

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNDEKİ KURULUM
HATALARI VE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yasin KORUN

Enerji Bilimi ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Abdulmuttalip ŞAHİNASLAN

Mayıs 2025

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNDEKİ KURULUM
HATALARI VE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yasin KORUN

Enerji Bilimi ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Abdulmuttalip ŞAHİNASLAN

Mayıs 2025

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her aşamasında yardım, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemedi beni her konuda yönlendiren danışman hocam Sayın **Dr. Öğr. Üyesi Abdulmuttalip ŞAHİNASLAN**'na,

Çalışmalarında ayrıca tüm hayatım boyunca olduğu gibi bu çalışmalarım süresince benden her türlü desteklerini esirgemeyen aileme, ablam Yasemin KORUN'a, arkadaşım Sami ABAMOR ve ailesine, arkadaşım Hamza TÜRKMEN'e, aile dostum Arkın KAYA ve ailesine, iş arkadaşlarıma,

Tezin uygulama aşamasında vermiş oldukları maddi ve manevi destekten dolayı İnönü Üniversitesi BAP birimine teşekkür ederim.



ONUR SÖZÜ

Dr. Öğr. Üyesi Abdulmuttalip ŞAHİNASLAN danışmanlığında yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santrallerindeki Kurulum Hataları ve Analizi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Yasin KORUN



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. FV SANTRAL SİSTEMLERİ.....	3
2.1 FV Sistem Elemanları.....	4
2.1.1 FV Panel yapısı ve çeşitleri	4
2.1.1.1 Tek kristalli FV panel	6
2.1.1.2 Çok kristalli FV panel	7
2.1.1.3 İnce film FV panel.....	7
2.1.2 Şarj Kontrol Cihazı.....	7
2.1.3 Bataryalar.....	8
2.1.4 İnverterler	8
2.2 Bağlantı Şekillerine Göre FV Santraller.....	8
2.2.1 Şebeke bağlantısız FV santraller	8
2.2.2 Şebeke bağlantılı FV santraller.....	9
2.2.3 Hibrit FV santraller.....	11
2.3 Fotovoltaik Sistemlerde Hata Türleri	11
2.3.1 İmalat veya malzeme hataları	11
2.3.2 Çevresel ve operasyonel hatalar	12
2.3.3 Kurulum ve İşçilik Hataları	12
2.4 Kurulum Hataları: Elektriksel, Mekanik ve Yapısal Boyutlar	12
2.4.1 Elektriksel kurulum hataları	13
2.4.2 Mekanik kurulum hataları	13
2.4.3 Yapısal kurulum hataları	14
3. LİTERATÜR TARAMASI.....	15
3.1. 1000 Çatı Programı Deneyimi (Almanya)	15
3.2 İngiltere Güneş Çiftlikleri Tarama Çalışması (2023)	15
3.3 ABD ve Diğer Ülkelerden Vaka Örnekleri	16
3.4 Türkiye'den Örnekler	16
4. YÖNTEM	17
4.1 Araştırma Planı ve Vaka Çalışması Tasarımı.....	18
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	21
5.1 Drenaj ve Sudan Korunma Uygulama Denetimi	21
5.2 Drenaj ve Su İzolasyonu Yetersiz Köşkler.....	21
5.3 Yeraltı ve Yerüstü Kablo Uygunluk Denetimi	22
5.4 Menhollerin Uygunluk Denetimi.....	28
5.5 Taşıyıcı Konstrüksiyon ve Tracker Sisteminin Denetimi.....	29
5.6 İşletme ve Koruma Topraklaması Denetimi.....	31
5.7 FV Panellerin Montaj Kontrol Denetimi	33
5.8 Bağlantı Kutularının Sudan Korunması Denetimi	34
5.9 FV Panel Performans ve Durum Kontrolü Denetimi	35

5.9.1 FV panel termal ölçüm ve gözle muayene denetimi	35
5.9.1.1 GES-1 termal ve çizik FV panel görüntüleri	40
5.9.1.2 GES-2 termal ve çizik FV panel görüntüleri	40
5.9.1.3 GES -3 termal ve çizik FV panel görüntüleri	40
5.9.1.4 GES -4 termal ve çizik FV panel görüntüleri	41
5.9.1.5 GES -5 termal ve çizik FV panel görüntüleri	42
5.9.1.6 GES -6 termal ve çizik FV panel görüntüleri	42
5.9.1.7 GES -7 termal ve çizik FV panel görüntüleri	43
5.9.1.8 GES -8 termal ve çizik FV panel görüntüleri	44
5.9.1.9 GES -9 termal ve çizik FV panel görüntüleri	44
5.9.2 FV panel elektriksel durum ve performans değerlendirmesi.....	45
5.9.3 FV panel elektrolüminans ve IV karakteristiği değerlendirmesi.....	47
5.9.3.1 Elektrolüminans testi	47
5.9.3.2 FV panel IV testi	50
5.10 Trafo Köşkleri ve Şalt Malzemeleri Denetimi	52
5.11 Otomasyon Sistemi Denetimi	55
5.12 Güvenlik Önerileri	56
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	57
6.1 Sonuçlar	57
6.2 Öneriler	59
KAYNAKLAR.....	62
ÖZGEÇMİŞ.....	65

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 5.1: GES' lerin DC Kablo Etiketi Eksik ve Yanlış Olan String Tablosu	26
Çizelge 5.2: GES' lerin DC Kablo İzolasyon Ölçüm Değer tablosu	28
Çizelge 5.3: Ges Termal Kamera ve Gözle Muayene Sonuçları	37
Çizelge 5.4: GES-1, GES -2, GES -3 ve GES -4, Termal Kamera FV Panel Tablosu	38
Çizelge 5.5: GES-5, GES -6, GES -7, GES -8 ve GES -9 Termal Kamera FV Panel Tablosu	39
Çizelge 5.6: Tüm Sahalara Ait İnverter Güç Üretim Değerleri Tablosu	46
Çizelge 5.7: Tüm Sahaların Ürettiği Toplam Güç Miktarları	46
Çizelge 5.8: Tüm Sahaların Ürettiği Toplam Güç Miktarları	47
Çizelge 5.9: 45066120219 Seri Numaralı Yedek FV Panel IV Ölçüm Sonucu	51
Çizelge 5.10: 46376110119 Seri Numaralı GES-7 FV Panel IV Ölçüm Sonucu	51
Çizelge 5.11: 44846831118 Seri Numaralı GES-5 FV Panel IV Ölçüm Sonucu	52

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1: Türkiye'nin Güneş Haritası	1
Şekil 2.1: Elektrik akımı üretimi	5
Şekil 2.2: FV hücre, modül, panel, dizi ve FV santral oluşum döngüsü	6
Şekil 2.3: Şebeke bağlantısız FV santral bileşenleri genel yapısı	9
Şekil 2.4: Şebeke bağlantılı FV santrale ait bileşenlerin genel yapısı	10
Şekil 2.5: Hibrit FV santrale ait bileşenlerin genel yapısı	11
Şekil 4.1: FV santralin genel görüntüsü	17
Şekil 5.1: Drenajı Yetersiz Yerler	21
Şekil 5.2: Drenajı Yetersiz Yerler Trafo Köşkü	22
Şekil 5.3: Kablo Korozyon Boruları ve Spiral Boruları Açık Kısımlar	22
Şekil 5.4: Kablo Tava Kapakları Açık İnverterler	23
Şekil 5.5: Açıkta Bulunan Enerji Nakil Hatları	23
Şekil 5.6: GES-1 Gergin DC Kablolar	24
Şekil 5.7: GES-2 İzolasyonu Zarar Görmüş Kablo	25
Şekil 5.8: GES-9 Kabloları Dışardan Giden AC ve DC Kablolar	25
Şekil 5.9: Sehpalar Arasında ki DC Kablo Geçişi	27
Şekil 5.10: DC Kablosu Sarkık Paneller	27
Şekil 5.11: Kırık ve Açıklık Olan Menholler	28
Şekil 5.12: Su Altında Kalan Menholler	29
Şekil 5.13: Kapağı Bulunmayan Menhol	29
Şekil 5.14: Açık Farklılığı Olan GES-7 ile GES-6 Konstrüksiyonları	30
Şekil 5.15: Konstrüksiyon Bacağı Kazılmış Beton Görüntüsü	31
Şekil 5.16: Hasır Demirleri Dışarıda Kalmış Konstrüksiyon Bacağı	31
Şekil 5.17: Topraklama Ölçüm Görüntüsü ve Sonucu	32
Şekil 5.18: Topraklama Şeritleri Dışarıda Kalmış FV Paneller	32
Şekil 5.19: GES-9 Topraklama Kablosu Takılmamış Kablo	33
Şekil 5.20: Topraklama Kablosu Bulunmasına Rağmen Metalleri Topraklanmayan Otomasyon Panosu	33
Şekil 5.21: GES-1 ve GES-2 Klempleri Kaymış FV Paneller	34
Şekil 5.22: Konteynerden Dolayı Gölgeleyen FV Panel	34
Şekil 5.23: Zemin Seviyesi Düşük Koruma Kapakları Açık İnverter	35
Şekil 5.24: Rakorları Takılmamış Aydınlatma Panoları	35
Şekil 5.25: Çamurlu FV Panelin Termal Görüntüsü	36
Şekil 5.26: Sahada ki Çizik, Kırık ve Renk Farklılığı Olan Paneller	36
Şekil 5.27: Elektrolüminans Test Cihazı	48
Şekil 5.28: 45066120219 Seri Numaralı Yedek FV Panel Elektrolüminans Görüntüleri ..	48
Şekil 5.29: 46376110119 Seri Numaralı GES-7 FV Panel Elektrolüminans Görüntüleri ..	49
Şekil 5.30: 44846831118 Seri Numaralı GES-5 FV Panel Elektrolüminans Görüntüleri ..	49
Şekil 5.31: IV Ölçüm Test Düzenegi	50
Şekil 5.32: Ges-3 Ekranı Çalışmayan Kaçak Akım Rölesi	53
Şekil 5.33: AG Dağıtım Panosundaki Gevşek TMS' ler	53
Şekil 5.34: Set Değerleri Farklı Buchholz Röle Göstergeleri	54
Şekil 5.35: İç İhtiyaç Prizi Problemlili Kısım	54
Şekil 5.36: Voltmetresi Çalışmayan AG Dağıtım Panosu	55
Şekil 5.37: Otomasyon Panosu	56
Şekil 5.38: Eksik Bilgilendirici Tabelalar	56

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

AC	: Alternatif Akım
AG	: Alçak Gerilim
DC	: Doğru Akım
EL	: Elektrolüminesans – Fotovoltaik hücrelerde akım enjeksiyonu ile yapılan kızılötesi görüntüleme tekniği
FV	: Photovoltaic (Fotovoltaik) – Güneş pili teknolojisiyle elektrik üreten sistem
GES	: Güneş Enerji Santrali – Güneş enerjisinden elektrik üreten santral
IEC	: International Electrotechnical Commission – Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (standart belirleyici kuruluş)
ISC	: Kısa devre akımı
IV	: Akım-Gerilim (I-V) karakteristiği – Güneş panelinin akım-gerilim eğrisi
kWp	: Kilowatt peak
MPPT	: En Büyük Güç Noktası İzleyici
MWp	: Megawatt peak
OG	: Orta Gerilim
PID	: Potential Induced Degradation – Yüksek sistem voltajlarının tetiklediği potansiyel kaynaklı degradasyon türü
Pmax	: Maksimum güç
VOC	: Açık devre gerilimi

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNDEKİ KURULUM HATALARI VE ANALİZİ

Yasin KORUN

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Bilimi ve Teknolojileri Anabilim Dalı

ix+65 sayfa

2025

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Abdulmuttalip ŞAHİNASLAN

Fotovoltaik Güneş Enerji Santrallerindeki Kurulum Hataları ve Analizi başlıklı bu tezde, güneş enerji santrallerinin kurulum aşamasında yapılan elektriksel, mekanik ve yapısal hataların neler olduğu, bu hataların sistem performansına etkileri ve tespit yöntemleri incelenmiştir. Tez kapsamında literatürdeki benzer vakalar taranmış, kurulum hatalarının sıkça rapor edildiği görülmüştür. Örneğin, bir çalışmada İngiltere’de incelenen 3,3 milyon fotovoltaik modülün %36,5’inde termal kusurlar (hot spot’lar gibi) tespit edilmiştir (nature.com). Bu durum, kurulum ve işletme kaynaklı gizli kusurların yaygınlığını göstermektedir. Bu tezde Diyarbakır’da 13,96 MWp kurulu güce sahip, tek eksenli izleme sistemli GES sahası vaka çalışması olarak ele alınmıştır(smartsolar.com.tr). Saha etüt raporu kapsamında termal kamera ile kızılötesi termografi, I-V karakteristik ölçümleri ve elektrolüminesans (EL) testleri uygulanarak kurulum hataları tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular, ilgili literatür ışığında değerlendirilmiş; hataların enerji üretim verimliliğinde yarattığı kayıplar ve potansiyel güvenlik riskleri analiz edilmiştir. Son olarak, fotovoltaik santrallerde kalite kontrol süreçlerinin iyileştirilmesi ve kurulum hatalarının minimize edilmesine yönelik öneriler sunulmuştur. Bu kapsamlı çalışma, fotovoltaik santrallerin uzun vadeli performans ve güvenilirliğinin artırılmasına katkı sunmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik sistem, kurulum hatası, güneş enerjisi, verimlilik, saha analizi

ABSTRACT

Master Thesis

Installation Faults and Analysis of Photovoltaic Solar Power Plants

Yasin KORUN

Inonu University
Department of Energy Science and Technologies

ix+65 page

2025

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Abdulmuttalip ŞAHİNASLAN

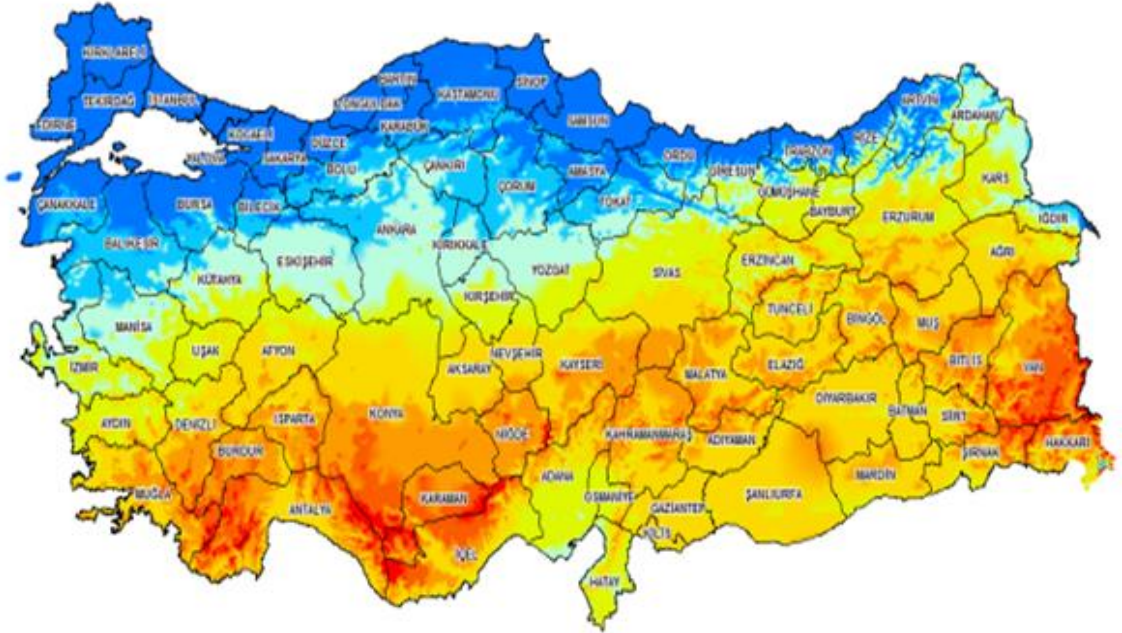
Installation Errors and Analysis in Photovoltaic Solar Power Plants Master's thesis investigates the electrical, mechanical, and structural installation errors commonly observed in photovoltaic (FV) solar power plants and analyzes their impacts on system performance. The research provides a detailed categorization of installation faults in FV systems and reviews similar cases reported in the literature. For instance, a recent survey found thermal defects in 36.5% of inspected FV modules in the UK, including hotspots and heated substringsnature.com, highlighting the prevalence of hidden faults. In this study, a case analysis is conducted on *Yaytaş Solar Power Plant*, a 13.96 MWp single-axis tracking FV facility in Diyarbakır, Turkeysmartsolar.com.tr. A field survey was performed using infrared thermography, I-V curve tracing, and electroluminescence (EL) imaging to identify installation-related issues. The functions of these diagnostic tests in detecting installation faults are emphasized – thermal imaging for hotspots, I-V curves for electrical mismatches, and EL for microcracks and cell-level defects. Findings reveal various installation mistakes, such as improper electrical connections and inadequate mechanical mounting, which led to performance losses and potential safety hazards. These results are compared with those in existing literature to underscore common industry-wide issues. The thesis discusses how each identified fault contributes to efficiency reduction and outlines quality control measures to detect or prevent such issues (e.g., commissioning tests, regular inspections). In conclusion, recommendations are provided to improve installation practices, including better training for installers, adherence to standards, and enhanced maintenance protocols. This comprehensive study aims to contribute to improved reliability and yield in FV power plants by minimizing installation errors.

