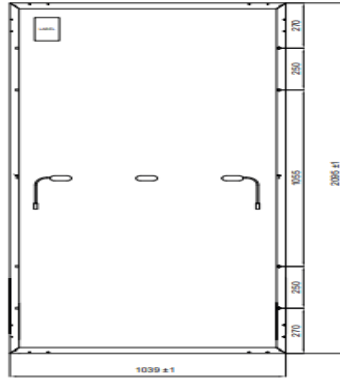
Çizelge 3.1’ de belirtilen panel güçleri arasından güneş enerji santralinde 300 adet 450W CWT güneş paneli kullanılmıştır. Panel eğimi çatı eğimi ile aynı olacak şekilde montaj gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4.7’ de kullanılan panelin ışınım şiddetine göre akım-gerilim ve güç-gerilim eğrileri görülmektedir.



Şekil 4.7. FV panel elektriksel akım, voltaj ve güç grafiği [34].

Paneller üç farklı yöne bakacak şekilde monte edilmiştir. Paneller 16, 17 ve 18'li seri olacak şekilde dizi bağlantıları oluşturulmuştur. Panel serileri ayrı ayrı dönüştürücüye ve DC girişlerine bağlanmıştır. Bağlanma tasarımı yön ve dizi gerilim, akım ve güçlerine göre tasarlanmıştır.



(a)

MEKANİK ÖZELLİKLER	
Hücre Boyutu(mm)	166 x 83
Hücre Sayısı(adet)	144 (12X12)
Ağırlık(kg)	24,5
Panel Boyutu(mm)	2095x1039x40
Maks. Rüzgar/Kar Yüğü Dayanımı (Pa)	2400/5400
Bağlantı Kutusu Koruma Sınıfı	IP67 / IP68
Bağlantı Kutusu Kablo Boyu(mm)	350-1200

(b)

Şekil 4.8. FV panel fiziksel ebatları [34].

(a) Ebatları ve mekanik çizim görseli.

(b) Mekanik Özellikleri.

4.6. GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNDE KULLANILAN EVİRİCİ

Güneş panelleri doğru gerilim üretmektedir. Üretilen doğru gerilimin alternatif gerilime dönüştürülmesi için evirici cihaz kullanılmıştır. Evirici cihaz olarak Şekil

4.9’ da ürün olan 60 kW Huawei Marka 60 KTL serisi seçilmiştir. Kapasitesine göre DC yüklenme ve AC çıkış değerlerine göre çalıştırılmıştır.



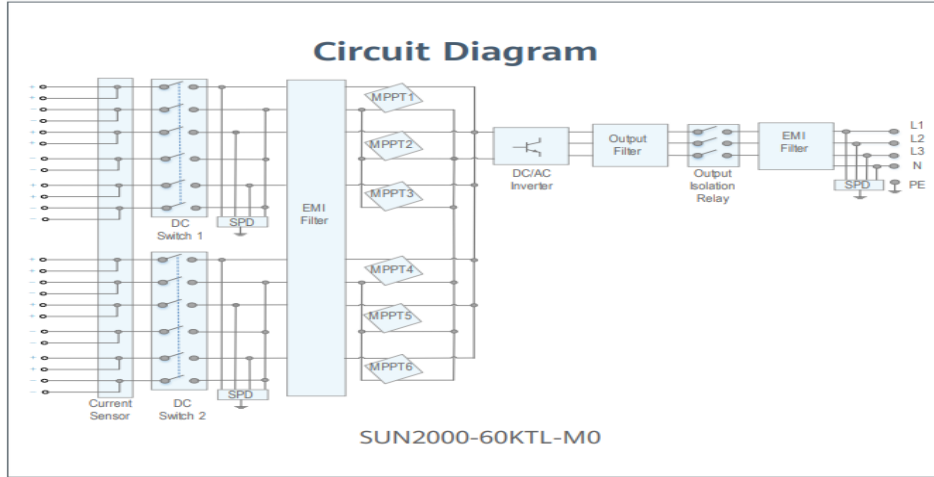
Şekil 4.9. Tesiste kullanılan 60 kW DC-AC evirici [35].

Evirici teknik bilgilerini Çizelge 3.2’ de verilmiş olup bu bilgiler dahilinde evirici üzerine 67400W panel gücü yüklenebileceği görülmektedir. Verimlilik oranları ve diğer tüm teknik özellikler göz önünde bulundurularak ürün seçimi gerçekleştirilmiştir.

TEKNİK ÖZELLİKLER	SUN2000-60KTL-M0
	Verim
Maksimum Verim	%98.9 @480Vac; %98.7 @400Vac
Avrupa Verimi	%98.7 @480Vac; %98.5 @400Vac
	Giriş
Maksimum DC Kullanılabilir Güç	67,400 W
Maksimum Giriş Gerilimi	1,100 V
MPPT Başına Maksimum Giriş Akımı	22 A
MPPT Başına Maksimum Kısa Devre Akımı	30 A
Başlangıç Gerilimi	200 V
MPPT Çalışma Gerilimi Aralığı	200 V~1,000 V
Giriş Anma Gerilimi	600V @380/400Vac; 720V @480Vac
Maksimum Giriş Sayısı	12
MPPT Sayısı	6
	Çıkış
Anma AC Aktif Gücü	60,000 W
Maksimum AC Görünür Güç	66,000 VA
Maksimum AC Aktif Güç (cosφ=1)	55,000 W
Çıkış Anma Gerilimi	220V / 380V, 230V / 400V varsayılan, 3W+N+PE; 3W+PE ayarlanabilir
Çıkış Anma Akımı	277V/480V, 3W+PE
Anma Frekansı	91.2A @380Vac, 86.7A @400Vac, 72.2A @480Vac
Maksimum Çıkış Akımı	50 Hz / 60 Hz
Ayarlanabilir Güç Faktörü	100A @380Vac, 95.3A @400Vac, 79.4A @480Vac
Maksimum Toplam Harmonik Bozulma	0.8 LG ... 0.8 LD < 3%

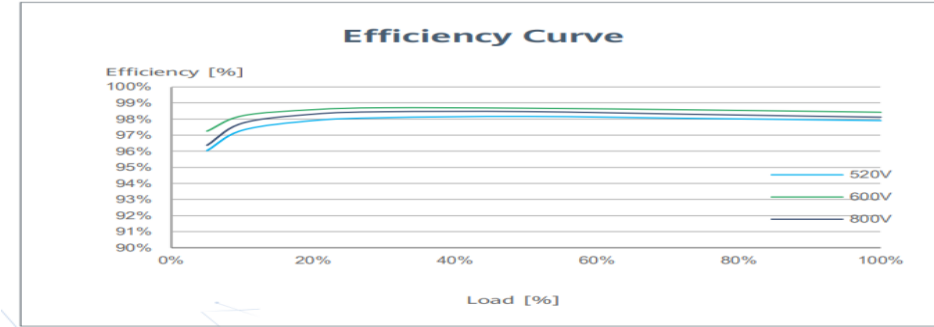
Çizelge 3.2. Eviriciye ait elektriksel veriler [35].

Şekil 4.10’ daki evirici diyagramında, FV girişler, MPPT bağlantı şeması ve bu bağlantının DC bölüm toplama barasının yapısı, dönüşüm diyagramı ve çıkışlardaki filtreleme ekipmanları görülmektedir.



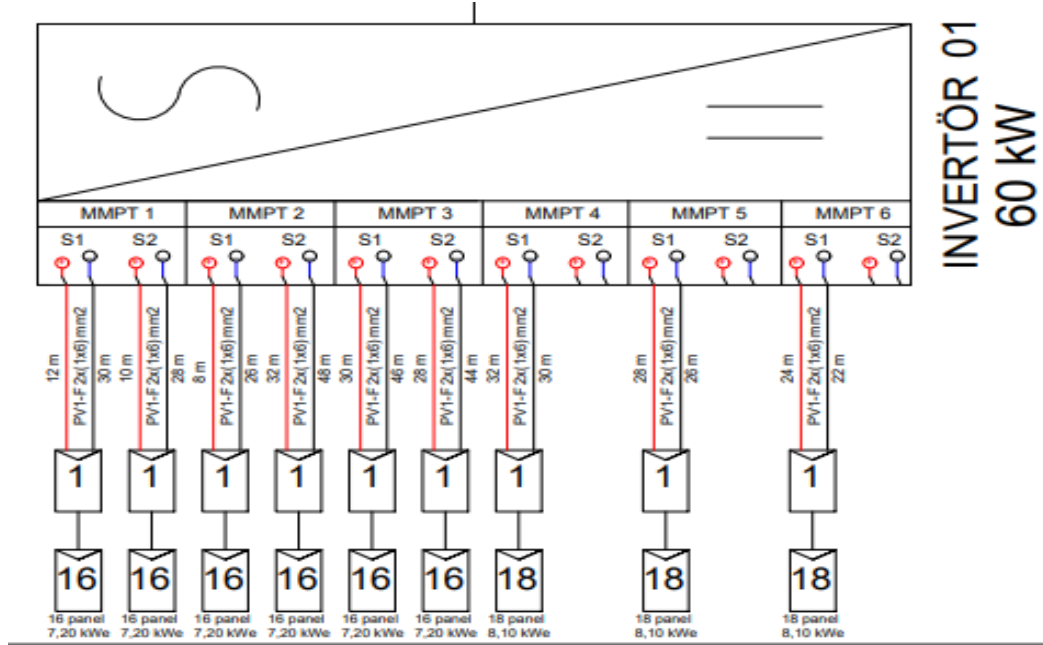
Şekil 4.10. Eviriciye ait devre diyagramı [35].

Şekil 4.11’de eviricinin panel tarafından oluşturulan gerilim seviyelerinde yüzde verim grafiği verilmiştir. Kullanılan evirici % 98,5 verimle çalışabilmektedir. 60 kW AC çıkış kapasitesine sahiptir. Erenler güneş enerji santralinde 2 adet 60 kW evirici kullanılmıştır. Toplamda şebekeye 120 kW AC güç verebilecek kapasitede bir tesis oluşturulmuştur.



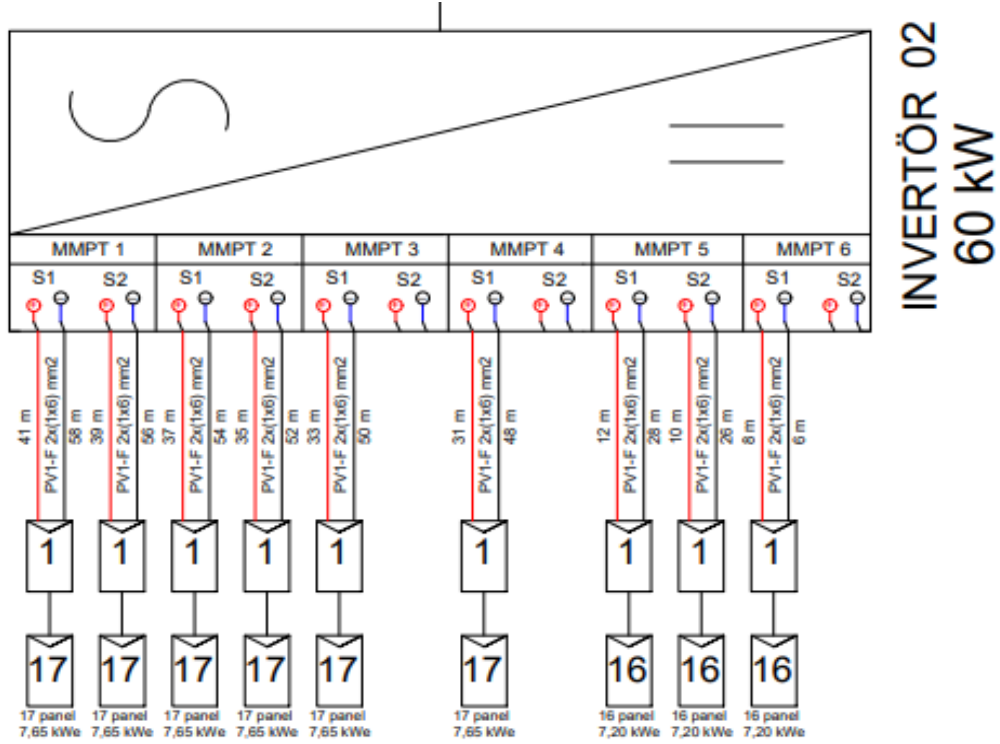
Şekil 4.11. Evirici verimlilik eğrisi [35].