Keywords: Photovoltaic system, installation fault, solar energy, efficiency, field analysis

1. GİRİŞ

Dünyada ve özellikle ülkemizde fosil yakıtların tükenme riski ve çevreye vermiş oldukları zararlar göz önünde bulundurulduğunda, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları (rüzgâr, güneş, biyogaz, biyokütle, su vb.) içerisinde, Fotovoltaik (FV) kaynaklı güneş enerjisi santrallerinin yeri de yadsınamayacak kadar önemlidir. Son zamanlarda, FV panel ve santral sistem bileşenlerinde meydana gelen teknolojik gelişmelerle birlikte verimlerin artması, maliyetlerin düşmesine neden olmuştur. Teşvik programlarıyla üreticinin desteklenmesi ve mevzuatta meydana gelen değişikliklerle bu sistemler daha fazla tercih edilir olmuştur.

Türkiye konumu itibariyle güneş enerjisi yoğunluğu ve güneşlenme süresi yüksek olan ülkeler arasında yer almaktadır. Özellikle Güneydoğu, İç Anadolu, Ege ve Akdeniz bölgeleri güneş enerjisi potansiyeli bakımından zengindir. Şekil 1.1 de güneş enerjisi görülmektedir. Turuncu renkler güneş enerjisi yoğunluğun en fazla olduğu illeri göstermektedir. Karadeniz bölgesi güneş verimi bakımından en zayıf yerleşim yerleridir.



Şekil 1.1: Türkiye'nin Güneş Haritası

Güneş enerjisi teknolojilerinin hızla yaygınlaştığı günümüzde, fotovoltaik (FV) güç santrallerinin verimli ve güvenli işletimi için kurulum kalitesinin kritik olduğu bilinmektedir. Fotovoltaik paneller ve sistemler, doğru tasarım ve montajla 25 yıl ve üzeri ömürle çalışabilecek şekilde üretilmektedir. Ancak sahada karşılaşılan hatalı kurulum uygulamaları, beklenenden yüksek verim kayıplarına ve hatta güvenlik risklerine (örneğin yangın) yol açabilmektedir(nature.com candela-ptb.de). FV sistem performans düşüşlerinin sadece modül yaşlanmasından değil, kurulum veya bakım hatalarından da kaynaklandığını ortaya koymuştur.

Bu tez çalışmasının problemi, fotovoltaik güneş enerji santrallerinde kurulum aşamasında yapılan hataların neler olduğu ve bu hataların sistem verimi ile güvenliğine etkilerinin nasıl tespit edilip analiz edileceğidir. Güneş enerji santrallerinde karşılaşılan kurulum hataları uygun yöntemlerle teşhis edilmediğinde “sessiz” kayıplara neden olabilir. İlk bakışta sistem normal çalışıyor gibi görünse de gölgelenme, hatalı bağlantı veya yapı kaynaklı kusurlar enerji üretimini düşürüp ekonomik zarar yaratabilmektedir. Daha da önemlisi, özellikle DC elektrik bağlantılarındaki kusurlar potansiyel olarak ark hatalarına ve yangınlara yol açabilmektedir. Giriş bölümünde bu sorunların önemi vurgulanarak çalışmanın amacı açıklanır.

Bu tezin amacı, FV güneş enerji santrallerinde kurulum sırasında yapılan elektriksel, mekanik ve yapısal hataları detaylandırmak, bu hataların tespiti için kullanılan yöntemleri (termal kamera ile termografi, I-V eğrileri ve elektrolüminesans testleri) değerlendirmek ve bir örnek saha çalışması ile bulguları somutlaştırarak çözüm önerileri sunmaktır. Bu kapsamda, Diyarbakır ilinde bulunan 13,96 MW kapasiteli bir güneş santralindeki kurulum hataları, gerçek saha verileriyle incelenmiştir. Bu GES’ te, 365 Wp monokristalin PERC panellerden oluşan ve tek eksenli izleme (tracker) sistemi kullanan bir sahadır (smartsolar.com.tr). Bu santralin seçilme nedeni, nispeten yeni kurulmuş olmasına rağmen üretim hedeflerinin altında kalması ve yapılan denetimlerde çeşitli kurulum kusurlarının raporlanmış olmasıdır(GES Saha Etüt Raporu, 2025).

2. FV SANTRAL SİSTEMLERİ

FV santraller herhangi bir yakıt kullanmadan, güneş enerjisini direk ve anlık olarak elektrik enerjisine çevirebilen sistemlerdir. FV Santraller kullanım yerleri ve ihtiyaca göre farklı farklı bileşenler ve bağlantı çeşitlerine sahip olmaktadır.

FV santrallere ait önemli avantajlar aşağıda ki gibi özetlene bilinir (ABB, 2014):

- Yerinde enerji üretimi yapıp dağıtım yapılabilmesi
- Çevreye duyarlı olması
- Fosil yakıtlara ihtiyaç duymaması
- Hareketli parçaları olmadığından çok fazla bakım gerektirmemeleri
- Yaklaşık olarak, 20 yıl yüksek verimde çalışabilmeleri
- Düşük işletme ve bakım giderlerine sahip olmaları
- FV sistemler modüler olduğundan, ihtiyaca göre kolay bir şekilde kapasite ölçeklendirme yapılabilmesidir.

FV santrallerin bu avantajları yanında, ilk kurulum maliyetlerinin yüksek olması ve santral bileşenlerinde ki teknolojik çalışmaların hala geliştiriliyor olması ekonomik anlamda bu sistemlerin tam olgunlaştırılamamasına neden olmuştur. Bununla beraber, FV santrallerin üretim kaynağı olan güneş enerjisinin, sürekli olarak aynı seviyede olmaması diğer bir dezavantajlı durumudur (ABB, 2014).

Bir FV santralin yıllık enerji üretimi şu parametrelere bağlıdır:

- FV panellere gelen güneş ışınım miktarı
- FV panellerin yönelimi ve eğimi
- FV panellerin gölgelenme miktarı
- FV santralde kullanılan bileşenlerin teknik özellikleri (FV panel, inverter ve diğer bileşenlerinin verim ve kayıpları)

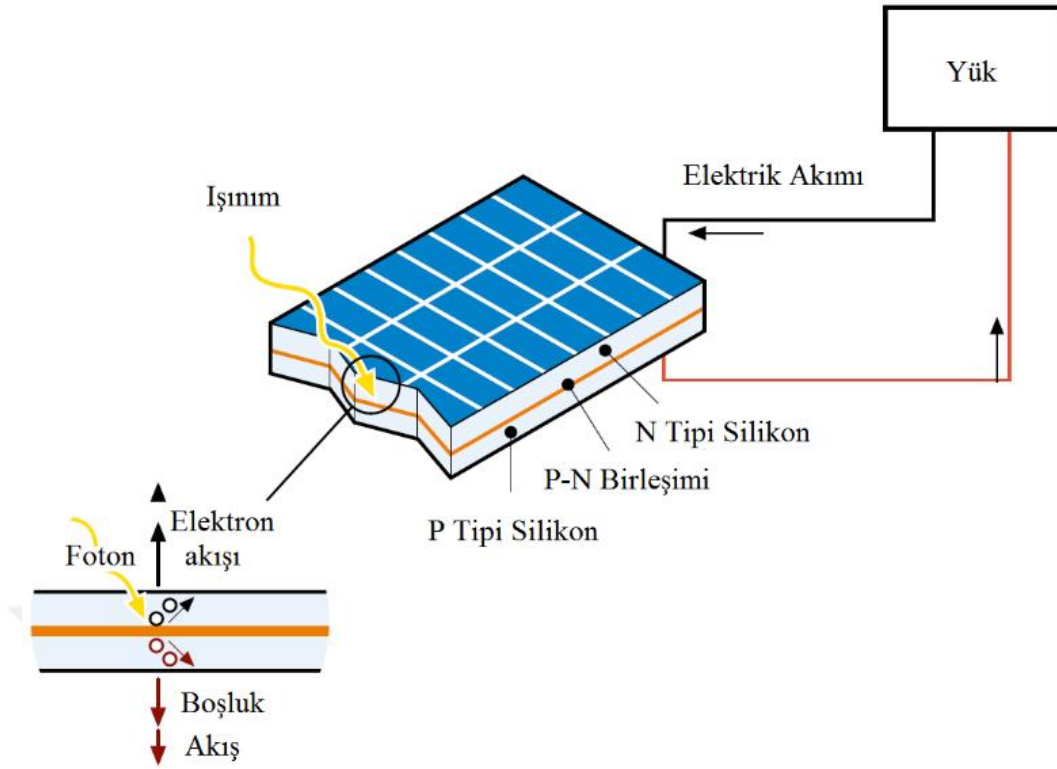
FV santral temel üretim bileşeni olan FV paneller, güneş ışınımından DC elektrik üretmektedir. FV paneller, çatı üstüne veya düz zemine yerleştirmek için, en optimum şekilde yararlanmak üzere tasarlanan metal taşıyıcılar üstüne montajı yapılmaktadır. FV panellerde üretilen DC enerjiyi AC enerjiye çeviren inverterlerdir. FV santrallerde diğer bileşenler olarak; koruma elemanları, DC ve AC kablolar, şalt malzemeleri ve ihtiyaca göre üretilen enerjinin depolanması için şarj cihazları ve aküler kullanılmaktadır (Inverterand FV SystemTechnologyIndustry Guide, 2012).

2.1 FV Sistem Elemanları

2.1.1 FV Panel yapısı ve çeşitleri

Fotovoltaik etki, fotovoltaik bir hücre tarafından güneş ışınımının elektriğe dönüştürüldüğü temel bir fiziksel işlemdir (Şekil 1.2). Güneş ışınımındaki fotonların, silikon gibi yarı iletken malzemelerin yüzeyine çarparak, atomlardan elektronları serbest bırakmaları ile ortaya çıkar. Fotovoltaik Yunanca, ışık anlamına gelen photo ve elektrik akımını geliştiren makinayı tasarlayan AlessandraVolt'dan esinlenerek gerilim anlamına gelen voltaic kelimelerinin birleşmesinden oluşur. Güneş hücreleri (fotovoltaik hücreler), ilk kez 1839 yılında Becquerel tarafından araştırılmıştır [1- 2].

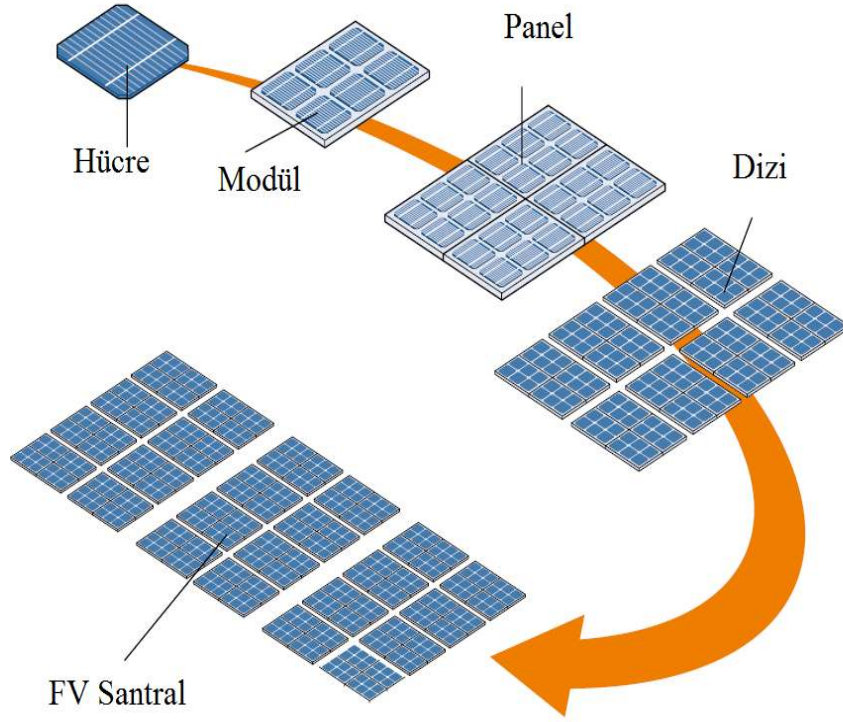
Einstein ışığın sadece dalga yapısında olmadığını tanecik ya da parçacık olarak da hareket ettiğini göstermiştir. Işık bu karakteristiği içindeki foton adı verilen enerji paketçikleri sayesinde yapar. Diğer bir deyişle güneş ışınımı elektromanyetik parçacıkların yani fotonların bir akışı olarak da görülebilir. Fotonlar elektromanyetik radyasyonun parçacık temsilidir. Elektromanyetik radyasyon enerjisini foton adı verilen bu parçacıklar aracılığıyla iletir. Elektromanyetik radyasyon enerjisini fotonlar taşır ve iletir. Fotonlar, oldukça enerjik parçacıklar olup, fotosentez sürecinde olduğu gibi, foto reaksiyonları tetikleyebilirler. Veya yarıiletkenlerdeki elektronların iletkenliğini tetikleyerek güneş ışığının elektriğe dönüşmesini sağlayabilirler. Güneşten gelen ışınım, enerji taşıyan fotonların birleşiminden oluşur. Bu fotonlar, güneş ışınım spektrumundaki farklı dalga boylarına bağlı olarak, farklı miktarlarda enerji içerirler. Fotonlar, fotovoltaik bir hücre üzerine geldiğinde; bir kısmı hücre tarafından soğurulur, bir kısmı yansıtılır, kalan kısmı da hücre içerisinden geçer. Fotovoltaik hücre tarafından soğurulan fotonlar elektrik üretir. Fotonun enerjisi, yarı iletken bir malzemenin atomundaki elektrona transfer edilir. Elektrik akımı üretimi Şekil 2.1.'de verilmiştir.



Şekil 2.1: Elektrik akımı üretimi

FV hücre üzerinde bulunan silikon malzemenin katkılanması ile P ve N tipi madde oluşturulur. P ve N tipi maddenin birleşme yüzeyi civarında oluşan taşıyıcıların bulunmadığı etkin bölgede katkı atomlarından elektron alanlar “-” ve elektron verenler “+” yüklü olarak elektrik yükü oluşturur. Elektrik yükü oluşan FV hücrenin ucuna bir yük bağlanması durumunda elektron akışı gerçekleşerek elektrik akımı sağlanmış olunur.

FV hücrelerin birleşimiyle modüller, modüllerin birleşimiyle FV paneller, FV panellerin birleşimiyle diziler ve dizilerin birleşimiyle de FV santraller oluşturulur (Şekil 2.2). FV santral için sıklıkla tercih edilen, 250 Wp’lık FV paneller genelde 60 hücre, 6 modülden oluşmaktadır. Yani her modülde 10 hücre bulunmaktadır.



Şekil 2.2: FV hücre, modül, panel, dizi ve FV santral oluşum döngüsü

FV paneller hücre yapısına göre, tek kristalli FV panel, çok kristalli FV panel ve ince film olmak üzere üç kategoriye ayrılır.

2.1.1.1 Tek kristalli FV panel

Tek kristalli FV panellerde hücreler, yüksek saflıkta tek tipte homojen silikon kristallerinden yapılmıştır. Şu ana kadar yapılan laboratuvar şartlarında ki en yüksek verimde ki tek kristalli FV panel verimliliği, %8,2 ile 24,7 arasında değişmektedir. (<https://www.pwc.com.tr/>, 2024).

Tek kristalli hücrelerin fiziksel yapısı kararlı olduğu için, uygun bir şekilde korunduğu takdirde uzun süre yüksek verimde çalışma imkânına sahiptirler. Ayrıca piyasada bulunan diğer panellere göre daha yüksek verime sahiptirler.

Fakat tek kristalli FV paneller, çok kristalli FV panellerle karşılaştığında, ilk yatırım maliyeti daha yüksek olmasından dolayı piyasada daha az tercih edilmektedir. Diğer bir dezavantajları ise, yüksek sıcaklıklarda (25°C'den büyük sıcaklıklarda) verimleri diğer FV panel çeşitlerine göre daha fazla düşmektedir (Hankins, 2010).

2.1.1.2 Çok kristalli FV panel

Çok kristalli FV panellerde hücreler, farklı form ve oranda silikon kristallerinden yapılmıştır. Şu ana kadar yapılan laboratuvar şartlarında ki en yüksek verimde ki çok kristalli FV panel verimliliği, %20,8 (208 W/m²) olarak üretilmiştir (Fraunhofer ISE, 2015). Piyasada satılan çok kristalli FV paneller genellikle %15-%16 (150-160 W/m²) verimliliğe sahiptirler (ABB, 2014).

Çok kristalli FV paneller, Watt başına maliyetleri daha uygun olduğu için piyasada daha fazla tercih edilmektedir. Diğer bir avantajı, sıcaklık artışlarında verimlilik düşüşlerinin, tek kristalli hücrelere göre daha az olmasıdır. Dezavantajı ise verimliliği tek kristalli FV panellere göre az olduğundan dolayı aynı güce sahip bir FV santral yapılırken daha fazla alana ihtiyaç duymasıdır (Hankins, 2010).

2.1.1.3 İnce film FV panel

İnce film FV paneller, ince tabakalar halinde kristal olmayan esnek yapıda çeşitli yüzeylerden oluşmuştur (Hankins, 2010).

İnce film panellerin verimleri, diğer FV panel tiplerine göre daha düşüktür. Laboratuvar ortamında en yüksek yaklaşık olarak, %21 verimde ince film hücre üretimi gerçekleşmiştir. Son 10 yıl içerisinde piyasa da bulunan ince film panellerin verimleri %9' dan %13' e yükselmiştir (Fraunhofer ISE, 2015). Buda gösteriyor ki ilerleyen süreçlerde, verimleri diğer panel tiplerine yakın olan ince film panellerin kullanımı oldukça artacaktır. Ayrıca kullanımda ki esnekliği sayesinde, farklı zeminlerde kullanılmaya imkân sağlaması da önemli bir avantajı olarak ortaya çıkmaktadır.

İnce film FV paneller, diğer FV panel türlerine göre daha düşük sıcaklıklarda daha yüksek performans göstermektedir. Ayrıca ince film FV panellerin güç üretebildiği ışıyım spektrumu, diğer FV panellere göre daha geniştir (Başoğlu ve ark., 2014).

2.1.2 Şarj Kontrol Cihazı

Şarj kontrol cihazı güneş panelinden gelen dc enerjiyi düzenleyerek sabitler ve akülerin şarjı için stabil bir dc elektrik enerjisi oluşturur. Akülerin dc bir kaynaktan şarj edilmesi için şarj akımı ve voltajının regüleli olarak sabit gelmesi gerekmektedir. Güneş panelin ürettiği voltaj ve akım sabit değildir bu yüzden akülerin verimli şarj edilmesi için şarj kontrol cihazına ihtiyaç vardır. Şarj kontrol cihazları ayrıca aküden panellere ters akım akmasını önler.

Aküyü aşırı şarjdan korur. Şarj kontrol cihazı akü dolduğu zaman güneş panelinden gelen elektriği keser. İki çeşidi bulunur. Bunlar; PWM ve MPPT şarj kontrol cihazlarıdır.

2.1.3 Bataryalar

Solar depolamalı off grid fotovoltaiik sistemler için akü kalitesi çok önemlidir. Bataryanın şarj-deşarj verimliliği yüksek, ömrünün ise uzun olması gerekir. Sıcaklığa ve olumsuz çevre koşullarına göre dayanıklı olmalıdır. Solar sistemlerde yaygın olarak kullanılan aküler; jel aküler, özel opzs tip sulu aküler ve derin çevrimli bazı kurşun asit akülerdir.

2.1.4 İnverterler

İnverterler, DC elektrik enerjisini AC elektrik enerjisine dönüştüren elektronik cihazlardır. Off-Grid fotovoltaiik sistemler için kare dalga, modifiye sinüs ve tam sinüs olmak üzere üç çeşidi mevcuttur. Solar sistemlerde modifiye sinüs ve tam sinüs modelleri sıklıkla kullanılır.

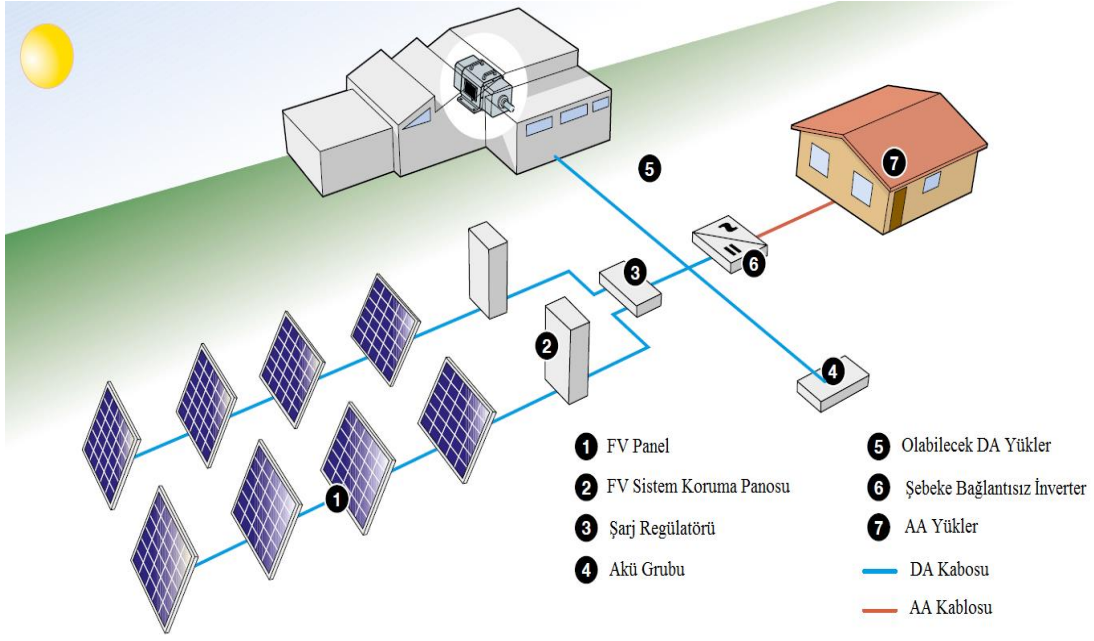
2.2 Bağlantı Şekillerine Göre FV Santraller

FV enerji üretim sistemleri kapasitesine, kullanım yerlerine ve amaçlarına göre farklılık göstermektedir. FV santraller bağlantı şekillerine göre de şebeke bağlantılı, şebeke bağlantısız ve hibrit olmak üzere üçe ayrılır.

2.2.1 Şebeke bağlantısız FV santraller

Şebeke bağlantısız FV sistemler, şebekenin ulaşmadığı yerlerde ve kırsal alanlarda tercih edilmektedir. Şebeke bağlantısız FV sistemler, bataryalı veya bataryasız olarak kullanılmaktadır. Bu tür sistemler, enerjiyi bir depolama ünitesinde biriktirerek, gece ve gündüz istenilen yükleri besleyebilecek şekilde tasarlanmaktadır. Bu tip santrallerde genellikle depolama birimi olarak aküler kullanılmaktadır. Şebeke bağlantısız FV sistemler tarafından, DC yükler(DC elektrik motorları, led aydınlatmalar, haberleşme cihazları vb.) ve AC yükler(motorlar, pompalar, aydınlatmalar, vb.) beslenebilmektedir. Sistem bağlantıları gerçekleştirilirken, DC yükler doğrudan sisteme bağlantı yapılırken; üretilen AC yüklerin beslenmesi durumunda, yükün önüne bir inverter eklenerek alternatif akıma çevrilir (Industry Guide, 2014).

Şebeke bağlantısız FV santrallerin kullanıldığı sulama pompaları gibi bazı sistemlerde, anlık üretilen DC enerjinin kullanılması durumunda akü grubuna ihtiyaç duyulmaya bilinir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: Şebeke bağlantısız FV santral bileşenleri genel yapısı (ABB, 2014)

Şebeke bağlantısız FV santrallerde, şarj regülatörü sayesinde akü gruplarının şarj durumlarının kontrolü yükün ihtiyaç duyduğu kadar enerjinin aktarılmasını sağlamaktadır.

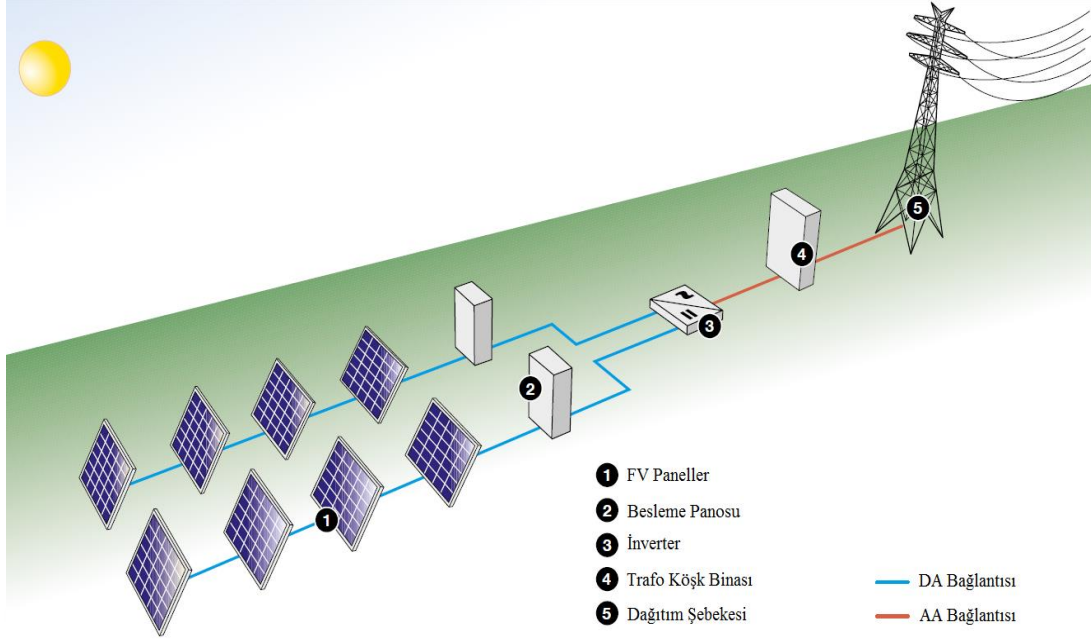
Şebeke bağlantısız sistemlerde enerjinin depolanmasında kullanılan akü grupları; kuru tip akü, asitli akü, jel akü veya lityum iyon aküler olabilmektedir (IRENA, 2015).

Şebeke bağlantısız inverterler, girişinde şebeke bağlantısında ihtiyaç duymadan DC akımı, AC akıma çeviren, yarı iletken anahtarlama elemanlarından oluşan sistemlerdir (ABB, 2014). Günümüzde kullanılan bazı şebeke bağlantısız inverterler de, şarj regülatörü özellikleri de mevcuttur.

2.2.2 Şebeke bağlantılı FV santraller

Şebeke bağlantılı FV Santraller, şebekenin bulunduğu yerlerde direkt olarak şebekeye bağlantı yapılarak ürettiği enerjiyi dağıtım hattına aktaran santrallerdir. Bu tarzda üretim yapan FV santraller, depolama birimine ihtiyaç duymazlar.

Şekil 2.4'te görüldüğü gibi şebeke bağlantılı FV santraller, iki şekilde tasarlanabilmektedirler. Birincisi; DC akımı, AC akıma çevrilerek doğrudan tek yönlü sayaç üzerinden şebekeye aktarılır. İkincisi ise; konut, mesken ve sanayi vb. elektrik tüketiminin olduğu yerlerde, inverterden sonra, çift yönlü sayaç kullanılarak aynı zamanda farklı yüklerde beslenilir (Çalıkoglu ve ark., 2010).



Şekil 2.4: Şebeke bağlantılı FV santrale ait bileşenlerin genel yapısı (ABB, 2014)

FV santralde bulunan besleme panoları, FV panellerin çıkışlarının bağlanıldığı ve koruma elemanlarının bulunduğu kısımlardır. Burada, şalter ve manyetik kaçak akım röleleri gibi anahtarlama ve koruma elemanları bulunmaktadır.

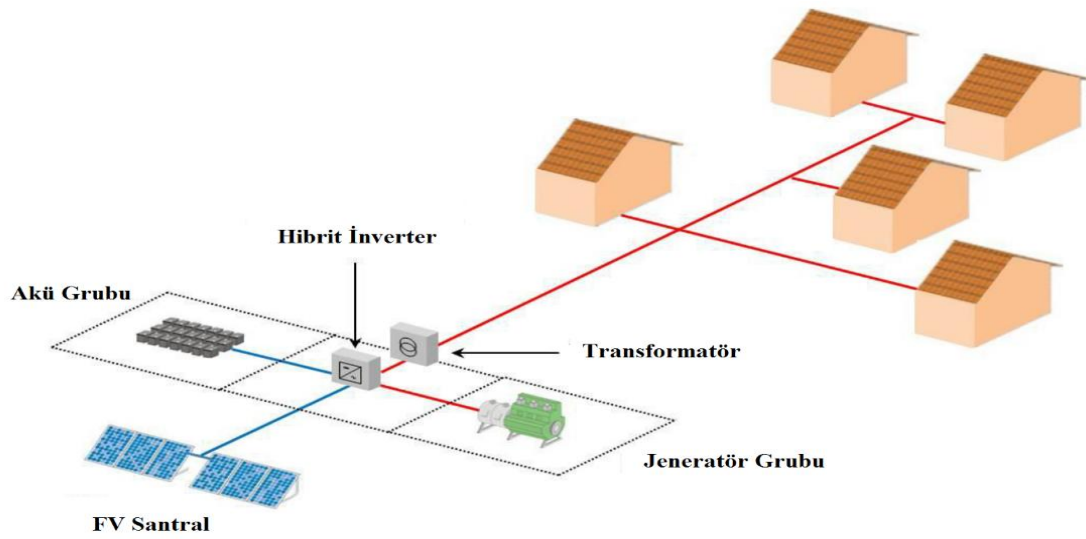
Şebeke bağlantılı inverterler, FV paneller tarafından üretilen doğru akımı, alternatif akıma çeviren yarı iletken anahtarlama elemanlarından oluşan cihazlardır. Piyasada bulunan inverterlerin verimleri yaklaşık %98 civarındadır (Fraunhofer, 2015). Son zamanlarda, FV santrallerde inverter olarak, yüksek verimliliklerinden dolayı trafosuz tam sinüs inverterler tercih edilmektedir.