Eviricilere bağlanan panellerin sayısı, seri bağlantı sayısına göre değişiklik gösterecektir. Aynı MPPT algoritması kontrolünde olan panellerin gerilim seviyeleri, seri bağlanan panel sayısı ile yön ve gölgeleme ihtimallerine dikkat edilerek tasarlanmıştır.



Şekil 4.12. Evirici-1 MPPT girişlerine göre panel dağılımı.

Eviriciye bağlanmış olan DC giriş MPPT-1, MPPT-2, MPPT-3 ve MPPT-4 girişleri kuzey yönüne montajlı olduğu için, bağlı olan panellerin dizileri aynı MPPT girişlerine yapılmıştır. MPPT-5 ve MPPT-6 girişlerine bağlanan FV panel serisi doğu yönüne montaj yapıldığı ve güneş ışınım şiddetleri farklı olacağı için FV panellerin üreteceği gerilim ve akım değerlerinde de farklılık görülecektir. Bu diziler bağımsız MPPT girişlerde olduğunda performans kaybı minimum olur. Evirici 1' de doğu ve kuzey yönlerine bakacak şekilde montajlar mevcuttur. Evirici 1' e bağlanan toplam DC güç değeri 67,5 kWp'dir.



Şekil 4.13. Evirici -2 MPPT girişlerine göre panel dağılımı.

Eviriciye bağlanmış olan DC giriş MPPT-1, MPPT-2, MPPT-3 ve MPPT-4 girişleri doğu yönüne montaj olduğu için, bağlı olan panellerin dizileri 17 adet panel seri olacak şekilde aynı MPPT girişlerine yapılmıştır. MPPT-5 ve MPPT-6 girişlerine bağlanan FV panel serisi 16 adet panel seri olacak şekilde batı yönüne montaj yapıldığından, güneş ışınım şiddetleri farklı olacaktır ve FV panellerin üreteceği gerilim ve akım değerleri de farklılık görülecektir. Evirici 2' de doğu ve batı yönlerine bakacak şekilde montajlar mevcuttur. Evirici 2' ye bağlanan toplam DC güç 67,5 kWp'dir.

4.7. VERİ KAYDEDİCİ

Panellerin ürettiği elektrik enerjisi, akım, gerilim gibi veriler dönüştürücü üzerinden toplanmaktadır. Şekil 4.14' de görülen veri kaydedici aracılığı ile eviricinin tüm verileri izlenerek, dizilerin üretime etkileri ve verim incelenebilmektedir.



Şekil 4.14. Veri kaydedici cihaz Smart Dongle [35].

Veri cihazına ait teknik değerler Çizelge 3.3’ de belirtilmiştir.

TEKNİK ÖZELLİKLER	SDongleA-03-EU
Genel Veri	
Maks. Desteklenen Cihazlar	10
Maks. Desteklenen İnverterler	10
Bağlantı Arayüzü	USB
Kurulum	Tak çalıştır
Gösterge	Led göstergesi
Boyutlar	130x48x33 mm (5,1x1,9x1,3 inch)
Ağırlık	90g (0,2 lb.)
Koruma Derecesi	IP65
Güç Tüketimi	3,5 W
Kablosuz Parametre	
Sim Kart Türü	Mini sim(15 mm 25 mm)
Desteklenen standartlar ve frekanslar	4G: FDD-LTE / TDD-LTE 3G: WCDMA / HSDPA / HSUPA / HSPA+ 2G: GSM / GPRS / EDGE 3
Çevre	
Çalışma Sıcaklığı Aralığı	-30 °C to +65 °C (-22 °F to 149 °F)
Bağıl Nem Aralığı	5 - 95% RH
Depolama Sıcaklığı Aralığı	-40 °C to +70 °C (-40 °F to 158 °F)
Maksimum çalışma yüksekliği	4,000 m (13,123 ft.)

Çizelge 3.3 Veri kaydedici cihaz teknik verileri [35].

4.8. TERMAL ÖLÇÜ ALETLERİ

Şekil 4.15’ de görülmekte olan ölçüm aleti DJI marka Mavic Enterprise Advanced termal görüntüleme yapma özelliklerine sahip bir cihazdır.

½” CMOS sensörlü 48 MP Ana Kamera, +/- 2 C sıcaklık hassasiyetine sahip 640x512 pxl termal kamera, 40 mm eşdeğer odak uzaklığı , 61’ görüntüleme görüş alanı (DFOV) gibi özellikleri içermektedir [36].

Cihaz termal öngörülerini; nokta ve alan sıcaklığı, yüksek sıcaklık uyarıları, renk paletleri, izotermeler gibi ölçümler tespitler alabilmektedir.



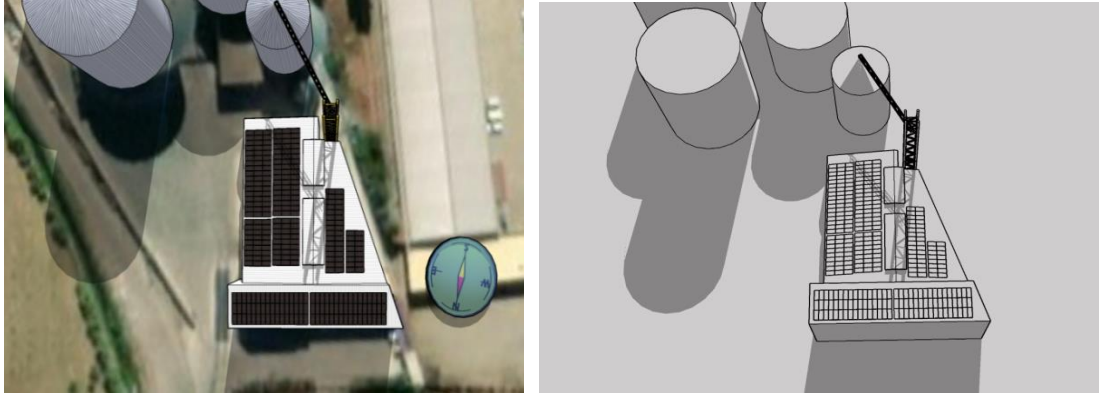
Şekil 4.15. DJI marka termal ölçüm cihazı [36].

4.9. GÖLGELENMENİN ÜRETİME ETKİSİ

Tesis kurulumu 01.09.2022 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Kurulum sonrasında periyodik olarak tesisin üretim değerleri kontrol edilmiştir. Tesisin devreye alınmasının üzerinden geçen üç aylık süreç sonrasında 29.12.2022 tarihinde panellerin, eviricilerin ve şalt malzemelerin öğle saatlerinde termal görüntüleri alınmıştır. Bu görüntüler neticesinde ışınım şiddetinin yüksek olduğu öğle vakitlerinde, üretime göre sıcaklık farklılıkları ve renk değişiklikleri gözlemlenmiştir.

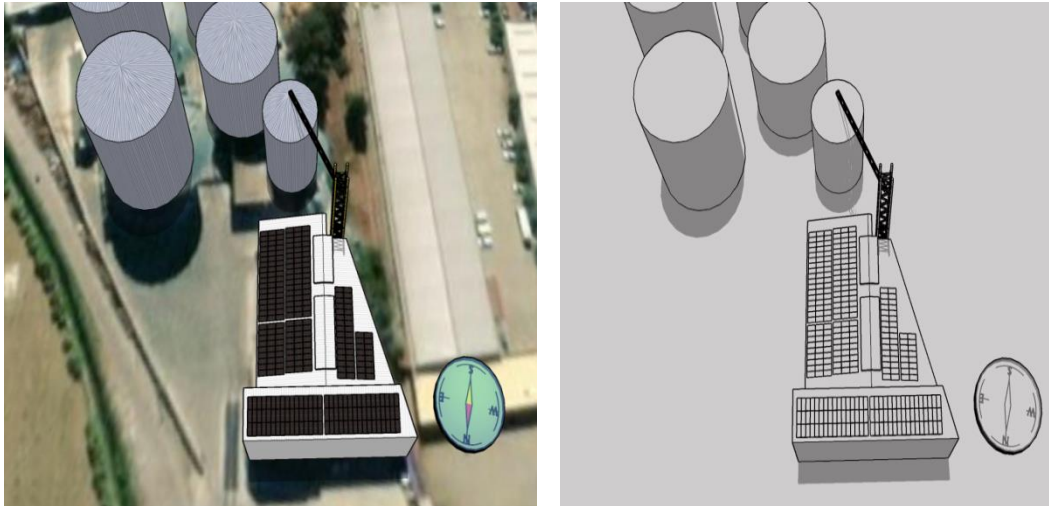
Eviriciler üzerinden alınan doğru akım ve gerilim, alternatif gerilim, akım, frekans vb. değerleri evirici üzerinde bulunan veri kaydediciden alınmıştır. Tesiste termal özellikli drone ile çekim gerçekleştirilmiştir. Tesisin Sketch-up programı aracılığıyla FV panel yerleşimi yapılmıştır. Tasarımda gölgelenme etkisi olan zirai kule de,

özellikle belirtilmiştir. Bu kule ve diğer gölgelenme etkisi oluşturacak etkenlerde dikkate alınarak tasarlanmıştır. Bu tasarımın belirli günler ve saatlere göre gölgelenme simülasyonları alınmıştır.



Şekil 4.16. Tesis Sketch-up 21 Aralık Tasarımı Gölgeleme (Saat:11.30).

21 Aralık günü için tesisin tasarımında olması beklenen gölgelenme boyutu Şekil 4.16' da sunulmuştur. Benzer inceleme 21 Haziran tarihi için de incelenerek Şekil 4.17' de tesis üzerine etkisi gösterilmiştir.



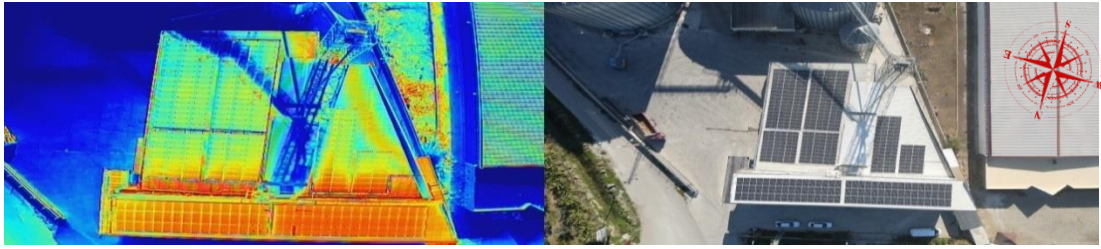
Şekil 4.17. Tesis Sketch-up 21 Haziran Tasarımı Gölgeleme (Saat:11.30).