Şebeke bağlantılı inverterler güç büyüklüklerine göre, merkezi inverter ve dizi inverter olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Merkezi inverterlerde, tüm FV panel dizileri toplanıp, tek bir invertere girişi yapılan genelde yüksek güçlü sistemlerdir. Dizi inverter de ise, her bir FV panel dizisi çıkışı bir inverter'e giriş yapılarak çıkışları toplanıp, dağıtımı yapılır. Dizi inverterler'de, tek fazlı ve üç fazlı olmak üzere iki çeşitleri bulunmaktadır (Industry Guide, 2012).

FV santrallerde bulunan trafo köşk binası içerisinde; trafo, AG dağıtım panosu ve OG panosu (trafo koruma hücresi, ölçü hücresi ve kesicili çıkış hücresi) bulunmaktadır.

2.2.3 Hibrit FV santraller

FV sistemler, meteorolojik şartlara bağılı olması nedeniyle, süreksiz ve kesintili enerji üretimi sağlamaktadır. FV santralin kesildiği veya yetersiz olduğu durumlarda, diğer güç üretim sistemlerinin devreye girerek kesintisiz güç sağlayacak şekilde tasarlanmış santrallere hibrit FV santraller denilmektedir (Şekil 2.5). Hibrit FV santrallerde ikincil güç üretici olarak, genellikle rüzgâr türbinleri veya dizel jeneratörler tercih edilmektedir (Lena, 2013). Hibrit FV santraller, şebeke bağlantılı veya şebeke bağlantısız olarak tasarlanabilir (Arezki ve ark., 2014).



Şekil 2.5: Hibrit FV santrale ait bileşenlerin genel yapısı (Lena, 2013)

2.3 Fotovoltaik Sistemlerde Hata Türleri

Genel olarak FV sistem hataları üç ana gruba ayrılabilir.

2.3.1 İmalat veya malzeme hataları

Hücrelerde mikro çatlaklar, lehimleme kusurları, EVA tabakasında homojenlik problemleri, bağlantı kutusu imalat hataları vb. Bu tür hatalar üretici kaynaklı olup genelde garanti kapsamında ele alınır. Örneğin, hücre üzerindeki ince mikro çatlaklar genellikle üretim veya nakliye aşamasında oluşabilir ve zamanla genişleyerek performansı düşürür (nature.com). Üretim hataları ilk başta fark edilmeyebilir ancak EL testi gibi yöntemlerle tespit edilebilir.

2.3.2 Çevresel ve operasyonel hatalar

Zamanla oluşan degradasyon (PID – Potansiyel İndüklemeli Bozulma, nem kaynaklı korozyon), aşırı sıcaklık farklarından kaynaklı gerilimler, dolu veya rüzgar hasarları, modül yüzeyinde kirlenme (tozlanma) gibi faktörler. Örneğin, potansiyel indüklemeli degradasyon (PID) özellikle yüksek sistem voltajlarına maruz kalan panellerde birkaç yıl içinde ciddi güç kayıplarına yol açabilir. Bu tür hatalar kurulumdan bağımsız gelişse de, koruyucu önlemlerin (örn. PID için topraklama/izolasyon tasarımı) eksikliği kurulum aşamasında bir hata olarak değerlendirilebilir.

2.3.3 Kurulum ve İşçilik Hataları

Panel ve sistem montajı sırasında yapılan hatalardır. Hatalı kablolama, gevşek elektrik bağlantıları, yetersiz topraklama, uygunsuz mekanik montaj, yanlış eğim-açı ayarı, dizilim hataları, eksik ya da hatalı sıkma torkları gibi insan kaynaklı kusurları içerir. Bu hatalar, sistem devreye alındığında hemen ortaya çıkabildiği gibi, zaman içinde de etkisini gösterebilir. Örneğin, tam oturmamış bir MC4 konnektörü başlangıçta çalışır görünebilir, ancak yüksek akım geçtiğinde aşırı ısınıp eriyebilir veya yıllar içinde nem girerek korozyona uğrayıp arızaya yol açabilir (iea-FVps.org).

Bu tezdeki literatür taraması, özellikle üçüncü gruptaki kurulum hatalarına odaklanmıştır. FV sistemlerinde kurulum hatalarının yaygınlığına dair uluslararası raporlar incelenmiştir. **IEA-FVPS**'nin bir çalışmasında, denetlenen yüzlerce küçük çatı üstü FV sisteminde çok sayıda kurulum kusuru tespit edilmiştir. Bu çalışma, kurulum hatalarının çeşitlerini ve görülme sıklıklarını raporlamış; örneğin sistemlerin %24'ünde DC kabloların mekanik olarak düzgün sabitlenmediği, %5'inde ise elektrik terminallerinin gevşek olduğu belirlenmiştir (iea-FVps.org). Kurulum sırasında yapılan basit hataların bile ciddi sonuçları olabileceği vurgulanmıştır: Gevşek bir bağlantı hem performans düşüşüne hem de ark oluşumu nedeniyle yangın riskine yol açabilir(iea-FVps.org).

2.4 Kurulum Hataları: Elektriksel, Mekanik ve Yapısal Boyutlar

Kurulum hataları farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Bu tez, **elektriksel, mekanik ve yapısal** kurulum hataları şeklinde bir ayrıma gitmektedir:

2.4.1 Elektriksel kurulum hataları

FV modüllerin ve elektrik ekipmanlarının bağlanması esnasında yapılan hataları kapsar. Örnekler: yanlış polaritede bağlantı (panellerin artı-eksi uçlarının ters bağlanması), DC konnektörlerinin tam oturmadan bırakılması, kablo eklerinin uygun yapılmaması, MC4 gibi konnektörlerin farklı marka/model parçalarının uyumsuz birleştirilmesi, kablo kesitlerinin akıma yetersiz seçilmesi, eksik sigorta veya aşırı akım koruması, topraklama yapılmaması ya da hatalı yapılması. Bu hatalar sonucunda yüksek geçiş dirençleri oluşarak ısınma (hot spot) meydana gelebilir veya bazı dizi/string'ler devre dışı kalarak üretim kaybı yaratabilir (iea-FVps.org). Literatürde, gevşek DC bağlantılarının en sık karşılaşılan kurulum sorunlarından biri olduğu ve bu durumun zamanla ark arızasına dönüşüp bağlantı kutularını tahrip edebildiği rapor edilmiştir (iea-FVps.org). Yine Fronius firmasının yangın güvenliği analizinde, tam sıkılmamış konnektörler ve uygun sıkılmamış kablo pabuçları gibi hataların FV sistem yangınlarının önde gelen nedenleri arasında olduğu belirtilmiştir (Fronius, 2018). Elektriksel kurulum hataları ayrıca performansı anında etkileyebileceği gibi (örneğin bir stringin kopuk olması), sinsi biçimde yıllar içinde de ortaya çıkabilir (gevşek vidaların termal döngüyle iyice gevşemesi, nem alarak korozyon yapması vb.).

2.4.2 Mekanik kurulum hataları

Panellerin ve destek yapılarının montajında yapılan hatalardır. Örneğin, panellerin montaj klipslerinin yeterli torkla sıkılmaması, taşıyıcı rayların yanlış hizalanması, dizi içinde paneller arası açı farklılıkları bırakılması, modüllerin yanlış eğim veya yönelimle (azimut) yerleştirilmesi, paneller arası veya satırlar arası mesafenin yetersiz bırakılıp gölgelenmeye sebep olması gibi hatalar bu kategoriye girer. Mekanik hatalar, doğrudan elektriksel arızaya yol açmasa da dolaylı etkileri büyüktür: Gölgeleme sorunu yanlış yerleşim kaynaklı ise verimde ciddi düşüşe yol açabilir; paneller arası açı farkları bazı panellerin optimum ışığı alamamasına neden olabilir (solarbuildermag.com). Literatürde bir vakada, aynı sahada bitişik panel dizilerinin eğim ve yönelimlerinde 3-4° farklılıklar olduğu, bunun sonucunda bir panel grubunun diğerine gölge düşürerek yıllık %1 civarı üretim kaybına neden olduğu rapor edilmiştir (solarbuildermag.com). Yine benzer şekilde, montajda vidaların tam sıkılmaması nedeniyle güçlü rüzgârlarda yapıların titreştiği, hatta bazı panel tablalarının yerinden oynayarak açı değiştirdiği gözlemlenmiştir (solarbuildermag.com). Bu tür mekanik montaj kusurları, hem üretim kaybına hem de uzun vadede modüllerde mikroçatlak gibi stres kaynaklı hasarlara yol açabilir.

2.4.3 Yapısal kurulum hataları

FV santralin temel inşaat ve taşıyıcı sistem kurulumunda yapılan hataları ifade eder. Özellikle büyük ölçekli GES'lerde zemin etüdü, temel ve rüzgar yükü hesapları kritik önemdedir. Yapısal hatalara örnek olarak: yetersiz temel derinliği veya yanlış betonlama (zemin ankrajlarının gevşemesi), taşıyıcı konstrüksiyonların proje dışı malzeme ile yapılması veya korozyona karşı korunmaması, yüksek rüzgar bölgelerinde gerekli çapraz bağlantıların ve desteklerin eksik bırakılması verilebilir(solarbuildermag.com). Rüzgar yükü altında yetersiz tasarlanmış yapılar sallanıp titreşim yaparak panel bağlantı noktalarında zorlanmaya neden olur. FV Diagnostics ekibinin rapor ettiği 10 yapısal sorundan bazıları, zayıf rijitlikteki bağlantılar nedeniyle purlin (enine kiriş) deliklerinin büyümesi ve yapının rüzgarda esnemesi, veya takip sistemlerinde tahrik millerinin (driveline) düşük kotta kalıp su ve çamur birikmesiyle kitlenmesi gibi spesifik örneklerdir (solarbuildermag.com). Yapısal kurulum hataları genelde ilk şiddetli doğa olayında (fırtına, aşırı kar) ortaya çıkar; iyi tasarlanmamış bir montaj, panellerin kırılması veya tüm sistemin devrilmesiyle sonuçlanabilir. Bu nedenle literatürde, özellikle büyük ölçekli sahalarda mühendislik standartlarına (örn. Eurocode, TSE vb.) uygun yapısal tasarım ve alanında tecrübeli ekiplerce kurulum yapılması gerekmektedir.

3. LİTERATÜR TARAMASI

Bu alt bölümde, dünya genelinde raporlanmış kurulum hatası vakaları karşılaştırmalı olarak incelendi. Akademik çalışmalar ve sektör raporlarından örnekler incelendi.

3.1. 1000 Çatı Programı Deneyimi (Almanya)

IEA FVPS Task 7 kapsamında Almanya'daki "1000-Dach-Programm" (1000 Çatı Programı) proje sistemlerinin incelendiği raporda, birçok sistemde kurulumdan kaynaklı hatalar tespit edilmiştir. En sık rastlanan problemler arasında string diyotlarının yeterince soğutulamaması (%60), kabloların uygun sabitlenmemesi (%24) ve gevşek bağlantılar (%5) bulunmaktadır(iea-FVps.org). Bu program deneyimi, özellikle 1990'lar sonu teknolojisinde bypass diyotlarının ısınması ve kablo montaj detaylarının önemine dikkat çekmiştir. Raporda gevşek bağlantıların termal çevrimlerle daha da gevşeyebileceği ve 2 yıl içinde korozyon yapabileceği, bunun sonucunda bağlantı kutularında ark izleri ve yanıklar görüldüğü belirtilmiştir(iea-FVps.org). Bu bulgular, kurulum kalitesinin sistem ömrü üzerindeki belirleyici rolünü erken dönemde ortaya koymuştur.

3.2 İngiltere Güneş Çiftlikleri Tarama Çalışması (2023)

Dhimish ve Badran'ın 2023 tarihli kapsamlı çalışmasında, İngiltere'de çeşitli ölçeklerde (kW'den MW'lara) 2000'in üzerinde FV kurulum termal drone kameraları ile taranmış ve 3,3 milyon modül üzerinde inceleme yapılmıştır. Sonuçlar, modüllerin %36,5'inde termal anomali bulunduğunu, en yaygın sorunun "hot spot" (tek hücre veya çoklu hücre aşırı ısınması) olduğunu göstermiştir(nature.com nature.com). Ayrıca modüllerin ~%8'inde birden fazla ısınmış alt dizi (substring) tespit edilmiştir. Bu hot spot'ların başlıca nedenleri literatürde kısmi gölgelenme, hücre çatlakları veya lehim/konnektör kusurları olarak belirtilir(nature.com). Çalışma ayrıca termal kusurların oranı yüksek olan santrallerde yıllık degradasyon hızının belirgin şekilde arttığını, yani kurulum/imalat hatası içeren sistemlerin daha hızlı performans kaybettiğini ortaya koymuştur (nature.com nature.com). Bu çalışma, büyük ölçekli FV santrallerde periyodik termografi taramasının önemine işaret etmektedir.

3.3 ABD ve Diğer Ülkelerden Vaka Örnekleri

Literatürde ABD’den bildirilen bazı GES yangın vakaları incelenmiştir. Bu vakaların bir kısmında suçlu, kurulum esnasında tam sıkılmamış DC bağlantıları veya yetersiz kaliteye sahip konnektörlerin kullanılması olarak tespit edilmiştir (Brooks ve arkadaşları, 2018). Özellikle Kaliforniya’da mesken çatılarında meydana gelen FV kaynaklı yangınların analizinde, uyumsuz konnektörlerin (farklı markaların MC4 konnektörlerinin bağlanması) bir süre sonra gevşeyerek ark oluşturduğu ve yangın başlattığı rapor edilmiştir. Diğer bir vakada, topraklama bağlantısının unutulması sonucu panel çerçevesinde biriken statik elektriğin bir arıza anında büyük bir ark şeklinde boşaldığı görülmüştür. Her iki durum da, basit kurulum hatalarının ciddi sonuçlar doğurabileceğini gösteren örneklerdir.

3.4 Türkiye’den Örnekler

Türkiye’de de GES kurulum kalitesi üzerine bazı çalışmalar mevcuttur. Özellikle Ege ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde devreye alınan ilk GES projelerinde, acemilik dönemine bağlı olarak çeşitli hatalar görülmüştür. Bunlar arasında, uygun standarda sahip olmayan kabloların kullanılması, panellerin taşıyıcı profillere yanlış yerleşimi (örn. kelepçelerin panel camına baskı yapacak şekilde sıkılması ve mikro çatlaklara yol açması), konnektör izolasyon hataları ve inverter yerleşim hataları (aşırı ısınmaya maruz kalacak kapalı ortama konulması) sayılabilir. TEİAŞ ve TEDAŞ tarafından yayınlanan kabul tutanaklarında, sık karşılaşılan bulgular arasında aşırı gerilim koruma düzeneklerinin eksikliği, AC tarafta uygunsuz kablo bağlantıları, DC hat sigortalarının yanlış boyutu gibi konular rapor edilmiştir (TEDAŞ GES Denetim Raporları, 2017-2020). Bu da gösteriyor ki kurulum hataları sadece DC modül tarafında değil, genel sistem entegrasyonunda da ortaya çıkabilir.

Özetle literatür taramasından elde edilen ortak bulgu, kurulum hatalarının dünya genelinde yaygın ve ciddi etkileri olan bir sorun olduğudur. Bu hatalar, uygun denetim ve testlerle belirlenmediği takdirde fotovoltaik sistemlerin performansını düşürmekte ve ömrünü kısaltmaktadır(candela-ptb.de). Uzmanlar, özellikle yeni pazarlarda deneyimsiz ekiplerin yaptığı kurulumlar nedeniyle bu tür problemlerin daha sık yaşandığını ve bu durumun FV teknolojinin itibarını zedeleyebildiğini vurgulamaktadır(candela-ptb.de). Literatür ışığında, bu tezde ele alınacak GES örneğinin bulguları da benzer bir bağlama oturtulacaktır.

4. YÖNTEM

Yapılan bu çalışmada; Diyarbakır ilinde bulunan 13,96 MWe kurulu güce sahip bir GES Sahasına ait başta elektriksel komponentler dahil sahada kullanılan tüm malzemelerin proje uygunluğu ve santralin genel durumunun ortaya çıkartılması için saha tespitleri ve ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca sahadan alınan panellere ait hücrelerin durumunun gözlemlenmesi ve performans durumlarının değerlendirilmesi için laboratuvar ortamında testler gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.



Şekil 4.1: FV santralin genel görüntüsü

Yapılan çalışmalar sırasında; kurulum firmasının iletmış olduğu projeler ve sahada refakatçiliği sırasında Santral ile ilgili vermiş olduğu bilgiler ışığında tespitler gerçekleştirilmiştir.

Sahada gerçekleştirilen; Proje Uygunluğu ve Uygulama Kontrolleri denetimi sırasında şu hususlar incelenmiştir:

- Drenaj ve Sudan Korunma Uygulama Denetimi
- Yer altı ve Yer Üstü Kablo Projeye Uygunluk Kontrolleri
- Menhollerin projeye uygunluk kontrolleri,

- Taşıyıcı Konstrüksiyonun ve Tracker Sisteminin Projeye Uygunluğu,
- İşletme ve Koruma Topraklaması Uygulama Kontrolleri,
- FV Panellerin Montajı Kontrolleri,
- Bağlantı Kutularının Sudan Korunması Kontrolleri,
- Elektriksel Bağlantı Kalitesi Kontrolleri,
- Trafo Köşkleri ve diğer Şalt Malzemelerinin Kontrolü,
- Panel Kalitesi ve Sağlamlık Kontrolü(Elektriksel ve Termal Ölçümler),Panellerin Yerleşimi ve Gölgeleme Kontrolleri,
- Panel Çerçevesinin Topraklanmasının Kontrolleri
- DC Kablolarda Dolaylı Yıldırım Etkisine Karşı Koruma Kontrolleri
- Sistemin İzlemesi için gerekli Merkezi İzleme Sistemi Proje Uygunluk Kontrolleri
- İşletme ve Bakım Kolaylığı açısından; tüm Elektriksel Bileşenlerin Etiketlemelerinin uygulama projesine uygunluğunun denetlenmesi.
- Güvenlik Sistemi Uygulama Denetimi

4.1 Araştırma Planı ve Vaka Çalışması Tasarımı

Öncelikle literatür taraması sonucunda fotovoltaik kurulum hataları için bir çerçeve oluşturulmuştur. Belirlenen hata türleri ve etkileri doğrultusunda, Diyarbakır'daki GES sahası için bir inceleme planlanmıştır. Bu GES, 13.96 MWp kapasiteli, yaklaşık 38.200 adet 365 W monokristal panel içeren ve tek eksenli güneş takip sistemine sahip bir arazi tipi GES'dir. Saha, 2021 yılında devreye alınmış olup işletmeye alındıktan sonraki ilk iki yılda beklenenden %5-10 arası daha düşük üretim değerleri rapor etmiştir. Bu sapmanın nedeni olarak kurulum hataları olabileceği düşünülmüş ve ayrıntılı bir saha etüt çalışması yapılmıştır.

Araştırma planı kapsamında, saha verisi toplama ve analiz aşamaları şunlardır:

Görsel İnceleme: Saha ziyareti esnasında tüm dizilerin, inverter bağlantı noktalarının ve panel montaj yapısının görsel muayenesi yapıldı. Bu incelemede gevşek görünen bağlantılar, anormal görünen panel pozisyonları, çatlak/kırık modüller, yanık izleri vb. not edildi. Ayrıca kurulum ekibinden ve bakım ekibinden alınan geri bildirimler derlendi.

Termal Kamera ile Kızılötesi İnceleme: Güneş ışıınının yüksek olduğu bir zamanda (öğle saatleri) paneller **termal drone kamera** ile tarandı. Flir marka yüksek çözünürlüklü termal kamera kullanılarak havadan çekimler yapıldı ve her panel dizisinin termal görüntüleri elde edildi. Böylece çalışır durumdaki panellerde gözle görünmeyen sıcaklık anormallikleri tespit edilmeye çalışıldı.

I-V Eğrisi (IV Tracing) Ölçümleri: Sahada rastgele seçilen ya da termal görüntüde anomali saptanan bazı panel dizilerinin I-V karakteristik ölçümleri yapıldı. Taşınabilir bir IV eğri izme cihazı kullanılarak dizi bazında (string) ölçümler alındı. Bu ölçümler, o string içindeki olası bir panel arızası veya bağlantı problemi olduğunda normal eğriden sapma gösterecektir. Özellikle seri direnç artışı (örn. gevşek bağlantı) veya kısmi gölgelenme etkisi (dizide diz akımını düşüren panel) I-V eğrisinde karakteristik izler bırakır.

Elektrolüminesans (EL) Görüntüleme Testleri: Sahada belirlenen problemli paneller (termografide hot spot görülen veya IV testinde anormal davrananlar) demonte edilerek gece vakti elektrolüminesans testine tabi tutuldu. EL testi için yüksek çözünürlüklü bir CCD kamera ve uygun akım kaynağı kullanıldı. Panelin uçlarına ileri bias uygulanarak hücrelerin IR ışık yayması sağlandı ve karanlık ortamda bu ışık özel kamera ile görüntülendi. Böylece hücre içindeki mikro çatlaklar, kusurlu hücreler veya bağlantı problemleri karanlık lekeler/çizgiler olarak tespit edildi.(iea-FVps.orgFVeducation.org.)

Veri Analizi: Toplanan veriler birbiriyle ilişkilendirilerek analiz edildi. Örneğin, termal görüntülerde saptanan “hot spot” noktalarının hangi panellerde olduğu kaydedildi ve bu panellere ait EL görüntüsü varsa karşılaştırıldı. Benzer şekilde, I-V eğrisi anormal olan bir string’in termal görüntülerinde bir panelin diğerlerine göre soğuk (üretimsiz) kaldığı ya da bir hücresinin sıcak olduğu tespit edilebiliyor mu diye bakıldı. Tüm bulgular bir tablo halinde sınıflandırıldı: *Hata tipi – Gözlem yöntemi – Neden – Etki* şeklinde özet bir tablo oluşturuldu.

Yöntemin vaka çalışması kısmı, nicel (ör. performans verileri, sıcaklık ölçümleri) ve nitel (görsel inceleme notları, fotoğraflar) verileri birlikte kullanmayı içerdiğinden bir karma yöntem yaklaşımı benimsendi. Öncelikle, tespit araçları hakkında kısa bilgi verelim:

Termal Termografi (Kızılötesi) Taramanın İşlevi: Termal kamera ile yapılan inceleme, devredeki FV modüllerinde gözlemlenemeyen ısı anormalliklerini ortaya çıkarır. Düzgün çalışan bir hücre tipik olarak uniform bir sıcaklığa sahipken, arızalı veya stres altındaki bir hücre daha sıcak görünebilir (hot spot)(iea-FVps.org). Termografi, çok sayıda modülü kısa

sürede tarayabildiği için büyük santrallerde çok etkilidir. İnsansız hava araçlarına monte edilen kameralarla birkaç MW'lık bir santral saatler içinde taranabilir(iea-FVps.orgiea-FVps.org). Bu çalışmada da termal drone kullanılması bu nedenle tercih edilmiştir.

I-V Eğri Testinin İşlevi: I-V ölçümleri, bir FV dizisinin anlık çalışma karakteristiğini verir. Referans bir I-V eğrisiyle karşılaştırma yaparak, dizide bir panelin düşük akım üretip üretmediği (eğrinin akım ekseninde düşmesi), seri direnç sorunları (eğrinin dizinin voltajına yakın kısmında anormal bükülme) veya bypass diyot devreye girmesi (eğride kademeli kırılma noktaları) anlaşılabilir. Bu sayede, tam olarak hangi sorunun olabileceğine dair ipucu elde edilir (örneğin, bypass diyot arızası varsa belirli bir voltaj noktasında ani akım düşüşü olur).

Elektrolüminesans (EL) Testinin İşlevi: EL görüntüleme, modül içindeki mikro düzey kusurları tespit edebilen güçlü bir yöntemdir. Bir panelin hücrelerine akım verildiğinde, sağlam hücreler zayıf da olsa IR bölgesinde ışık yayarlar; çatlak veya bağlantısı kopmuş hücre kısımları ise karanlık kalır. Bu sayede çıplak gözle veya termal kamerayla görülemeyen mikro çatlaklar, hücre kırıkları, kusurlu lehimler net biçimde ortaya çıkar. EL'in dezavantajı, uygulamasının zor ve zaman alıcı olmasıdır – karanlık ortam ve her panelin ayrı incelenmesini gerektirir. Bu çalışmada sadece şüpheli panellerde EL uygulanarak zaman yönetimi sağlanmıştır.

Aşağıda kullanılan iki temel test yöntemine ait örnek görüntüler verilmektedir. İlki, termal kamera ile alınmış bir FV modül dizisinin IR görüntüsüdür; ikincisi ise bir güneş hücresinin EL görüntüsüdür.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

5.1 Drenaj ve Sudan Korunma Uygulama Denetimi

GES Sahasının genelinde Drenaj yeterli olmamasından kaynaklı tüm sahada su göllenmesi gözlemlenmiştir. Bu da yağışların yoğun olduğu dönemlerde bakım ve işletme sırasında zorluklar yaşanmasına neden olabilecektir. Bu sorunu engellemek adına tüm sahanın etrafında bulunan drenaj hattına ek olarak 9 santralin etrafında drenaj yapılarak ana drenaj hattına bağlanması su baskınlarının önüne geçilmesine fayda sağlayacaktır.



Şekil 5.1: Drenajı Yetersiz Yerler

Saha etrafında yapılan drenaj uygulamasına ait Projeye rastlanmamıştır. Bu projelerin oluşturulması ilerleyen süreçlerde işletme açısından önem arz etmektedir.

5.2 Drenaj ve Su İzolasyonu Yetersiz Köşkler

1, 2, 3, 4 ve 5 Nolu GES' lere ait Trafo Köşkerlerinin süs betonlarının seviyelerinin düşük olması ve su izolasyon önlemleri eksikliği nedeniyle Trafo Köşkünün su aldığı görülmüştür. Bu sorun nedeniyle ilerleyen süreçlerde kabloların yalıtımlarının zarar görmesi ve hücrelerde ciddi problemlerle karşı karşıya kalınması durumlarını ortaya çıkarabilecektir. Bu kapsamda trafo köşkerlerinin yükseltilmesi ve kabloların trafo köşküne girdiği kısımlarının su yalıtımlarının tekrardan gözden geçirilmesi bu problemi ortadan kaldıracaktır.



Şekil 5.2: Drenajı Yetersiz Yerler Trafo Köşkü

5.3 Yeraltı ve Yerüstü Kablo Uygunluk Denetimi

Sahada DC ve AC Kabloların geçirildiği birçok noktada koruge boruların ağız kısımlarının kemirgen hayvanların içine girmesini engellenecek şekilde köpüklenmediği tespit edilmiştir. Bu kısımların köpüklenmesi ilerleyen süreçlerde kemirgen hayvanlardan kaynaklı kablo izolasyon problemlerinin önüne geçmede önem arz edecektir.



Şekil 5.3: Kablo Koruge Boruları ve Spiral Boruları Açık Kısımlar

İnverter girişlerinde bulunan kablo tava kapaklarının kapatılmadığı tespit edilmiştir. Kabloların dış etmenlerden korunması açısından tava kapaklarının kapatılması doğru olacaktır.



Şekil 5.4: Kablo Tava Kapakları Açık İnverterler

Tüm sahada OG AC Kabloların geçtiği noktaları belirten levha ve işaret bayraklarının olmadığı tespit edilmiştir. Levha ve işaret bayraklarının bulunması işletme ve bakım sırasında kolaylık sağlayacaktır.

Sahanın bazı yerlerinde enerji nakil hattı şeridi ve enerji nakil hattı kabloları açıkta kalmıştır. Güvenlik ve işletme açısından toprak ile üstünün kapatılması önerilir.



Şekil 5.5: Açıkta Bulunan Enerji Nakil Hatları

GES-5 ve GES-9’ da bazı yerlerde tarafımıza iletilen DC kablo markaları dışında muadili olan başka marka DC kablo kullanılmıştır.

Sahadaki bir kısım panel altında taşınan DC kabloların çok gergin olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.6’ de görüldüğü gibi kablo gerginliğinden dolayı kabloların taşındığı L profil üzerinde çoğu noktada tutturulamamıştır. Havaaların soğuk olduğu zamanlarda kablolar daha

gergin olabileceği ve konstrüksiyonun hareketli olması göz önünde bulundurulduğunda zamanla kablo bağlantıları zarar görebilecektir.

String altlarında DC Kabloların taşındığı L profillerin uçlarının sivri olması nedeniyle izolasyona zarar verebileceği gözlemlenmiştir. Burada oluşabilecek kablo izolasyonu problemlerinin önüne geçebilmek adına DC Kablo üzerinde spiral boru kullanılması veya başka bir önleyici yöntemle bu problem ortadan kaldırılması faydalı olacaktır.



Şekil 5.6: GES-1 Gergin DC Kablolar

Tespit edilen diğer bir husus ise; DC Kablolarda Polariteyi belirten kablo renkleri standartına göre kablolar döşenmemiştir. Bazı kısımlarda (+) ve (-) polaritede kablolar tek renk kullanılmış ve bazı kısımlarda siyah kablo (+) polariteyi için kullanılmışken bazı kısımlarda (-) polariteyi için kullanılmıştır.

Yapılan tespitlerde GES-2‘ de izolasyonu zarar görmüş kablolar rastlanmıştır. Kablolar genelde L profillerin üstünden geçtiği noktada zarar görmüştür.



Şekil 5.7: GES-2 İzolasyonu Zarar Görmüş Kablo

GES Sahasının genelinde; DC kabloların menhollere giriş güzergahında ve AC kabloların inverterden çıkıp AG hücrelere giriş kısımlarında genellikle dışarda kaldığı görülmüştür. Bu kısımların toprak üzerine eklenerek tesfiye yapılması zamanla santral içerisinde kabloların zarar görmesini engelleyecektir.



Şekil 5.8: GES-9 Kabloları Dışardan Giden AC ve DC Kablolar

Yapılan tespitlerde; DC etiketlemelerde eksiklik ve yanlışlıklar tespit edilmiştir. Tespit edilen eksiklikler Tablo-1' de bulunmaktadır.