Bütün işlemler 29.12.2022, 23.08.2023 ve 29.12.2023 tarihlerinde aynı gözlem verileri alınarak raporlanmıştır. Alınan verilerin karşılaştırmaları ve

değerlendirmeleriyle tesisin daha verimli çalışması için farklı çözüm yöntemleri uygulanmıştır. Uygulamalarda ciddi bir etki olan zirai kule 25.07.2023 tarihinde tesisten kaldırılmıştır. Kulenin kalkması ile gölgelenmenin etkisinin azaldığı görülmüştür. FV panellerin üretim veriminde ciddi artışların olduğu ve FV modül ısı üzeri ısı dağılımının daha homojen olduğu görülmüştür. İlave olarak kirlenmenin etkisinin görülebilmesi için 22.08.2023 tarihinde FV panel yüzey temizliği yapılmıştır.

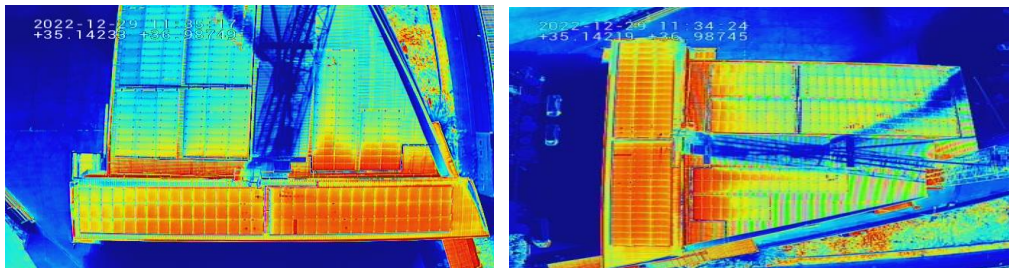
4.10. TERMAL SONUÇLAR

Çatı tipi güneş enerji santralının termal ve normal görüntüleri incelenerek, çevresel etkenlerin FV paneller üzerinde oluşturduğu etki, sıcaklık haritasıyla verileriyle sunulmuştur.



Şekil 4.18. Tesis normal ve termal görüntüleri 29.12.2022 tarihine ait

Tesisin gölgelenme sırasında normal görüntüsü alınmıştır, görüntüde belirli olan tesise ait kulenin ve bu kulenin gölgesinin de çatı üzerinde bulunan güneş panellerinin güneşin düşüş açısına göre gölge oluşturduğu anlaşılmıştır.



(a)

(b)

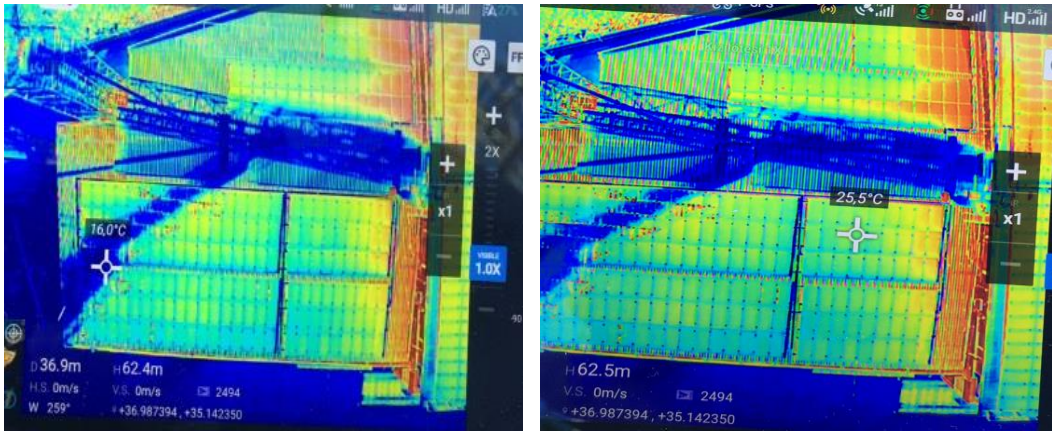
Şekil 4.19. Termal görüntü farklı yönlerden 29.12.2022.

(a) Kuzey Cephesi (b) Batı Cephesi

Yukarıda Şekil 4.18’ de belirtilen üretim tesisi 29.12.2022 tarihinde saat 11.30’da alınmıştır. Termal görüntülerin ısı haritasında net olarak gözlemlenmiş olup gölgelenmenin olumsuz etkisi görülmüştür.

Şekil 4.19.a’ da görülen ısı haritasına göre FV panellerin montajının kuzey cephesine bakacak şekilde çatıya paralel ve eğimli olacak şekilde montajı yapılmış panellerin ısı dağılımını kırmızılığının daha yoğun olduğu ve sıcaklığın diğer batı ve doğu yönlerine bakacak şekilde olan montajlara göre daha fazla olduğunu net bir şekilde görülebilmektedir.

Şekil 4.19.b’de görülen ısı haritasında termal kontrol cihazının batı cephesinden görüntü sonuçlarından, kulenin gölgesinin dizi etkisi renk sıcaklığının soğuk olmasından tespit edilebilir. FV panellerin farklı yönlerden alınan görüntülerle ısı dağılımının aynı sonuçları verdiğini görülmüştür. Kulenin gölgesinin panel gruplarına etkisinin olduğunu net şekilde görülmüştür.



(a)

(b)

Şekil 4.20. Termal görüntü Doğu cephesi farklı noktalar 29.12.2022

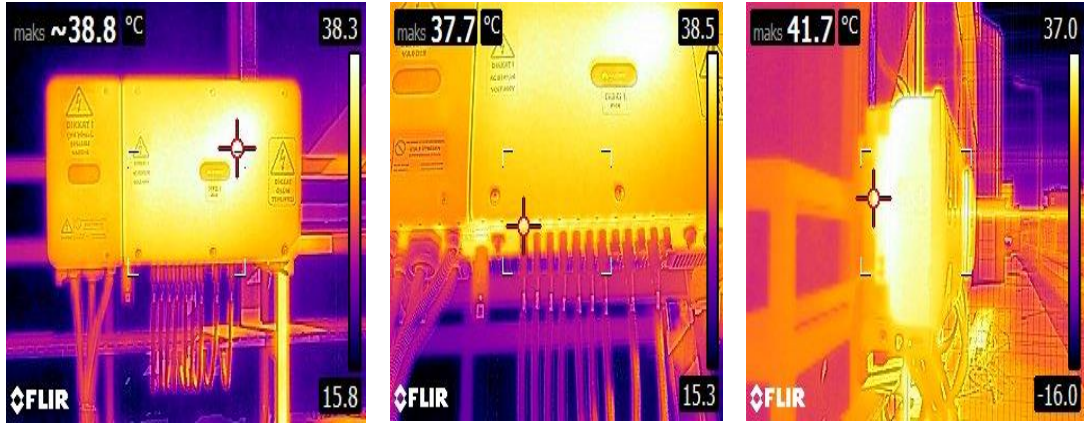
(a) Gölgeleme noktası

(b) Gölgeleme noktası dışı

Şekil 4.20’ de tespit edilen ısı değerlerinde farklı noktalara ait sıcaklık değerleri tespit edilmiştir.

(a)Gölgelenmenin tam olduğu noktada panel yüzey sıcaklığı 16 °C olarak tespit edilmiştir ve aynı dizinin devamı olan (b) şeklinde belirtilmiş olan panelin yüzey sıcaklık değeri 25,5 °C gözlemlenmiştir.

Aynı dizide gölgelenmeden kaynaklı olarak panel enerji üretiminde oluşan verim etkisi, panel yüzey sıcaklığından da gözlemlenebileceği yorumu yapılabilir. Şekil 4.21’ de Evirici 1 numaraya ait sıcaklık ve ısı haritası gözlemlenmiştir.



(a)

(b)

(c)

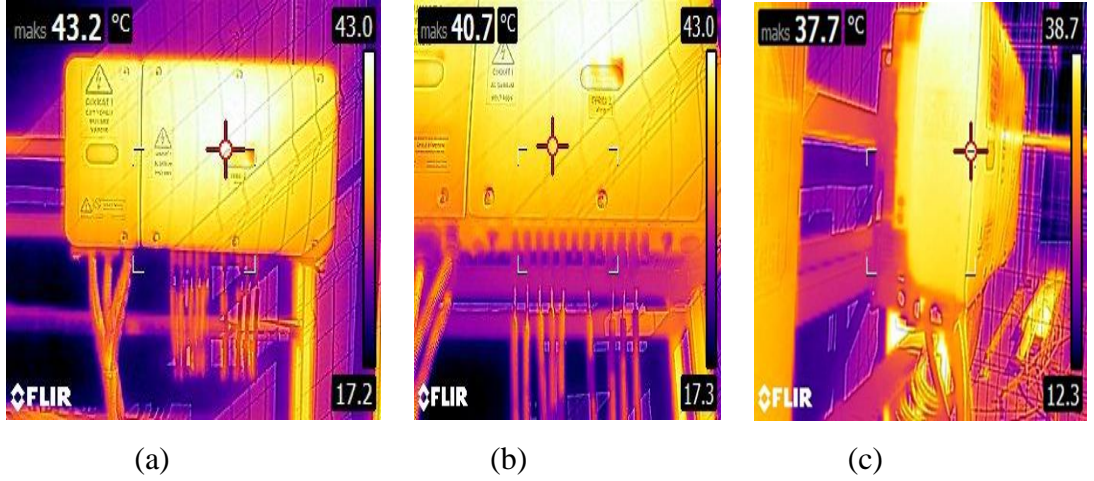
Şekil 4.21. Evirici 1 termal kamera ısı haritası farklı açılardan 29.12.2022 ait.

(a) Ön Yüzeyinden (b) Alt FV Giriş Noktalarından (c) Arka Yüzeyine Ait

Ölçümlerde ısı değerlerinin ön yüzeyde dengeli olduğu görülmüş, FV panel girişlerinde herhangi bir sıcaklık farklılığına veya aşırı sıcaklığa rastlanılmamıştır. Giriş bağlantı noktalarının sağlıklı şekilde iletkenliklerini gerçekleştirdiği gözlemlenmiştir.

Sıcaklığın, eviricinin arka kısmında yaklaşık olarak 3°C daha yüksek olduğu görülmüştür. Ölçülen değerler, problem oluşturabilecek değerde değildir. Evirici 1’ in sıcaklık değeri, kendi uygulması üzerinden 36,6 °C kaydedilmiştir.

Uygulama üzerinden evirici veriminin %98,42 olarak alınmıştır. Bu değer katalog değerlerine yakın olduğu görülmüştür. Verilerin alındığı gün herhangi bir elektrik kesintisine rastlanılmamıştır.



Şekil 4. 22. Evirici 2 termal kamera ısı haritası farklı açılardan 29.12.2022 ait.
 (a) Ön Yüzeyi (b) FV Giriş Noktaları (c) Arka Yüzey

Şekil 4.22' de evirici 2 numaraya ait ısı grafiği sıcaklık ve ısı haritası sunulmuştur. Eviricinin farklı noktalarında alınan termal ölçümler neticesinde, evirici yüzeyindeki sıcaklığın 37,7 °C ile 43,2 °C arasında olduğu gözlemlenmiştir.