Çizelge 5.1: GES' lerin DC Kablo Etiketi Eksik ve Yanlış Olan String Tablosu

	GES-1	GES-2	GES-3	GES-4	GES-5	GES-6	GES-7	GES-8	GES-9
İNV1	St7,8,10 (baş)	Problem yok	St11 (baş-son)	Problem yok	St11(baş)	Problem yok	St2,3,7(baş)	St10(baş)	St1(baş)
İNV2	St3,5 (baş)	Problem yok	St8 (baş-son) St9(baş) St11(baş-son)	Problem yok	St11 (baş-son)	Problem yok	Problem yok	Problem yok	St2(baş)
İNV3	Problem yok	Problem yok	St11(baş-son)	Problem yok	Problem yok	Problem yok	St6,11(baş)	St1(baş)	Problem yok
İNV4	Problem yok	Problem yok	St11(baş-son)	Problem yok	Problem yok	Problem yok	Problem yok	Problem yok	Problem yok
İNV5	St5,6(baş)	Problem yok	St11(baş-son)	Problem yok	St5,11 (baş)	St2(baş)	Problem yok	St8(baş)	Problem yok
İNV6	Problem yok	Problem yok	Problem yok	Problem yok	St3,11(baş)	St7(baş)	St6(son)	Problem yok	St9,10(baş)
İNV7	Problem yok	Problem yok	Problem yok	Problem yok	St1,2,7,10,11 (baş)	St11(son)	Problem yok	Problem yok	Problem yok
İNV8	Problem yok	Problem yok	Problem yok	Problem yok	St1(baş-son) St2,3,4,5,6,7, 8,9,10 (baş)	Problem yok	Problem yok	Problem yok	Problem yok
İNV9	Problem yok	Problem yok	St6(baş)	St1,5,8,9 (son)	St7,8,9,10, 11 (baş)	Problem yok	Problem yok	Problem yok	St7,9(baş) St10(son) St11(baş-son)
İNV10	Problem yok	Problem yok	Problem yok	St1,4,10 (baş)	Problem yok	St3(baş)	Problem yok	St7(baş-son) St11(son)	Problem yok
İNV11	Problem yok	Problem yok	Problem yok	Problem yok	St11 (baş ve son)	Problem yok	Problem yok	St10(baş)	Problem yok
İNV12	Problem yok	Problem yok	Problem yok	Problem yok	Problem yok	Problem yok	Problem yok	St3(baş)	St1,10(baş) st11(baş-son)
İNV13	Problem yok	St1,2,3,4,5,6,7, 8,9,10(son)	St10(baş)	Problem yok	Problem yok	St10(baş)	St3(baş)	St5(baş)	St11(baş)
İNV14	Problem yok	Problem yok	St9,10(baş)	Problem yok	Problem yok	Problem yok	St6(baş)	Problem yok	St1,2,3(baş) St11(baş-son)
İNV15	Problem yok	Problem yok	St5,9,10 (baş)	Problem yok	Problem yok	St10(baş)	Problem yok	Problem yok	Problem yok
İNV16	St10(baş)	Problem yok	Problem yok	St10(baş)	Problem yok	Problem yok	St2,10(baş)	St5,9(baş)	St11(baş-son)

Çizelge 4.1’ de ‘‘St’’ diye adlandırılan ‘‘String No’’ yu, ‘‘Baş’’ ve ‘‘Son’’ String Başı ve String Sonu olduğunu ifade etmektedir.

Sehpalar arasından atlatılan DC kablolar spiral boruyla geçirilmediğinden direkt olarak güneş ışığına maruz kalmaktadır. Kablo ömrü açısından DC kabloların sehpa arası geçişlerinde güneş ışığını engelleyecek şekilde korunması faydalı olacaktır.



Şekil 5.9: Sehpalar Arasında ki DC Kablo Geçişi

Saha genelinde kablo regrajları daha düzenli yapılması uygulama açısından daha doğru olacaktır. Regraj yapılan kabloların bir çoğunda kablolar gevşek bırakılmıştır.



Şekil 5.10: DC Kablosu Sarkık Paneller

Ayrıca NetEcoGES izleme Sistemi üzerinden yapılan incelemede, inverterlere ait DC kabloların izolasyonunun durumunu ortaya çıkarabilmek için izolasyon direnç değerine

bakıldı. Çizelge 4.2’ de elde edilen değerlere göre kırmızı ile işaretlenen kısımlarda izolasyon probleminin olabileceği anlaşılmaktadır. İnverter için çalışma izolasyon direnç değeri 1 M Ω ’ den büyük olması gerekliliği göz önünde bulundurulduğundan değeri düşük olan kısımların DC kablolarının kontrol edilmesi doğru olacaktır.

Çizelge 5.2: GES’ lerin DC Kablo İzolasyon Ölçüm Değer tablosu

	İzolasyon Direnç Değeri(MΩ)								
	GES-1	GES -2	GES -3	GES -4	GES -5	GES -6	GES -7	GES -8	GES -9
İnverter-1	2.099	1.540	1.488	2.204	1.543	1.450	2.116	1.648	1.700
İnverter-2	1.702	1.791	1.699	1.818	1.606	1.459	1.713	1.671	1.916
İnverter-3	2.131	1.940	1.479	1.899	1.635	1.462	1.547	1.608	1.779
İnverter-4	2.170	1.834	1.560	1.772	1.730	1.562	2.048	1.665	2.030
İnverter-5	1.614	1.157	1.715	1.659	1.036	1.893	2.402	1.754	1.694
İnverter-6	1.658	1.733	1.500	1.493	1.397	1.489	2.001	1.637	1.960
İnverter-7	1.644	1.802	1.572	1.364	1.377	1.523	1.697	1.774	1.724
İnverter-8	1.721	2.232	2.056	1.845	2.022	1.816	2.022	1.657	1.669
İnverter-9	1.900	1.552	1.906	1.590	0.407	1.643	2.278	1.568	1.537
İnverter-10	0.355	1.749	2.146	1.679	1.947	1.828	1.571	1.860	1.730
İnverter-11	1.754	1.593	1.618	0.967	1.722	2.141	1.525	1.674	1.638
İnverter-12	1.718	2.008	1.832	1.587	1.693	1.773	1.833	1.847	1.515
İnverter-13	1.573	1.525	1.969	1.730	1.455	1.665	1.569	1.907	1.556
İnverter-14	1.802	1.780	1.784	1.862	1.776	2.213	1.688	1.725	1.714
İnverter-15	1.541	1.491	1.580	1.448	1.638	1.881	1.529	1.705	1.726
İnverter-16	1.636	2.202	2.356	1.946	2.139	1.943	1.348	2.065	1.651

5.4 Menhollerin Uygunluk Denetimi

Menholler ile ilgili yapılan tespitlerde; ilk olarak toprak üstünde olan menhollerin bir kısmında kırıklar ve etrafına dolgu yapılmadığından dolayı açıklıklar tespit edilmiştir. Bu kısımlar revize edilmemesi durumunda yağışların çok olduğu zamanlarda menholler su dolacak ve açık kısımlardan kemirgen hayvanların girme durumu ortaya çıkabilecektir.



Şekil 5.11: Kırık ve Açıklık Olan Menholler

Saha genelinde toprak seviyesinin altında olan menholler bulunmaktadır ve bu sebepten dolayı birçok menhol su ile dolmuştur. Bu menhollerin izolasyon kaçaklarında tehlike arz

etmemesi ve bakım-işletme sırasında kolayca ulaşılabilmesi için menhollerin zemin seviyesinden yükseltilerek etrafı dolgu malzemeleriyle rehabilite edilmesi gerekmektedir.



Şekil 5.12: Su Altında Kalan Menholler

Tespit edilen diğer husus ise; Menhollerin bir kısmında kapak bulunmamaktadır.



Şekil 5.13: Kapağı Bulunmayan Menhol

5.5 Taşıyıcı Konstrüksiyon ve Tracker Sisteminin Denetimi

Yapılan çalışmada, Tracker Sistemi ile ilgili elde edilen bulgular şu şekildedir:

- Tracker yazılımında sistem doğu konumundayken elektrik kesintisi olduğunda sistem kendisini tamamen batıya aldıktan sonra doğuya dönüyor. Elektrik kesintisinin fazla olduğu durumlarda Tracker sistemi gereksiz yere bu hareket senaryosunu tekrarlayacak. Bu da fazladan enerji tüketimine neden olacak ve mekanik sisteme gereksiz yük getirecektir.
- Tracker sistemin bakım ve işletme talimatnamesine rastlanmamıştır.

- Tracker sisteminin uzaktan izlenmesi ve uzaktan müdahale edilmesi için yatırımcıda yazılım mevcut olmadığı görülmüştür.
- Aynı Sehpa Sırasındaki GES-7 ile GES-6 arasında sabah saatlerinde Şekil 4.14’ de görüldüğü şekilde açı farklılıkları gözlemlenmiştir.



Şekil 5.14: Açı Farklılığı Olan GES-7 ile GES-6 Konstrüksiyonları

- Konstrüksiyonların başlarında string numaraları ve santral ismini gösteren etiketler bulunmamaktadır. Özellikle yanyana konumlandırılmış santrallerde panel ve string tespiti zor olmaktadır. Bu etiketlerin konulması işletme açısından olumlu katkı sağlayacaktır.

Taşıyıcı konstrüksiyon sistemi için elde edilen bulgular şu şekildedir:

- Her sahada ayaklar kazılarak beton yapısı ve U profillerin yere sabitleme kısmı incelendi. GES-9 dışında, projeye uygun olarak çakma işlemi ve betonlama yapıldığı gözlemlenmiştir. Çekme testi ile ilgili önceden gerekli testler yapıldığından konu ile ilgili ayrıca bir tespite bulunulmamıştır.
- Konstrüksiyon bacakları arasında yanal eksende düzensizlikler ve dikey ekseninde konstrüksiyonda kot farklılıkları tespit edilmiştir. Bu sorun statik anlamda problem çıkartmasa da panellerin bağlantısının yapıldığı klemplerde gerilmelere neden olur. Bu sorunda zamanla panellerin bağlantı kısımlarında kılcal çatlaklar oluşmasına neden olabilecektir.



Şekil 5.15: Konstrüksiyon Bacağı Kazılmış Beton Görüntüsü

- GES-9 Konstrüksiyon Betonlarının belli kısmında betonların yetersiz olduğu ve hasır demirlerinin dışarıda kaldığı tespit edilmiştir. Bu kısımların güçlendirilerek kare kalıplar halinde betonlanmasında fayda görülmektedir.



Şekil 5.16: Hasır Demirleri Dışarıda Kalmış Konstrüksiyon Bacağı

5.6 İşletme ve Koruma Topraklaması Denetimi

GES sahasında topraklama değerlerini tespit etmek üzere tüm sahalarda; inverter, köşk ve panel topraklama ölçümleri gerçekleştirildi. Yapılan ölçümlerde sahanın genelinde toprak direnç değeri 0,35-,50 Ohm arasında çıktı. Bu değerler, standartta belirlenmiş olan 2 Ohm değerinden düşük olduğu için topraklama yapılan toprak nemliliği göz önünde bulundurularak uygun olduğu belirlenmiştir. Her yıl topraklama ölçümü yapılması işletmenin sürekliliği ve güvenlik açısından önem arz etmektedir.



Şekil 5.17: Topraklama Ölçüm Görüntüsü ve Sonucu

FV panel sehpaları topraklama şeritleri sahanın genelinde dışarıda olduğu gözlemlendi. Bu kısımların toprakla üstünün kapatılması topraklama direnci değerinin daha düşük olması ve elektriksel güvenlik sorunlarını önlemek açısından katkı sağlayacaktır.



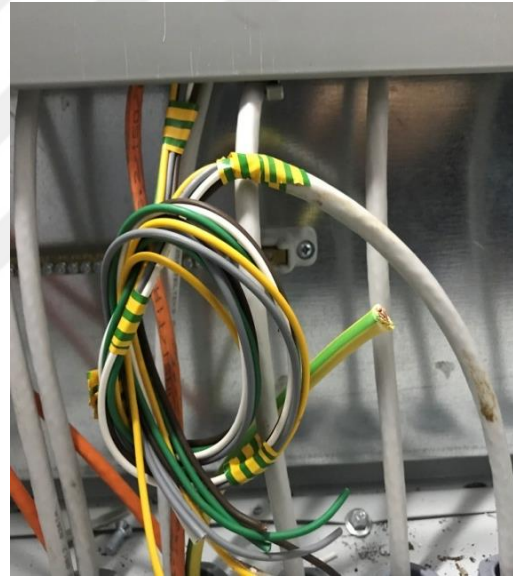
Şekil 5.18: Topraklama Şeritleri Dışarıda Kalmış FV Paneller

GES-9 Sahasında Sehpa arasında topraklama kablosu bulunmasına rağmen bağlantısı yapılmayan topraklama kablosuna rastlandı.



Şekil 5.19: GES-9 Topraklama Kablosu Takılmamış Kablo

Trafo köşklerinde bulunan otomasyon panosunun metal kısımlarında topraklama kablosu görülmemiştir.



Şekil 5.20: Topraklama Kablosu Bulunmasına Rağmen Metalleri Topraklanmayan Otomasyon Panosu

5.7 FV Panellerin Montaj Kontrol Denetimi

Yapılan tespitlerde 2 santralde toplamda 3 noktada FV panellerin klempleri doğru takılmadığından dolayı kaymış panellere rastlanmıştır.



Şekil 5.21: GES-1 ve GES-2 Klempleri Kaymış FV Paneller

GES-1’de konteynerlerin yan tarafında konumlandırılmasından dolayı gölgelenmeye maruz kalan paneller tespit edilmiştir. Gölgeleme bulunan paneller bulunduğu mevcut stringin üretimini aşağı çekeceği için konteynerlerle FV panellerin arasında gölgelenmeyi engelleyecek şekilde mesafe bırakılması doğru olacaktır.



Şekil 5.22: Konteynerden Dolayı Gölgeleyen FV Panel

5.8 Bağlantı Kutularının Sudan Korunması Denetimi

GES-6, GES-7, GES-8 ve GES-9’ da inverter seviyesi düşük, koruma kapakları açık, su alabilecek ve tehlike arz edecek inverterler mevcuttur. Bu kısımların inverter koruma kapaklarının kapatılması ve su almayacak şekilde inverterlerin çevresinin rehabilite edilmesi güvenlik açısından önem arz etmektedir.



Şekil 5.23: Zemin Seviyesi Düşük Koruma Kapakları Açık İnverter

Tüm Sahaların etrafında bulunan birçok aydınlatma ve kamera direği altında bulunan panoların alt kısmındaki kabloların giriş yapıldığı kısımlarda rakorlar olmadığı tespit edilmiştir. Bu durumdan kaynaklı panolarda nemlenme oluşabilir ve zararlı hayvanlar girebilir.



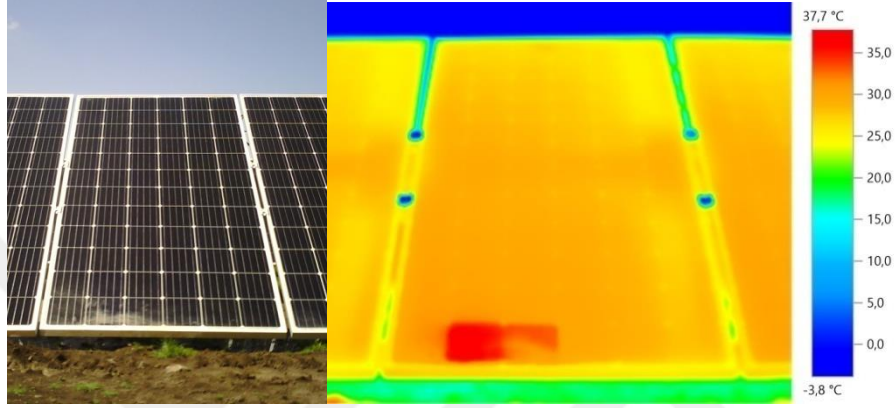
Şekil 5.24: Rakorları Takılmamış Aydınlatma Panoları

5.9 FV Panel Performans ve Durum Kontrolü Denetimi

5.9.1 FV panel termal ölçüm ve gözle muayene denetimi

Yapılan durum kontrollerinde; tüm FV paneller için hücre durumlarını belirlemek üzere termal kamera ölçümleri ve gözle muayene gerçekleştirilmiştir.

Termal kamera ölçümleri gerçekleştirilirken FV panellerin kirlilik ve kuş pisliği olması durumu dışındaki paneller testler için değerlendirme kistası olarak sayılmıştır. Bunun sebebi, FV panellerin üzerinde bulunan kirlilik etmenleri bulunduğu kısmın hücre sıcaklığını diğer hücre sıcaklıklarına göre yüksek gösterecektir. Performans açısından bakıldığında bu kirlenmeler, FV panellerin üretimini azaltacaktır. Bu sebepten dolayı santralin tamamında panel üzerindeki çamur, kuş pisliği, bant ve bant kalıntılarının giderilmesi performansı etkileyecektir.



Şekil 5.25: Çamurlu FV Panelin Termal Görüntüsü

Yapılan termal ölçümlerde, hücre sıcaklığı diğerlerine göre yüksek 68 FV panel tespit edilmiştir. Bu FV panellerdeki hücre sıcaklığının yüksek olması bulunduğu panelin performansını olumsuz etkileyecek ve sıcaklık yüksekliğinden dolayı hücrelerde zamanla deformasyonlar meydana gelecektir.