Yılın farklı gün ve saatlerinde, tesisteki yapıların durumuna göre farklı gölgelenme durumları oluşmaktadır. Gölgelemenin olduğu dizilerdeki üretim değerleri düşmüştür. Bu sebeple tesisin gölgelenme sebebiyle üretim performansını düşüren zirai kule kaldırılarak, yeni ölçümler alınmıştır. Kule kaldırıldıktan sonra tesise ait yapılan yeni ölçümler Şekil 4.23' de verilmiştir. Tesis fotoğrafında ve termal görüntüsünden de anlaşılacağı üzere, kule gölgelenmesinin etkisi ortadan kalkmıştır (Şekil 4.23). Tesisin geneline etki eden kule gölgesi oluşmamıştır. Kısmi gölgelenme sayılacak silo gölgelenmesi, fotoğraflarda görülmektedir.

29.12.2022 tarihinde alınan ölçümler, 29.12.2023 tarihinde tekrar alınmıştır. Bu değerler ve görüntüler neticesinde gölgelenmelerin farklılık göstermesinden kaynaklı olarak sahanın üretimine ve termal ısı dağılımlarına ulaşılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 4.23. 29.12.2023 tarihine ait tesis normal ve termal görüntüleri.

Santralin farklı açılardan alınmış termal sonuçları Şekil 4.24 ve Şekil 4.25’ de verilmiştir. 29.12.2022 tarihli sonuçlara kıyasla gölgeleme etkisinin olmadığı, panel, dizi ve saha genelinde homojen ısı dağılımının olduğu açıkça görülmektedir.



(a)



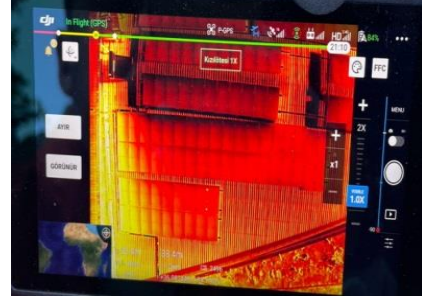
(b)

Şekil 4.24. Tesis kuzey yönünden panellerin gölgeleme etkisi.

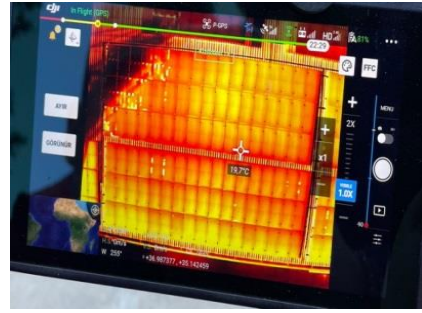
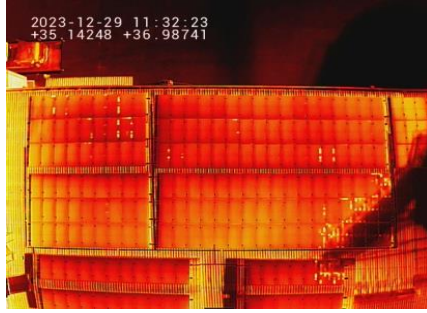
(a) Kuzey yönünde çatı termal görünümü

(b) Kuzey yönü uzak çatı termal görüntüsü

Alınan ısı değerleri ve görüntülerden homojen ısı dağılımının oluştuğu ve güneş enerji üretim santralinin bir önceki çalışma koşullarına göre daha verimli çalıştığı gözlemlenmiştir.



(a) Tesis batı yönüne bakan panellerin gölgeleme etkisi.



(b) Tesis doğu yönüne bakan paneller gölgeleme etkisi.

Şekil 4.25. GES'e ait farklı yönlerden çekilmiş termal görüntüler (29.12.2023)



Şekil 4.26. Evirici 1 gerçek ve termal görüntüsü.

Evirici 1' nin farklı noktalarından alınan termal ölçümler neticesinde, evirici yüzeyindeki sıcaklığın 40,7 °C olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.27. Evirici 2 gerçek ve termal görüntüsü.

Evirici 2' nin farklı noktalarından alınan termal ölçümler neticesinde, evirici yüzeyindeki sıcaklığın 39,5 °C olduğu gözlemlenmiştir.

4.11. KİRLENMENİN ÜRETİM PERFORMANSINA ETKİSİ

Hücre yüzeyi ve panel yüzeyi birlikte bağlı bulunduğu dizilerde aynı gölgenme, kirlenme ve ışınım şiddetine sahip olursa hücrelerde dengesiz veya düzensiz ısınma gerçekleşmez.



Şekil 4.28. Çevresel etmenler hayvan kalıntısı sahadan örnek.

FV panel üzerinde noktasal şekilde oluşan kirliliklerin uzun süre panel yüzeyinde kalması durumunda hücre ömrü kısalmaktadır. Anlık olarak o seriye bağlı hücre grubunu ve panelin dizinin enerji üretimini etkilemektedir. Bu tarz çevresel kirliliklere hızlı şekilde müdahale edilmeli ve panel yüzeyinden temizlenmelidir.



Şekil 4.29. Çevresel etmenler, tozlanmaya örnek.

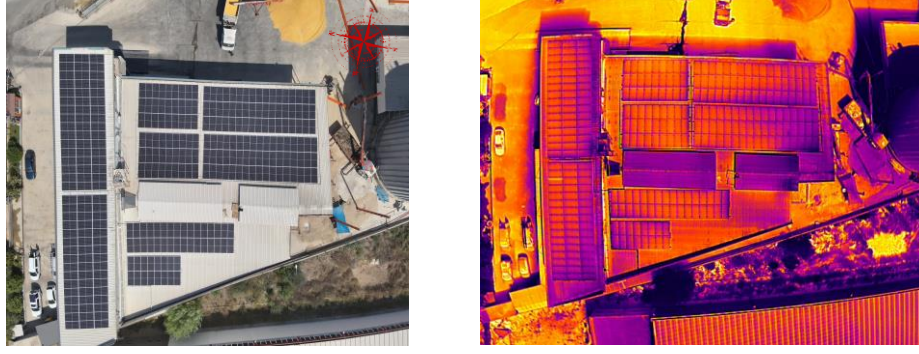
Güneş enerji santrallerinin, buldukları konum ve çevresel kirlenmeye göre zamanla yüzey kirlenmesi yaşanabilmektedir. Bu durum santralin verimini düşürdüğü gibi, bölgesel kirlenmeler sebebiyle sıcak noktalar oluşabilmektedir. Kirlenme oranlarına göre belirli aralıklarla, doğru ve uygun yöntemler ile temizlenmelidir.



Şekil 4.30. Tesis panel yüzey temizliği.

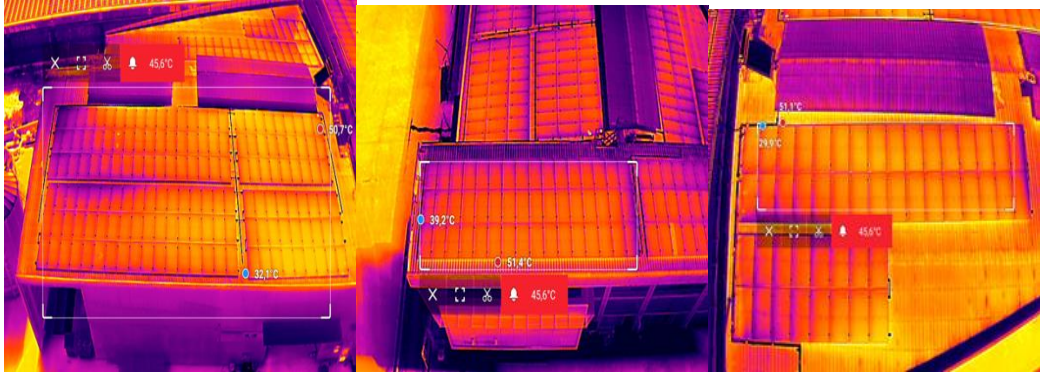
Şekil 4.30' da panel yüzey temizliği endüstriyel güneş paneli yıkama makinesi ile temizlik yapılarak tesisin verimi ve hücre ömrünün arttırmak için uygulama yapılmıştır.

22.08.2023 tarihinde Erenler GES'in panel temizliği tamamıyla yapılarak termal ve elektriksel ölçümler tekrar alınmış ve Şekil 4.31' de sunulmuştur.



Şekil 4.31. Zirai kule kaldırıldıktan sonrasındaki sahanın görseli.

Çatı gölgelenmesinin önlenip panel yüzeyinin temizlenmesi neticesinde alınan termal görüntüye bakıldığında eşit sıcaklık dağılımının olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 4.32. Çatı bölgesel termal görüntüleri.

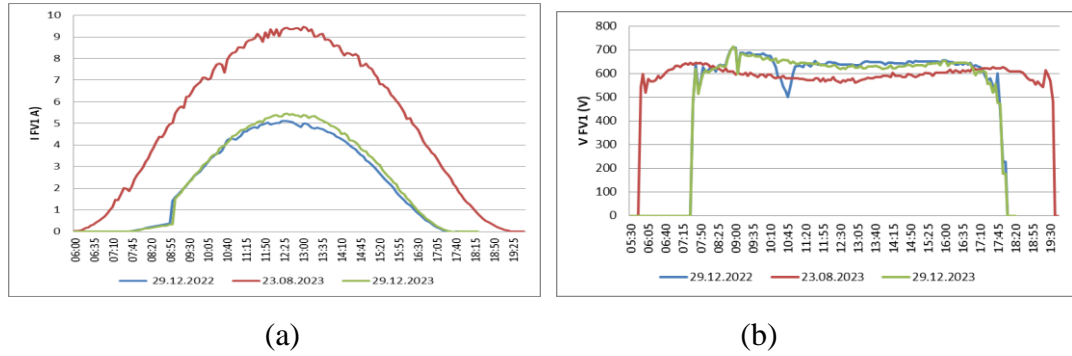
Şekil 4.32' de santralin doğu, kuzey ve batı tarafından alınan termal görüntü verileri sunulmuş ve eşit ısı dağılımı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Görsellerde panel yüzey sıcaklığının 32,1 °C, 34,6 °C ve 39,6 °C değerler tespit edilmiştir. Bu değerlerin çalışma sıcaklıklarına uygun ve olağan olduğu ve sistemin verimli olarak çalışmakta olduğu görülmüştür.

BÖLÜM 5

ERENLER TARIM GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ ÜRETİM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1. EVİRİCİ VERİLERİ

Eviricilerden alınan verileri grafiksel olarak analiz ederek daha hızlı ve anlaşılır sonuca ulaşmak mümkündür. Bu amaçla evirici 1 FV 1 panel girişlerinden ilgili tarihlere ait veriler alınmıştır. FV1 girişine ait farklı tarihlerde alınmış saatlik akım değerleri grafiği Şekil 5.1' de sunulmuştur.



Şekil 5.1 Farklı tarihlere göre evirici 1 FV 1 girişi akım ve gerilim grafikleri.

(a) Akım değerleri Evirici 1.1.1

(b) Gerilim değerleri Evirici 1.1.1

Şekil 5.1' de tesiste çalışan eviricilerden evirici 1'in FV 1 girişinden 3 farklı zaman dilimine ait gerilim ve akım değerlerinin grafiği oluşturulmuştur. Aralık ayına ait iki farklı yılda alınan veriler birbirine yakın eğri oluşturmaktadır. 2023 yılı aralık verilerininin, 2022 aralık ayına göre fazla olduğu gözlenmektedir. 2023 ağustos ayında aynı panel dizisi yüksek değerlerde elektrik akımı ürettiğini ve diğer değerlerin üstünde olduğu görülür. Bu durum ışınım şiddetinin fazla olmasından

kaynaklanmaktadır. Grafikten de görüleceği üzere dizi enerji üretimi ağustos ayında çok daha erken vakitte (06:00'da) başlayıp geç vakitte (19:30'da) sonlanmaktadır.

EVİRİCİ 1 FV 1 DEĞERLERİ GERİLİM (1.1.1)				EVİRİCİ 1 FV 1 DEĞERLERİ (1.1.1)			
Başlangıç saati	FV1 giriş Gerilim (V)	FV1 giriş Gerilim (V)	FV1 giriş Gerilim (V)	Başlangıç saati	FV1 giriş akımı(A)	FV1 giriş akımı(A)	FV1 giriş akımı(A)
Start Time	29.12.2022	23.08.2023	29.12.2023	Start Time	29.12.2022	23.08.2023	29.12.2023
05:45	0	0	0	05:45	0,00	0,00	0,00
05:50	0	543	0	05:50	0,00	0,00	0,00
05:55	0	597	0	05:55	0,00	0,00	0,00
06:00	0	518	0	06:00	0,00	0,04	0,00
06:30	0	578	0	06:30	0,00	0,28	0,00
07:00	0	633	0	07:00	0,00	0,85	0,00
07:30	0	644	0	07:30	0,00	2,02	0,00
08:00	610	644	615	08:00	0,11	2,81	0,08
08:30	639	615	635	08:30	0,27	4,13	0,21
09:00	707	596	702	09:00	1,43	5,02	0,34
09:30	687	602	673	09:30	2,29	6,25	2,30
10:00	677	585	665	10:00	3,09	7,11	3,14
10:30	581	584	653	10:30	3,74	7,73	3,93
11:00	630	578	643	11:00	4,33	8,52	4,58
11:30	630	572	643	11:30	4,84	8,94	4,98
12:00	639	567	635	12:00	4,95	9,35	5,30
12:30	639	561	619	12:30	5,10	9,43	5,46
13:00	636	560	625	13:00	4,99	9,47	5,38
13:30	648	578	629	13:30	4,77	9,11	5,17
14:00	639	589	623	14:00	4,39	8,61	4,79
14:30	642	590	629	14:30	3,88	8,13	4,19
15:00	653	584	635	15:00	3,22	7,60	3,53
15:30	651	601	641	15:30	2,40	6,69	2,72
16:00	657	604	653	16:00	1,57	5,71	1,80
16:30	645	604	647	16:30	0,85	4,71	0,97
17:00	636	616	593	17:00	0,27	3,55	0,33
17:30	579	619	562	17:30	0,02	2,46	0,00
18:00	227	620	177	18:00	0,00	1,35	0,00
18:30	0	608	0	18:30	0,00	0,59	0,00
19:00	0	554	0	19:00	0,00	0,17	0,00
19:30	0	570	0	19:30	0,00	0,00	0,00
20:00	0	0	0	20:00	0,00	0,00	0,00

(a)

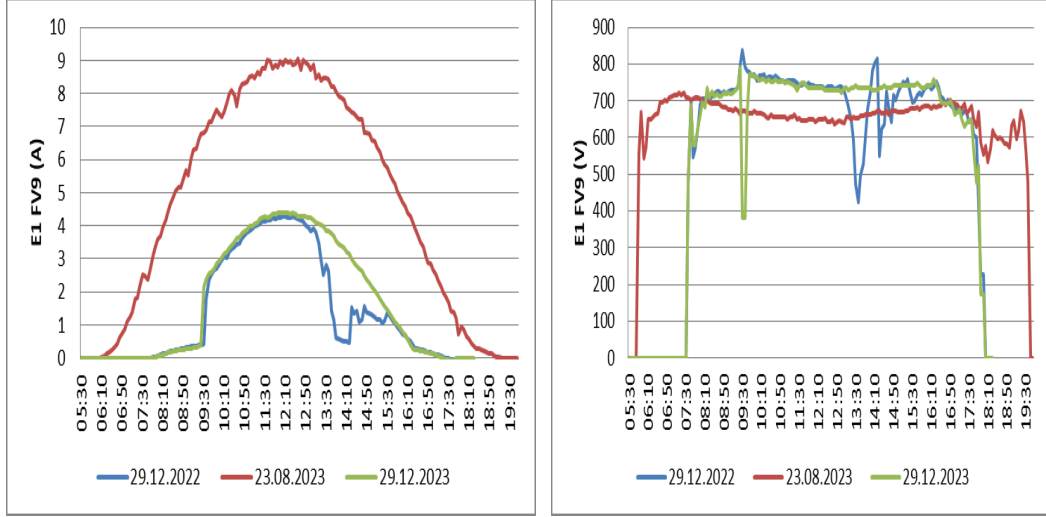
(b)

Çizelge 4.1 Farklı tarihlere göre evirici 1 FV 1 girişi akım ve gerilim değerleri.

(a) Gerilim değerleri Evirici 1.1.1

(b) Akım değerleri Evirici 1.1.1

Yukarıda belirtilmiş olan çizelge 4.1' de evirici 1 FV 1 girişine ait 3 farklı zaman diliminde incelemesi yapılan tesisten alınan gerilim ve akım bilgilerini yarım saatte bir çizelge halinde sunulmaktadır. Bu çizelgede 11:30 saatindeki veriler yeşil ile vurgulanmıştır. Çizelge 4.1' de aralık ayında gün doğumundan kaynaklı olarak geç saatte elektrik üretimine başlayıp erken şekilde günün güneşlenme süresinden kaynaklanmaktadır. Grafikte görüldüğü gibi herhangi bir olumsuz bir etkiden kaynaklı akım ve gerilimi etkileyecek bir sebep olmamaktadır.



(a)

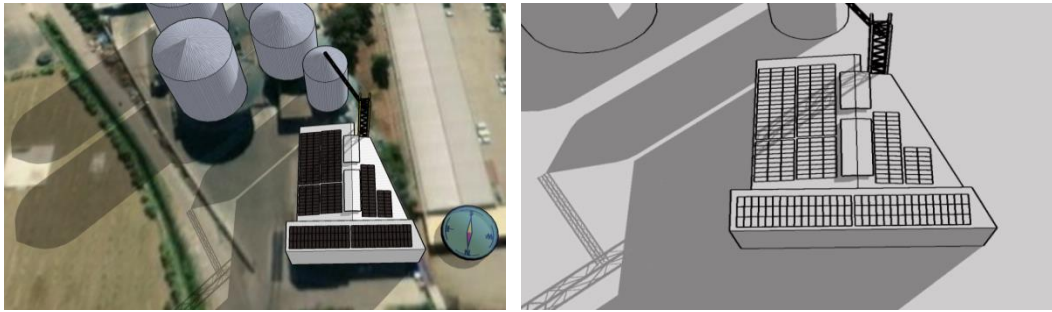
(b)

Şekil 5.2. Evirici 1 FV 9 girişi farklı tarihlere göre akım ve gerilim grafikleri.

(a) Akım değerleri Evirici 1.6.1

(b) Gerilim değerleri Evirici 1.6.1

Yukarıda belirtilmiş olan Şekil 5.2' de güneş enerji santralının Evirici-1 FV 9'dan akım ve gerilim değerleri görülmektedir. Belirtilmiş olan evirici verileri gölgelenme olarak kısmi olarak gölgelenmeden etkilenen bir noktadır. Burada gün doğumundan gün batımına kadar geçen süreçte oluşan grafikte gölge var iken saat 13:00 da başlayıp 14:30 arasında oluşan üretim değerlerinin akım farkını net bir şekilde göstermektedir. Kırmızı ile belirtilmiş olan ağustos ayına ait üretim değeri diğer veri değerlerine göre daha yüksek değerlerde akım ürettiği gözükmektedir.



Şekil 5.3. Tesisin 21 Aralık günü saat 14:00 gölgelenme simülasyonu.

Tesise ait 2022 yılında aralık ayında saat 14:00' da gölgelenme simulasyon çalışması Şekil 5.3' de görülmektedir. Oluşan gölgelenme, dizi üzerinden gölge boyunun değiştiği görülmektedir.

Çizelge 4.2' de çatı montajı yapılmış güneş enerji santralinin Evirici-1 FV 9 girişinde alınan gerilim ve akım değerlerini belirtmektedir.

EVİRİCİ 1 FV 9 DEĞERLERİ (1.6.1)				EVİRİCİ 1 FV 9 DEĞERLERİ (1.6.1)			
Başlangıç saati	FV9 giriş gerilim (V)	FV9 giriş gerilim (V)	FV9 giriş gerilim (V)	Başlangıç saati	FV9 giriş akımı(A)	FV9 giriş akımı(A)	FV9 giriş akımı(A)
Start Time	29.12.2022	23.08.2023	29.12.2023	Start Time	29.12.2022	23.08.2023	29.12.2023
05:45	0	0	0	05:45	0,00	0,00	0,00
05:50	0	558	0	05:50	0,00	0,00	0,00
05:55	0	668	0	05:55	0,00	0,00	0,00
06:00	0	543	0	06:00	0,00	0,00	0,00
06:30	0	667	0	06:30	0,00	0,25	0,00
07:00	0	711	0	07:00	0,00	1,10	0,00
07:30	0	709	0	07:30	0,00	2,53	0,00
08:00	689	705	659	08:00	0,06	3,60	0,05
08:30	719	691	713	08:30	0,22	4,87	0,21
09:00	725	677	724	09:00	0,33	5,54	0,29
09:30	839	673	381	09:30	0,43	6,81	2,17
10:00	755	667	766	10:00	2,82	7,41	2,91
10:30	765	661	753	10:30	3,36	7,96	3,52
11:00	753	657	748	11:00	3,86	8,49	3,98
11:30	743	653	741	11:30	4,14	8,74	4,28
12:00	743	649	736	12:00	4,26	8,98	4,41
12:30	737	643	729	12:30	4,24	8,92	4,36
13:00	739	643	723	13:00	3,85	8,73	4,24
13:30	473	653	742	13:30	2,80	8,45	3,85
14:00	723	661	735	14:00	0,55	7,89	3,40
14:30	635	667	741	14:30	1,41	7,29	2,77
15:00	725	669	741	15:00	1,32	6,60	2,15
15:30	696	679	741	15:30	1,37	5,75	1,45
16:00	740	685	741	16:00	0,74	4,72	0,79
16:30	711	685	699	16:30	0,27	3,70	0,25
17:00	688	691	663	17:00	0,14	2,68	0,13
17:30	644	673	645	17:30	0,02	1,69	0,06
18:00	225	553	175	18:00	0,00	0,87	0,00
18:30	0	595	0	18:30	0,00	0,28	0,00
19:00	0	634	0	19:00	0,00	0,08	0,00
19:30	0	569	0	19:30	0,00	0,00	0,00
20:00	0	0	0	20:00	0,00	0,00	0,00

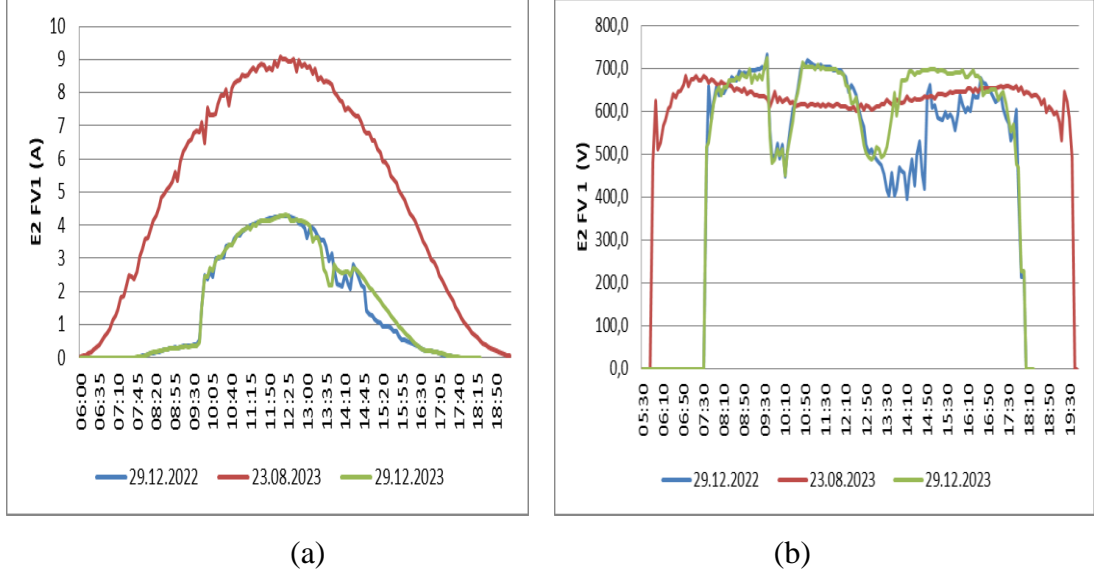
Çizelge 4.2 Farklı tarihlere göre evirici 1 FV 9 girişi akım ve gerilim değerleri.