Gözle muayene kontrolleri sırasında 6 adet çizik, 1 adet kırık(Diğer) ve 2 adet renk farklılığı(diğer) olan FV panele rastlanmıştır.



Şekil 5.26: Sahada ki Çizik, Kırık ve Renk Farklılığı Olan Paneller

Çizelge 5.3: Ges Termal Kamera ve Gözle Muayene Sonuçları

Ges Termal Kamera ve Gözle Muayene Sonuçları			
Santral Adı	Hücre Sıcaklığı Yüksek Panel Sayısı	Çizik Panel Sayısı	Diğer Durumdaki Panel Sayısı
GES 1	4	1	1
GES 2	2	0	1
GES 3	5	0	0
GES 4	10	0	1
GES 5	17	1	0
GES 6	4	2	0
GES 7	17	1	0
GES 8	5	1	0
GES 9	5	0	0
TOPLAM	69	6	3

Termal kamera sonuçlarında elde edilen hücre sıcaklıklarının fazla olduğu panellerin bulunduğu santral ismi, string no ve panel seri no' su ile ilgili bilgiler aşağıdaki; Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5' dendir.

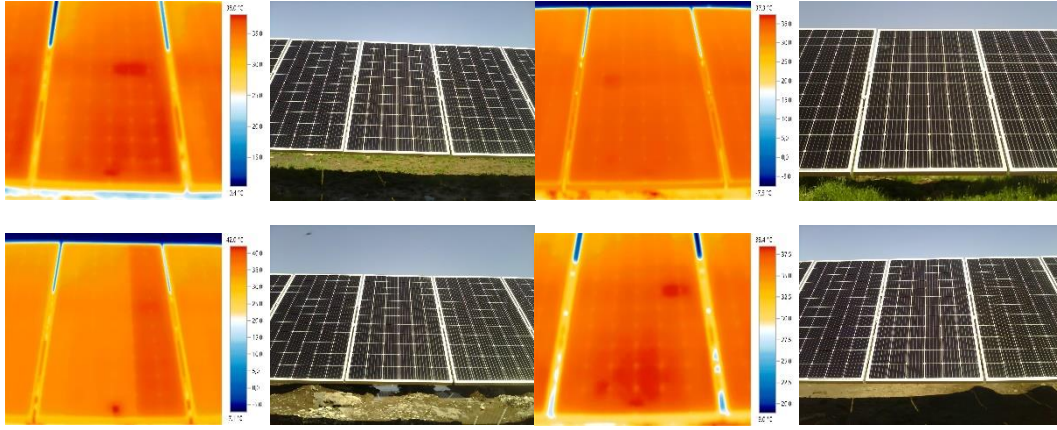
Çizelge 5.4: GES-1, GES -2, GES -3 ve GES -4, Termal Kamera FV Panel Tablosu

GES-1		GES-2		GES-3		GES-4	
FV Panel Seri No	String No	FV Panel Seri No	String No	FV Panel Seri No	String No	FV Panel Seri No	String No
02306120219	E7.5	46166120219	E1.5	51136751018	E9.10	32586831118	E10.5
42996881218	E11.7	05116110119	E13.11	34676070119	E15.4	46856831118	E10.5-1
01816120219	E2.5			03646070119	E16.10	39546831118	E11.1
43716110119	E15.11			04546070119	E16.10-1	44866831118	E12.3
Hücre Sıcaklığı Yüksek Hücre						44906831118	E12.5
						69996831118	E3.4
						70746831118	E3.4-1
						70726831118	E3.4-2
						70756831118	E3.3
						31536831118	E1.1
Camda Çizik	E4.2						
Diğer(Kırık ve Hücre Renk Farklılığı)	E4.10 (Konteynerden dolayı gölgelenme)	22456120219	E5.2 (kırık panel)			28166831118	E1.1 (Hücre farklı renk)

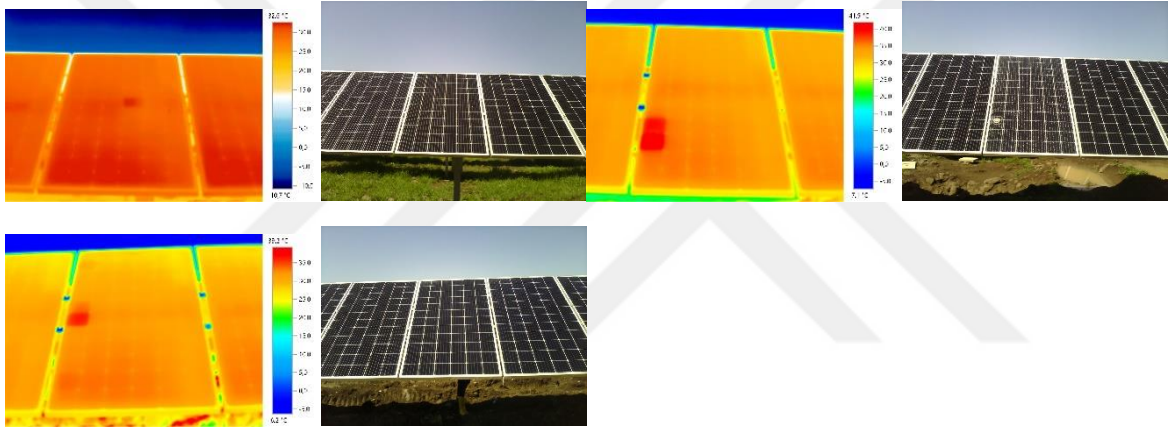
Çizelge 5.5: GES-5, GES -6, GES -7, GES -8 ve GES -9 Termal Kamera FV Panel Tablosu

GES-5			GES-6			GES-7			GES-8			GES-9		
FV Panel Seri No	String No	FV Panel Seri No	String No	FV Panel Seri No	String No	FV Panel Seri No	String No	FV Panel Seri No	String No	FV Panel Seri No	String No	FV Panel Seri No	String No	
22366831218	E06.09	50926130219	E4.4	37056120219	E11.7	34086130219	E15.5	46316130219	E11.6					
67066831118	E04.07	75776120219	E5.4	06336130219	E12.6	35906120219	E14.2	29526110119	E6.1					
66996831118	E04.07	73836120219	E15.4	03046130219	E12.6-1	59946120219	E2.11	53606110119	E4.4					
02766831218	E06.02	51756110119	E9.9	06136120219	E12.8	48656110119	E12.2	25186130219	E3.7					
22568331118	E07.11			20786120219	E12.8-1	61016130219	E12.05	10646130219	E1.5					
78156831118	E08.10			20736120219	E12.8-2									
03516831218	E03.06			54186120219	E12.9									
70386831118	E09.05			15076120219	E14.3									
13196831118	E02.08			56596130219	E15.1									
63256831118	E01.05			25456110119	E15.7									
63196831118	E01.05			25766120219	E9.4									
34476831118	E01.06			04316120219	E9.2									
34636831118	E01.06			29916130219	E9.2-1									
34156831118	E01.06			57126120219	E06.5									
01406831118	E14.10			36076120219	E3.2									
59386831118	E12.4			72786120219	E3.1									
46396831118	E12.02													
Hücre Sıcaklığı Yüksek Hücre														
Camda Çizik														
	05246831218	E07.08	06326130219	E3.11	58236130219	E15.2	31506130219	E15.09						
				51026110119	E8.11									
Diğer(Kırık ve Hücre Renk Farklılığı)														

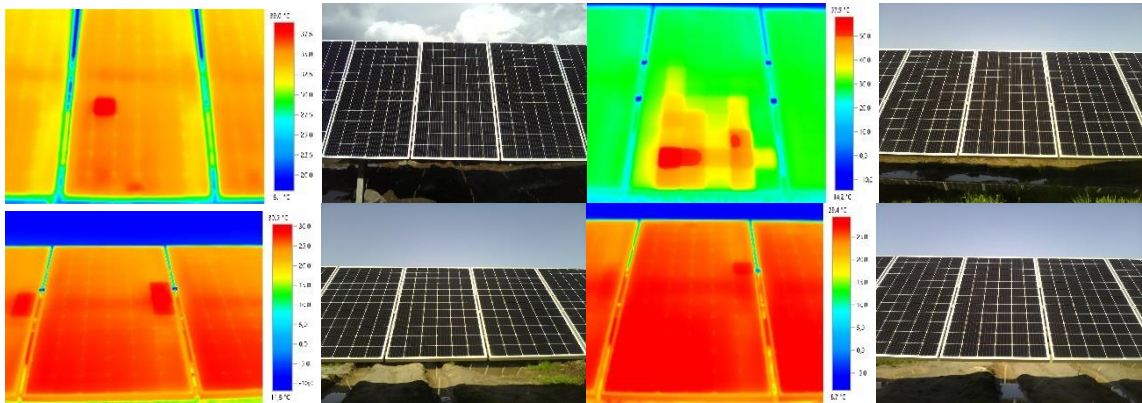
5.9.1.1 GES-1 termal ve çizik FV panel görüntüleri



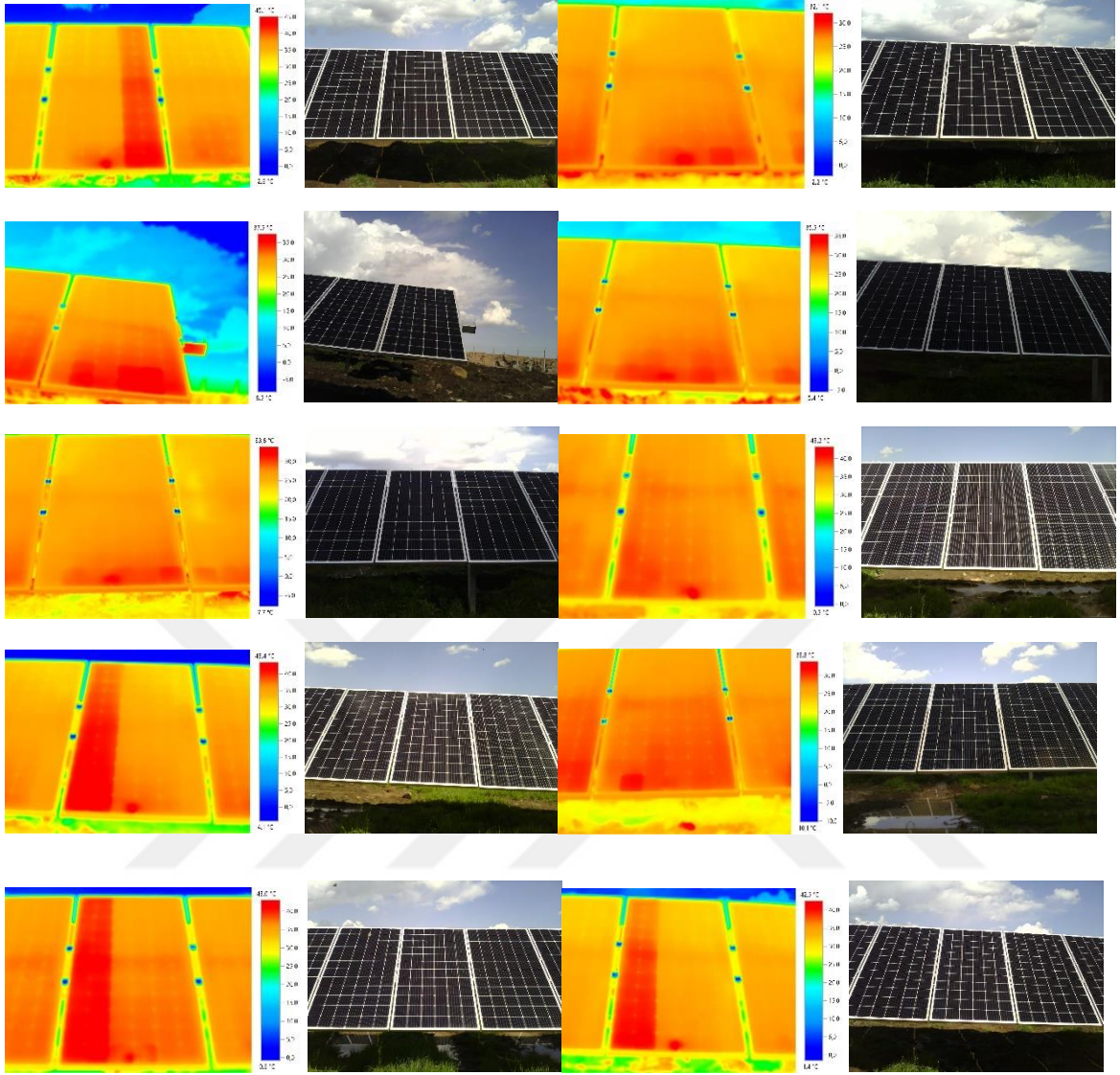
5.9.1.2 GES-2 termal ve çizik FV panel görüntüleri



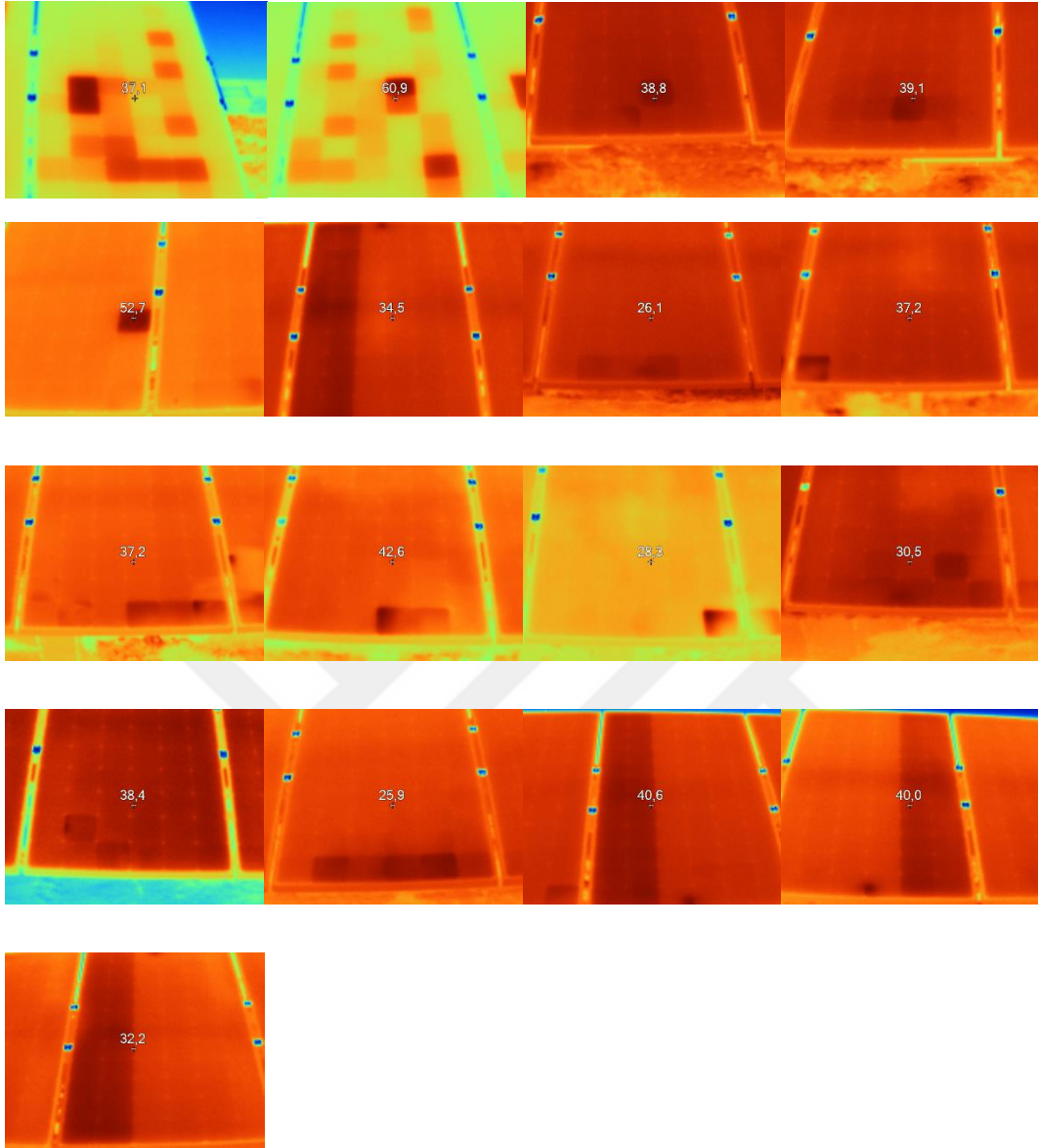
5.9.1.3 GES -3 termal ve çizik FV panel görüntüleri