(a) Gerilim değerleri Evirici 1.6.1

(b) Akım değerleri Evirici 1.6.1

Belirtilmiş olan evirici verileri gölgelenme olarak kısmi gölgenmeden etkilenen bir noktadadır. Etkilenme durumunu genel yerleşim üzerinden de ulaşılabilir. Burada gün doğumundan gün batımına kadar geçen süreçte oluşan grafikte gölge var iken

saat 13:30' da başlayıp 14:30 arasında oluşan üretim değerlerinin akım farkını net bir şekilde göstermektedir.



Şekil 5.4. Evirici 2 FV 1 girişi farklı tarihlere göre akım ve gerilim grafikleri.

(a) Akım değerleri Evirici 2.1.1

(b) Gerilim değerleri Evirici 2.1.1

Şekil 5.4' de güneş enerji santralının Evirici-2 FV 1 girişinde alınan akım ve gerilim değerleri ile üretim eğrisini belirtmektedir. Verilerle grafik oluşturulduğunda gölge olduğu süreçte saat 13:00-15.00 arasında gölgelenmeden kaynaklı akım değerleri değişimi net şekilde belli olmaktadır. Şekil 5.4' de gözlenen gerilim grafiğinde görülmekte olan değerlerin değişim saatleri aynı olup öğleden sonra gölgelenmenin etkisi boyunca sürmektedir.

EVİRİCİ 2 FV 1 DEĞERLERİ (2.1.1)				EVİRİCİ 2 FV 1 DEĞERLERİ (2.1.1)			
Başlangıç saati	FV1 giriş gerilim (V)	FV1 giriş gerilim (V)	FV1 giriş gerilim (V)	Başlangıç saati	FV1 giriş akımı(A)	FV1 giriş akımı(A)	FV1 giriş akımı(A)
Başlangıç Saati	29.12.2022	23.08.2023	29.12.2023	Başlangıç saati	29.12.2022	23.08.2023	29.12.2023
05:45	0,0	0,0	0,0	05:45	0,00	0,00	0,00
05:50	0,0	481,4	0,0	05:50	0,00	0,00	0,00
05:55	0,0	624,4	0,0	05:55	0,00	0,00	0,00
06:00	0,0	510,0	0,0	06:00	0,00	0,03	0,00
06:30	0,0	640,3	0,0	06:30	0,00	0,32	0,00
07:00	0,0	658,3	0,0	07:00	0,00	1,14	0,00
07:30	0,0	682,3	0,0	07:30	0,00	2,50	0,00
08:00	637,6	660,1	654,7	08:00	0,08	3,57	0,08
08:30	672,9	648,3	672,8	08:30	0,21	4,83	0,22
09:00	696,5	646,2	696,7	09:00	0,29	5,35	0,30
09:30	697,1	634,2	702,7	09:30	0,40	6,77	0,36
10:00	490,7	632,2	498,7	10:00	2,59	7,31	2,70
10:30	616,6	610,3	618,7	10:30	3,35	8,08	3,29
11:00	714,4	616,2	703,1	11:00	3,80	8,55	3,83
11:30	702,5	610,3	696,7	11:30	4,09	8,78	4,10
12:00	696,5	612,3	690,7	12:00	4,24	8,95	4,22
12:30	636,5	600,5	631,2	12:30	4,23	8,95	4,15
13:00	510,3	604,2	486,7	13:00	3,63	8,75	4,07
13:30	416,4	626,0	516,7	13:30	3,56	8,30	2,65
14:00	462,5	620,0	671,3	14:00	2,19	7,77	2,59
14:30	498,3	628,2	689,1	14:30	2,62	7,29	2,67
15:00	608,6	634,3	698,3	15:00	1,29	6,56	2,03
15:30	584,7	640,3	686,3	15:30	0,94	5,75	1,40
16:00	613,6	646,3	695,2	16:00	0,54	4,75	0,75
16:30	632,7	646,3	683,4	16:30	0,30	3,71	0,30
17:00	632,7	652,3	650,3	17:00	0,17	2,69	0,17
17:30	572,7	658,3	580,5	17:30	0,03	1,70	0,04
18:00	213,9	640,3	228,2	18:00	0,00	0,87	0,00
18:30	0,0	628,3	0,0	18:30	0,00	0,39	0,00
19:00	0,0	592,3	0,0	19:00	0,00	0,15	0,00
19:30	0,0	584,3	0,0	19:30	0,00	0,11	0,00
20:00	0,0	0,0	0,0	20:00	0,00	0,07	0,00

(a)

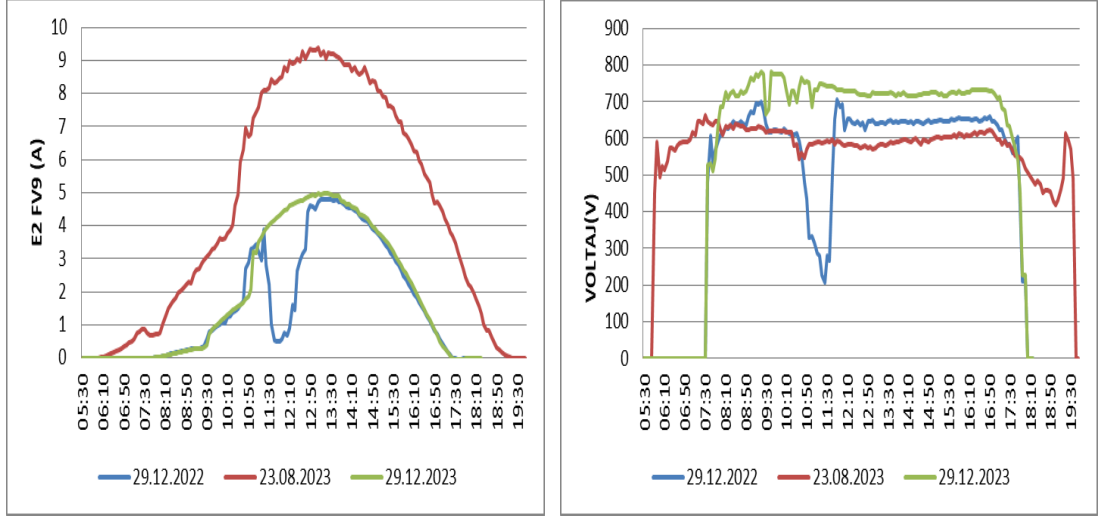
(b)

Çizelge 4.3 Farklı tarihlere göre evirici 2 FV 1 girişi akım ve gerilim değerleri.

(a) Gerilim değerleri Evirici 2.1.1

(b) Akım değerleri Evirici 2.1.1

Şekil 5.4' de güneş enerji santralının Evirici-2 FV 1 girişinde alınan gerilim değerlerini belirtmektedir. Verilerle grafik oluşturulduğunda gölge olduğu süreçte saat 13:00-15:00 arasında gölgenmeden kaynaklı gerilim değerleri değişimi net şekilde belli olmaktadır. Gerilim grafiğinde de görülmekte olan değerlerin değişim saatleri aynı olup öğleden sonra gölgenmenin etkisi boyunca sürmektedir.



(a)

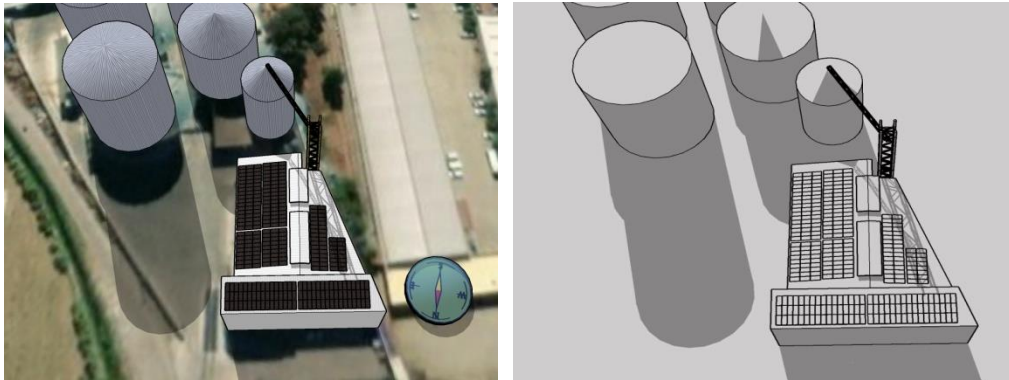
(b)

Şekil 5.5. Evirici 2 FV 9 girişi farklı tarihlere göre akım ve gerilim grafikleri.

(a) Akım değerleri Evirici 2.6.1

(b) Gerilim değerleri Evirici 2.6.1

Şekil 5.5' de güneş enerjisi santralının Evirici 2 FV 9 girişinde alınan akım değerlerini belirtmektedir. Verilerle grafik oluşturulduğunda gölge olduğu süreçte saat 10:00 - 13.00 arasında gölgelenmeden kaynaklı akım değerleri değişimi net şekilde belli olmaktadır. Gerilim grafiğinde de görülmekte olan değerlerin değişim saatleri aynı olup öğleden önce gölgelenmenin etkisi boyunca sürmektedir.



Şekil 5.6. Tesisin 21 Aralık günü saat 10:00 gölgelenme simülasyonu.

EVİRİCİ 2 FV 9 DEĞERLERİ (2.6.1)				EVİRİCİ 2 FV 9 DEĞERLERİ (2.6.1)			
Başlangıç saati	FV9 giriş gerilim (V)	FV9 giriş gerilim (V)	FV9 giriş gerilim (V)	Başlangıç saati	FV9 giriş akımı(A)	FV9 giriş akımı(A)	FV9 giriş akımı(A)
Başlangıç Saati	29.12.2022	23.08.2023	29.12.2023	Start Time	29.12.2022	23.08.2023	29.12.2023
05:45	0	0	0	05:45	0,00	0,00	0,00
05:50	0	450	0	05:50	0,00	0,00	0,00
05:55	0	590	0	05:55	0,00	0,00	0,00
06:00	0	495	0	06:00	0,00	0,00	0,00
06:30	0	567	0	06:30	0,00	0,18	0,00
07:00	0	597	0	07:00	0,00	0,46	0,00
07:30	0	663	0	07:30	0,00	0,87	0,00
08:00	610	624	687	08:00	0,04	0,77	0,03
08:30	640	639	716	08:30	0,16	1,84	0,15
09:00	674	627	764	09:00	0,27	2,26	0,25
09:30	639	615	668	09:30	0,58	3,07	0,38
10:00	616	621	776	10:00	1,10	3,60	1,15
10:30	612	582	698	10:30	1,48	4,94	1,57
11:00	334	582	686	11:00	3,32	7,25	3,21
11:30	280	594	742	11:30	2,22	8,16	4,02
12:00	694	585	734	12:00	0,76	8,79	4,48
12:30	646	579	722	12:30	2,96	8,99	4,77
13:00	649	570	725	13:00	4,50	9,29	4,92
13:30	646	585	722	13:30	4,78	9,21	4,93
14:00	646	597	725	14:00	4,59	8,87	4,66
14:30	646	591	719	14:30	4,22	8,64	4,31
15:00	646	600	725	15:00	3,77	8,08	3,82
15:30	646	603	722	15:30	3,06	7,53	3,20
16:00	652	603	721	16:00	2,23	6,64	2,40
16:30	646	618	734	16:30	1,43	5,57	1,45
17:00	646	609	722	17:00	0,56	4,60	0,52
17:30	583	585	632	17:30	-0,02	3,46	-0,05
18:00	212	519	227	18:00	0,00	2,16	0,00
18:30	0	474	0	18:30	0,00	0,85	0,00
19:00	0	417	0	19:00	0,00	0,18	0,00
19:30	0	571	0	19:30	0,00	0,00	0,00
20:00	0	0	0	20:00	0,00	0,00	0,00

(a)

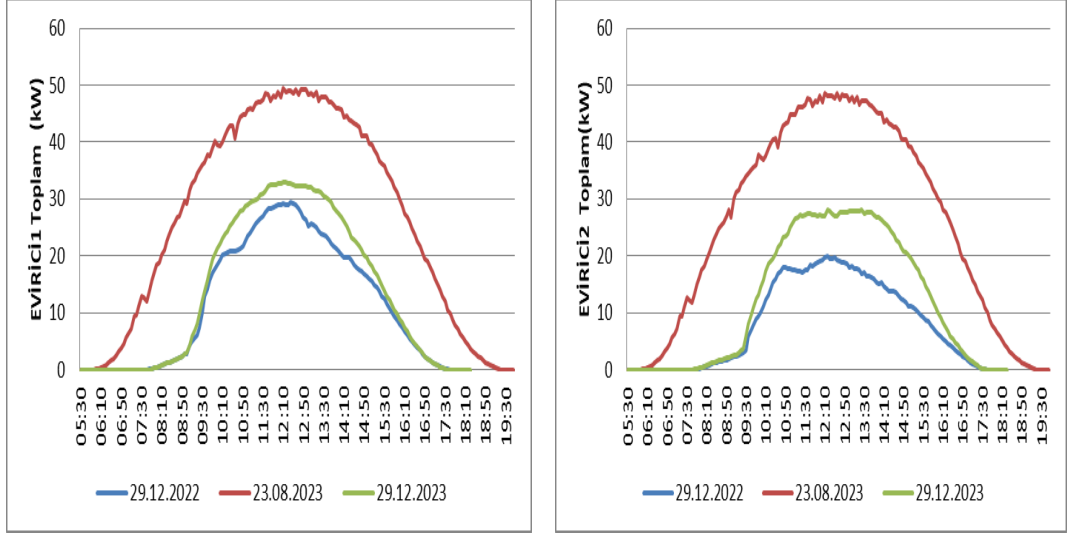
(b)

Çizelge 4.4 Farklı tarihlere göre evirici 2 FV 9 girişi akım ve gerilim değerleri.

(a) Gerilim değerleri Evirici 2.6.1

(b) Akım değerleri Evirici 2.6.1

Şekil 5.6' de güneş enerji santralinin Evirici 2 FV 9 girişinde alınan gerilim değerlerini belirtmektedir. Verilerle grafik oluşturulduğunda gölge olduğu süreçte saat 10:00-13.00 arasında gölgelenmeden kaynaklı akım değerleri değişimi net şekilde belli olmaktadır.



(a)

(b)

Şekil 5.7. Evirici 1 ve Evirici 2 aktif güç grafikleri.

(a) Saatlik Güç Üretimi Evirici 1

(b) Saatlik Güç Üretimi Evirici 2

Şekil 5.7' de tesisin farklı zaman dilimlerinde alınan tesisdeki evirici 1 ve evirici 2' ye bağlı panellerin üretmiş olduğu elektrik üretim grafiğini göstermektedir. Kırmızı renkli eğri Şekil 5.7' de yüksek verimde elektrik üretimi yaptığı gözlemlenmektedir. Ölçüm alınan ağustos ayındaki ışınım şiddetinin fazla olması ve panel yüzeyinin temiz olmasından dolayı gün içerisinde ışınım şiddetine göre farklı değerlerde üretim gerçekleştirmektedir. Aynı şekilde belirtilen aralık ayına ait iki farklı yıla ait verimlere bakıldığında gölgelenmenin etkisinden kaynaklı olarak evirici elektrik üretim değerlerinin farkı gözlenmektedir. Evirici 1'e ait olan üretim eğrisinden, gölgelenmeden daha az dizi etkilenmesinden kaynaklı olarak üretim değerinde zirai kule var iken ve kaldırıldıktan sonraki ölçüm sonuçları arasındaki farkın daha az olduğu gözlemlenmektedir.

EVİRİCİ 1 ENERJİ ÜRETİM (kW)			
Başlangıç saati	INV-1 GÜÇ kW	INV-1 GÜÇ kW	INV-1 GÜÇ kW
Başlangıç Saati	29.12.2022	23.08.2023	29.12.2023
05:45	0,00	0,00	0,00
05:50	0,00	0,00	0,00
05:55	0,00	0,00	0,00
06:00	0,00	0,10	0,00
06:30	0,00	1,64	0,00
07:00	0,00	5,63	0,00
07:30	0,00	13,01	0,00
08:00	0,42	18,33	0,45
08:30	1,49	24,98	1,50
09:00	2,88	29,20	3,05
09:30	10,16	36,01	12,29
10:00	18,41	39,50	21,32
10:30	20,88	42,77	25,81
11:00	23,50	45,76	29,05
11:30	26,92	47,43	31,08
12:00	28,98	48,79	32,81
12:30	29,11	48,55	32,62
13:00	25,25	48,39	32,15
13:30	23,65	47,84	30,64
14:00	20,92	45,85	27,52
14:30	18,38	43,21	22,87
15:00	16,10	39,68	18,96
15:30	12,46	35,76	13,73
16:00	8,12	30,06	9,00
16:30	4,39	23,68	4,57
17:00	1,62	18,11	1,59
17:30	0,19	12,05	0,15
18:00	0,00	6,38	0,00
18:30	0,00	2,77	0,00
19:00	0,00	0,86	0,00
19:30	0,00	0,00	0,00
20:00	0,00	0,00	0,00

(a)

EVİRİCİ 2 ENERJİ ÜRETİM (kW)			
Başlangıç saati	INV-2 GÜÇ kW	INV-2 GÜÇ kW	INV-2 GÜÇ kW
Başlangıç Saati	29.12.2022	23.08.2023	29.12.2023
05:45	0,00	0,00	0,00
05:50	0,00	0,00	0,00
05:55	0,00	0,00	0,00
06:00	0,00	0,07	0,00
06:30	0,00	1,59	0,00
07:00	0,00	5,68	0,00
07:30	0,00	12,79	0,00
08:00	0,40	17,48	0,47
08:30	1,31	23,86	1,52
09:00	2,11	26,88	2,44
09:30	3,46	34,14	6,11
10:00	10,00	37,28	14,37
10:30	15,98	40,57	20,33
11:00	17,72	44,87	25,02
11:30	17,60	46,56	27,33
12:00	19,08	48,09	27,27
12:30	19,74	47,69	27,09
13:00	18,08	47,33	27,91
13:30	17,13	47,16	27,43
14:00	15,18	45,06	26,86
14:30	13,72	42,57	23,74
15:00	11,24	39,26	20,08
15:30	9,24	35,46	15,72
16:00	6,35	30,14	10,12
16:30	3,85	24,49	5,51
17:00	1,68	17,99	2,09
17:30	0,17	12,20	0,20
18:00	0,00	6,49	0,00
18:30	0,00	2,74	0,00
19:00	0,00	0,82	0,00
19:30	0,00	0,00	0,00
20:00	0,00	0,00	0,00

(b)

Çizelge 4.5 Farklı tarihlere göre evirici 1 ve evirici 2 güç değerleri.

(a) Saatlik Güç Üretimi Evirici 1

(b) Saatlik Güç Üretimi Evirici 2

Çizelge 4.5’ de eviricilerin saatlere göre anlık üretmiş olduğu elektrik gücünü göstermektedir. Alınan üç farklı tarihteki verilere göre de gölgelenmenin yeşil ile belirtilmiş olan satırdaki güç farklılığı belirli olmaktadır. Saat 11.30’ da evirici 1 2022 yılı aralık ayında ürettiği anlık üretimi ile 2023 yılı aralık ayına göre karşılaştırıldığında yaklaşık % 15 oranında 2023 yılı aralık ayında fazla elektrik üretimi olduğu görülmektedir. Evirici 2 de aynı şekilde karşılaştırıldığında %55 oranında fazla elektrik üretimi gerçekleştirdiği görülmektedir. Evirici 2’ nin gölgelenmenin etkisinde çok daha fazla kaldığını net bir şekilde görülmektedir.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında çatı tipi bir FV güneş enerji üretim santraline bölgesel gölgelenmenin ve panel temizliğinin üretime etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla verilerin alındığı 135 kWp'lik tesiste, bölgesel gölgeleme yapan bir zirai kule var iken ve zirai kule kaldırıldıktan sonra veriler alınmış, değer ve grafik olarak bu veriler sunulmuştur. Benzer çalışma paneller temizlenerek de gerçekleştirilmiştir. GES için yapılan bu iyileştirmelerin sistem üretimine etkileri, panel akım, gerilim, güç değerleri ölçülerek iki farklı evirici için sunulmuştur. Bununla birlikte santralin drone ile çekilmiş termal görüntüleri kullanılarak gölgelenmenin ve panel kirliliğinin olumsuz etkiler sunulmuştur.

Tesisin zirai kule gölgesi tüm güneş enerji santralini etkilemektedir. 2022 yılı aralık ayında toplam 6094,61 kWh elektrik enerjisi ürettiği ve gölgelenmenin ortadan kaldırıldığı 2023 yılı aralık ayında toplam 6763 kWh enerji ürettiği görülmüştür. Bölgesel gölgelenme etkisi ortadan kaldırıldığında yaklaşık %11 oranında elektrik enerjisi üretim artışı olmuştur. Çatı tipi güneş enerji santralinin 2022 ve 2023 yıllarına ait 29 aralık günü elektrik üretim verileri alınmıştır. Gün ışınım şiddeti, sıcaklığı yaklaşık değerlerde olarak karşılaştırma yapılmıştır. 29 aralık 2022 günü 250,21 kWh, 29 aralık 2023 günü 267,43 kWh elektrik üretimi olmuştur. Yaklaşık %7 oranında enerji üretim artışı gözlemlenmiştir. Bu artışın gün içerisindeki gölgelenmeden kaynaklandığı gerilim ve akım üretim tablolarından da ulaşılmaktadır. Çevresel faktörlerin FV modül yüzeylerinin ışıınımdan az faydalanma ve gölgelenme boyutlarına ulaştığında tesislerin verimini, modül ömrünü etkilemekte olup sistem güvenlik tehlikelerini içerisinde barındırmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Gökçe İ. ,2020. Fotovoltaik (PV) Hücreler Yardımıyla Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi Ve Performansını Etkileyen Faktörlerin. **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Adana.
2. Demiryürek H. K., 2018. 200kWp Kurulu Güçteki Lebit Enerji Güneş Santralinin PVSYST ile Tasarımı Ve Üretim Değerleri İle Simulasyon Değerlerinin Karşılaştırılması, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya.
3. İnternet: Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA). <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/> (Erişim Tarihi: 16 Kasım 2023),
4. Celik, A.N., 2006. Present status of photovoltaic energy in Turkey and life cycle techno-economic analysis of a grid –connected Photovoltaic House, **Renewable and Sustainable Energy Reviews** **10** , 370-387.
5. Ohnishi, M., Takeoka, A., Nakano, S. and Kuwano, Y., 1995. Advanced photovoltaic technologies and residential applications, **Renewable Energy** **6**,275-282.
6. Özmen T. Ö. , Özdemir T. ,Uz Ö. vd. Fotovoltaik Enerji Üretiminin Meteorolojik Şartlarla İlişkilendirilmesi: İzmir Bakırçay Üniversitesi Örneği, **Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi** **13(1)**: 49-62 (2022)
7. Amrounche, B., 2014. Improvement and experimental validation of a simple behavioural model for photovoltaic modules, **Solar Energy Materials & Solar Cells** **128**, 204-214.
8. Tsai, H.L., 2012. Insolation-Oriented model of photovoltaic module using Matlab Simulink, **Solar Energy** **84**, 1318-1326.
9. Bellia, H., Youcef, R. and Fatima, M., 2014. A Detailed modeling of photovoltaic module using MATLAB, **NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics** **3**, 53-61.
10. Khezzar, R., Zereg, M. and Khezzar, A., 2014. Modeling improvement of the four parameter model for photovoltaic modules, **Solar Energy** **110**, 452-462.

11. Al, A.M., Sabounchi, 1998. Effect of ambient temperature on the demanded energy of solar cells at different inclinations, **Renewable Energy** 14, 149-155.
12. Skoplaki, E., Palyvos, J.A., 2009. Operating temperature of photovoltaic modules: A survey of pertinent correlations, **Renewable Energy** 34, 23-29.
13. Mavromatakis, F., Kavoussanaki, E., Vignola, F., Franghiadakis, Y., 2014. Measuring and estimating the temperature of photovoltaic modules, **Solar Energy** 110, 656-666.
14. Celik, A.N., 2007. Effect of different load profiles on the loss-of-load probability of stand-alone photovoltaic systems, **Renewable Energy** 32, 2096-2115.
15. Abiola-Ogedengbe, A., Hangan, H., Siddiqui, K., 2015. Experimental investigation of wind effects on a standalone photovoltaic (FV) module, **Renewable Energy** 78, 657- 665.
16. Ajder, A., 2015. Fotovoltaik güneş enerjisi sistemleri için optimum eğim açısının hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi. **Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul.
17. Bakirci, K., 2012. General Models for optimum tilt angles of solar panels: Turkey case study, **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 16, 6149-6159.
18. Andrews, R.E., Pollard, A., Pearce, J.M., 2009. The effects of snowfall on solar photovoltaic performance, **Solar Energy** 92, 84-97.
19. Soler-Bientz, R., Ricalde-Cab, L.O. and Solis-Rodriguez, L.E., 2006. Developing a mobile stand alone photovoltaic generator, **Energy Conversion & Management** 47, 2948-2960.
20. Girgin, M. H., 2011. Bir fotovoltaik güneş enerjisi santralının fizibilitesi, Karaman bölgesinde 5 MW'lık güneş enerjisi santrali için enerji üretim değerlendirmesi ve ekonomik analizi, Yüksek Lisans Tezi. **İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü**, İstanbul
21. Keskin, E., 2012. Türkiye iklim koşullarında fotovoltaik güç sistemlerinin tasarım ve maliyet analizi, Yüksek Lisans Tezi. **Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara.
22. Gültuna, K. M., 2015. Gürsu-Bursa fotovoltaik güç santralının simülasyonu; teknoekonomik ve çevresel optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi. **Başkent Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara.
23. Deniz, E., 2013. Güneş Enerjisi Santrallerinde Kayıplar. III. Elektrik Tesisat **Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirileri**. 21-24 Kasım, İzmir.

24. Piliougine M., Carretero, J., Sidrachde-Cardona, M., Montiel, D., SánchezFriera, P., 2008. Comparative analysis of the dust losses in photovoltaic modules with different cover glasses. **Proceedings of 23rd European Solar Energy Conference**, 1-5 September, Valencia, 2698-2700.
25. Kymakis, E.; Kalykakis, S. & Papazoglou, T.M. 2009. Performance Analysis of a Grid Connected Photovoltaic Park on the Island of Crete. **Energy Conversion and Management**, January, 433-438
26. Haydaroğlu, C.2017., “Dicle üniversitesi, güneş enerji santralleri performans analizi”, Yüksek Lisans Tezi, **İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Malatya, 6-11, 34-42 .
27. Kesenek, M. 2018., “Güneş enerji santralının ulusal şebekeye entegrasyon etkilerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kahramanmaraş, 42-45, 6-11 .
28. Koç, E., ve Şenel, M. C.,2013, “Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu - Genel Değerlendirme,” **Mühendis ve Makina**, Cilt 54, Sayı 639, 32-44.
29. Sayın, S. ve Koç, İ.2011, “Güneş enerjisinden aktif olarak yararlanmada kullanılan fotovoltaik (FV) sistemler ve yapılarda kullanım biçimleri”, **S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Dergisi**, 1-18 .
30. Harmancı, U. 2016, “Fotovoltaik panel beslemeli alternatif akım (AA) pompa motoru için sürücü devre tasarımı ve simülasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, **Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Şanlıurfa, 4-21 .
31. Adak, S., Cangı, H.,Yılmaz,A.S. , 2019 , “Fotovoltaik Sistemin Çıkış Gücünün Sıcaklık ve Işımaya Bağlı Matematiksel Modellemesi ve Simülasyonu”, **Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi**.
32. Er Z., Kızıllkan G., Orken A., 2018, “Standards and Testing Experiments for a Photovoltaic Module” , **Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Özel Sayı**, S.12-15.
33. İnternet:MeteorolojiGenelMüdürlüğü,<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ADANA>,(Erişim Tarihi: 15 Kasım 2023)
34. İnternet: CW İndirme Merkezi, <https://indir.cw-enerji.com/tr/index.html> , (Erişim Tarihi: 15 Kasım 2023)
35. İnternet: Huawei Solar , <https://solar.huawei.com/tr/professionals/c-i> , (Erişim Tarihi: 15 Kasım 2023)

36. İnternet: DJI Ürün servisi, <https://www.dji.com/global/support/product/mavic-3> (Erişim Tarihi: 15 Kasım 2023)
37. Çelik A.N, Koç A., “Polikristal Tür Bir Fotovoltaik Panelin I-V Karakteristiğinin Analitik Modellenmesi ve Deneysel Doğrulanması”, **Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi** , (2020)
38. Dal A.R.,2021 , “Güneş enerji panellerindeki optimum eğim açısının verime etkisinin incelenmesi”, **Bilecik Şeyh Edabali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi** .
39. İçel Y, 2024 , “Kirliliğin PV Panel Verimine Etkisi ve Panel Temizleme Yöntemleri” **Adıyaman Üniversitesi, TBMYO, Interdisciplinary studies on contemporary research practices in engineering in the 21st century-VI.**
40. Erişgin D., Kara G. , Özcan H.,2022 , “Fotovoltaik Panel Temizliğinde Yüzey Akustik Dalgaları Kullanımının Fotovoltaik Panel Performansına Etkilerinin İncelenmesi” **Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Teknoloji Dergisi 2(2)** , Eylül.
41. Younis A., Rjafallah A., Cotfas P.A., Cotfas D.T.,2024, “Dust impact on electrical and thermal photovoltaic performance: Insights from field and laboratory experiments” , **Energy Reports, Volume 11, Pages2099-2110,ISSN2352-4847,https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.01.065.**
42. Karafil A., 2021, “ Kısmi Gölgeleme Durumundaki Seri Bağlı Fotovoltaik (FV) Panellerde Bypass Diyotunun Kullanılmasının Sistem Gücü Üzerine Etkisi “ **Dokuz Eylül Üniverisitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi DEÜFMD 23(68), 621-630.**
43. Kabul A. , Duran F.,2014, “ Isparta İlinde Fotovoltaik / Termal (PV/T) Hibrit Sitemin Performans Analizi “ **Süleyman Demirel Üniversitesi Uluslararası Fen Teknoloji Dergisi. S.31,43.**
44. Bayar Tan M., 2022, “Fotovoltaik Sistemlerde Tozlanmanın Panel Verimi Üzerindeki Etkilerinin Deneysel Olarak Araştırılması “ **Batman Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi.**
45. Öztürk H., 2021, “Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi ve Etkili Etmenler” **Çukurova Üniversitesi , Tarım Makineleri ve Tekenolojileri Bölümü.**
46. Saleem S. A., Arandhakar S., Ventkateswarlu S., Rao J. R.,2024, , “ Optimizing Solar Panel Maximum Power Point Tracking And Parasitic Parameter Extraction İn Partial Shading With Enhanced Slime Mold Optimization” **Measurement Sensors.**

47. Kerem A., Atik M., Bayram A.,2020 , “Fotovoltaik (PV) Panel Sisteminde Yüzey Soğutma İşleminin Elektrik Üretimine Etkisinin Deneysel İncelenmesi” **Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi UMAGD 2020 12(2) 565-578.**

ÖZGEÇMİŞ

Kadir Selçuk EKER, lise eğitim-öğretimini Adana'da tamamlamasının ardından Karabük Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünü 2010 yılında kazarak bir yıl İngilizce hazırlık eğitimi aldıktan sonra 2015 yılında ilgili bölümden mezun olmuştur. Mezuniyeti sonrasında entegre tesisleri olan fabrika işletmesinde mühendis olarak görev yapmış olup sonrasında askerlik görevini uzun dönem olarak yaparak istihkam inşaat kademelerinde askeriyenin farklı görev noktalarında inşai faaliyetlerde aktif görev üstlenmiştir. Askerlik görevi sonrası yine Adana'da fabrika da üretim arıza, bakım, otomasyon ve proje alanlarında hizmet gösteren firmalar da çalıştıktan sonra 2018 yılında mühendis olarak kendi işletmesi olan EKR Solar Enerji Sistemleri Müh. LTD. ŞTİ. Firmasında enerji tesislerinin oluşturulması ve sonrasındaki bakım ve kontrol alanlarında çalışmalar yürütmeye başlamıştır. Karabük Üniversitesi'nde akademik çalışmalarını da bir taraftan devam ettirmektedir.