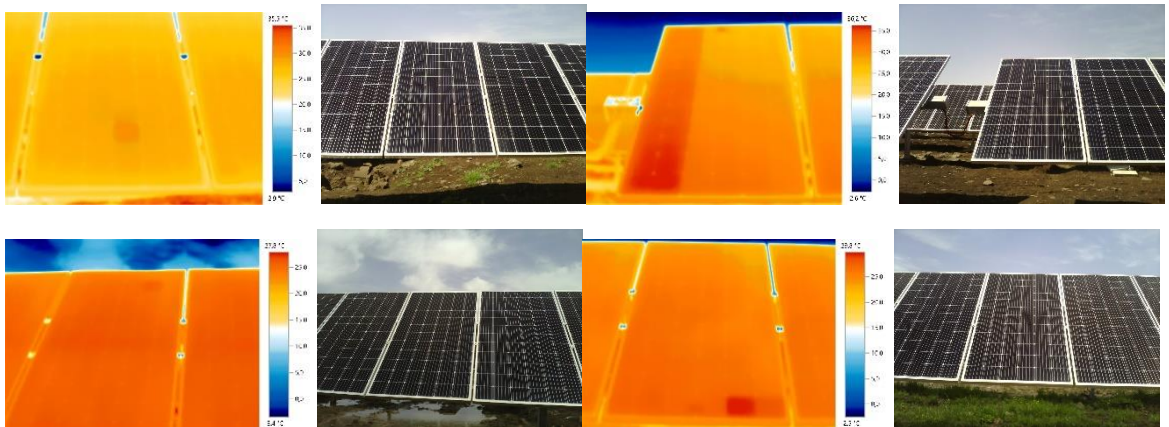
5.9.1.4 GES -4 termal ve çizik FV panel görüntüleri



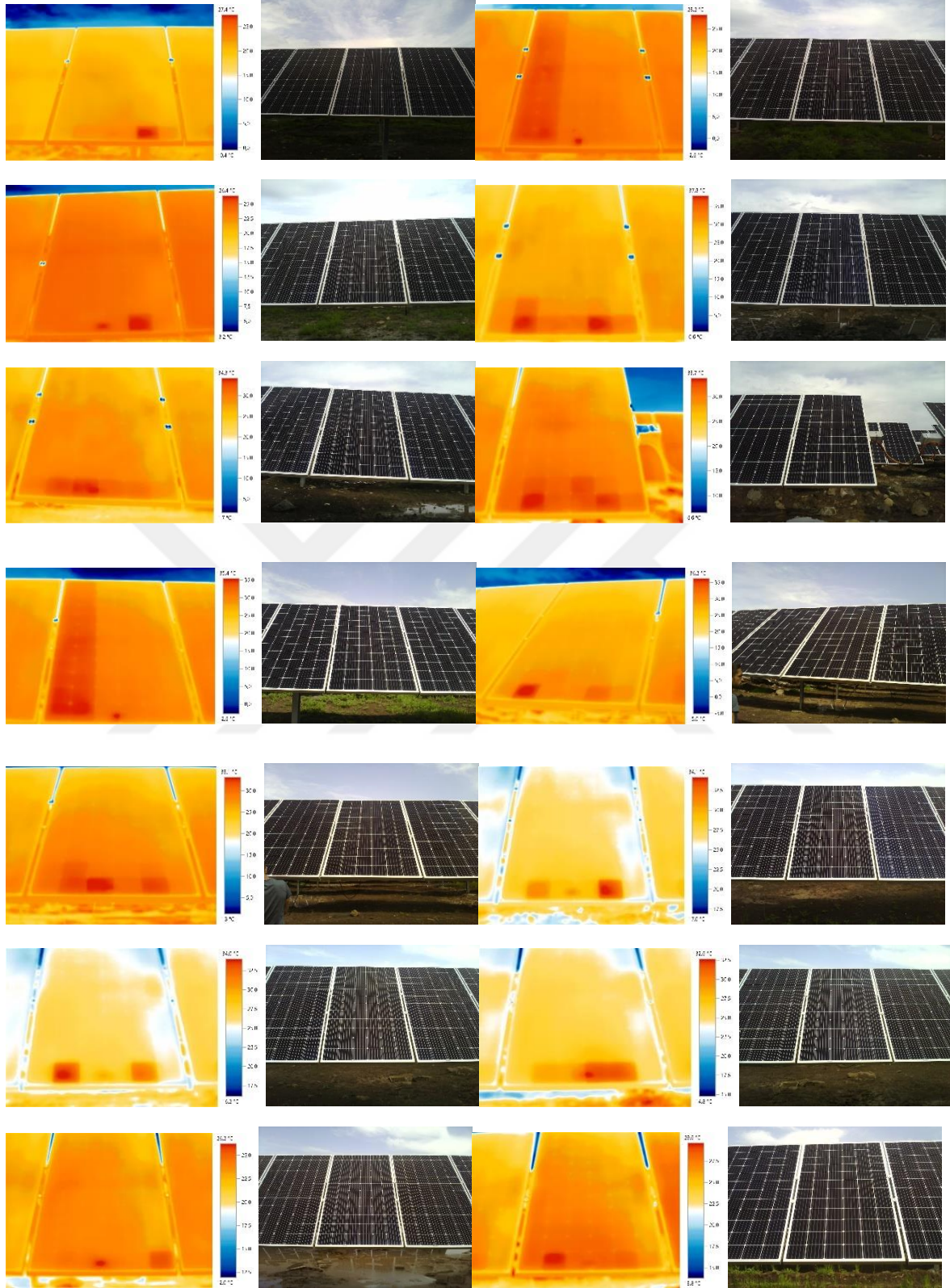
5.9.1.5 GES -5 termal ve çizik FV panel görüntüleri



5.9.1.6 GES -6 termal ve çizik FV panel görüntüleri

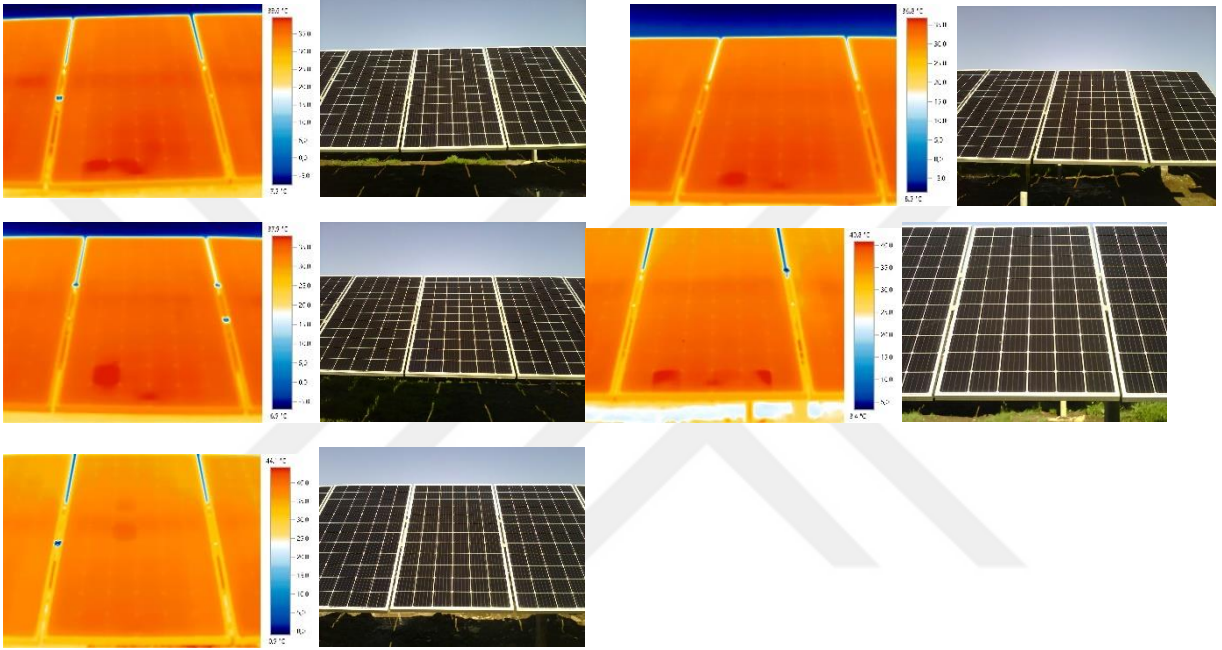


5.9.1.7 GES -7 termal ve çizik FV panel görüntüleri

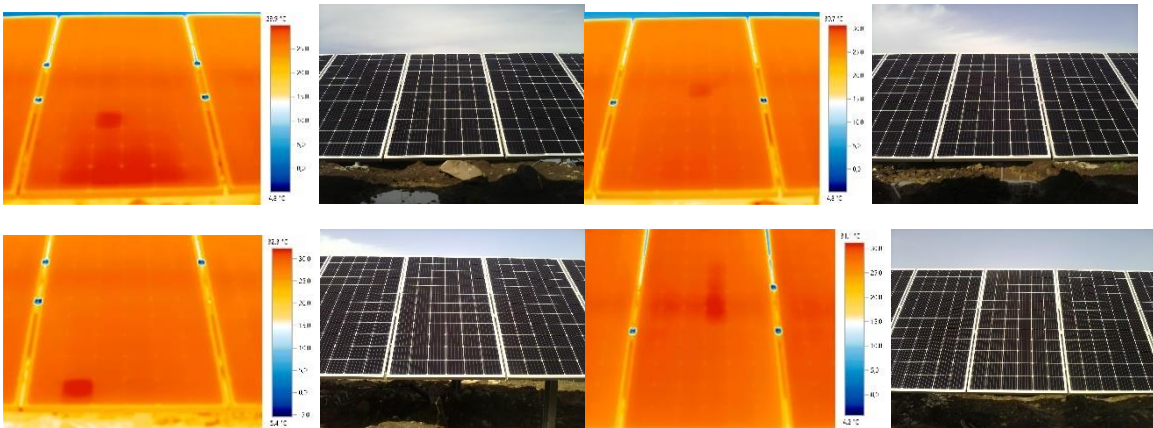




5.9.1.8 GES -8 termal ve çizik FV panel görüntüleri



5.9.1.9 GES -9 termal ve çizik FV panel görüntüleri



5.9.2 FV panel elektriksel durum ve performans değerlendirmesi

Saha tespitleri sırasında, FV panel stringlerine ait üretim değerlerini incelemek üzere; inverter izleme sistemi olan Smart Logger 2000 Data Logger' ı ve NetEco İzleme yazılımından faydalanıldı.

Üretim karşılaştırılmaları yapılırken bir günlük üretim değerleri güç bazında karşılaştırıldı. Karşılaştırma sırasında akım ve voltaj değerlerini karşılaştırılmadı. Bunun nedeni; inverterlerin DC girişleri projelendirmeye göre bazı yerlerde 11 giriş ve bazı yerlerde 12 giriş gibi bağlantı farklılıkları gözlemlenmiştir. Bu bağlantı şeklide Huawei inverterde 6 Adet Mppt olduğundan dolayı Voltaj ve Akım değerlerini kendi içinde mppt algoritmasına göre ayarlaması nedeniyle farklılık oluşmaktadır.

Çizelge 4.6' da görüldüğü gibi günlük bazda inverterlerin aktif güç üretimlerini her bir santrali kendi içinde baz alarak değerlendirirsek oluşan üretim farklılığının şu etmenlere bağlayabiliriz:

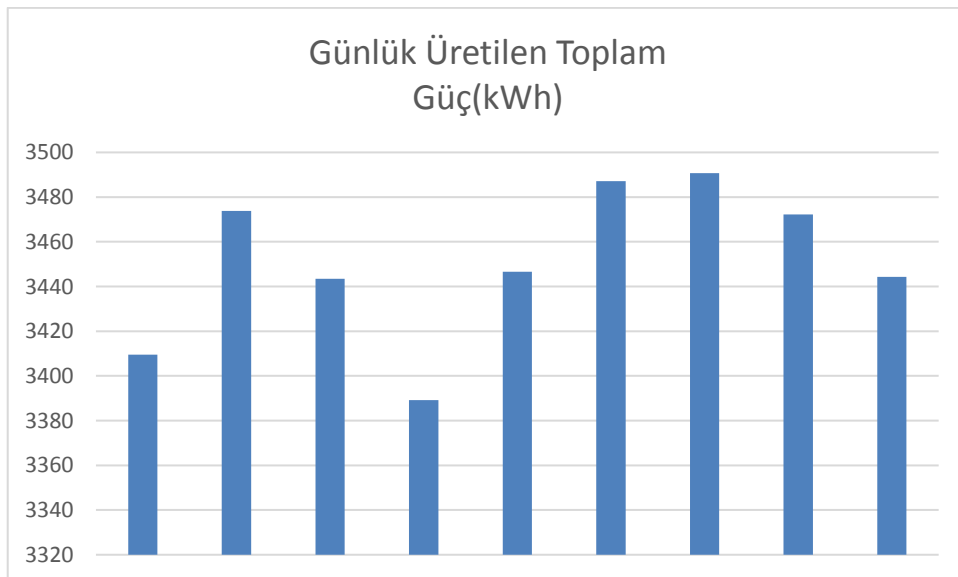
- İnverterlerin giriş sayılarının farklılığı,
- Sahada bulunduğumuz süre zarfında Tracker yazılımında denemelerin devam etmesi
- Hücre sıcaklığı farklı ve zarar görmüş FV panellerin olması
- İzolasyon problemi olan kablolar
- DC kablo başlarındaki sağlam çakılmamış MC4 konnektörler
- AC kablo bağlantılarındaki gevşeklikler
- FV panellerdeki kirlenme faktörleri
- Ve diğer öngörülmeven gölgelenme farklılıklarından oluşabilmektedir.

Çizelge 5.6: Tüm Sahalara Ait İnverter Güç Üretim Değerleri Tablosu

	İNVERTERLER AİT GÜNLÜK TOPLAM ÜRETİLEN AKTİF GÜÇ(kWh)								
	GES-1	GES -2	GES ş-3	GES -4	GES -5	GES -6	GES -7	GES -8	GES -9
İnverter-1	210,04	227,71	224,35	204,98	220,19	228,17	211,8	226,16	208,78
İnverter-2	207,59	207,65	223,22	205,52	222,66	225,73	227,06	225,57	207,36
İnverter-3	207,55	225,39	222,82	205,56	206,28	226,56	227,8	225,83	208,02
İnverter-4	206,83	226,64	222,67	204,99	206,98	224,35	210,1	226,51	208,35
İnverter-5	207,45	226,65	223,65	206,27	226,01	208,1	210,6	222,76	208,19
İnverter-6	207,2	209,46	223,82	223,61	223,74	225,9	209,96	224,01	207,77
İnverter-7	207,85	209,48	223,32	223,33	223,76	227,09	210,31	225,17	212,66
İnverter-8	208,52	209,13	204,84	205,23	205,65	227,64	190,73	224,71	209,69
İnverter-9	227,25	226,08	204,65	222,32	222,29	228,16	208,42	225,56	227,47
İnverter-10	226,14	207,7	205,56	204,87	204,77	209,45	224,36	207,77	207,65
İnverter-11	223,65	224,77	207,15	222,55	223,84	208,85	228,07	206,71	208,41
İnverter-12	207,46	207,51	208,82	204,01	204,46	208,56	226	205,99	226,98
İnverter-13	224,85	224,94	208,28	223,05	223,52	209,68	228,05	204,49	225,08
İnverter-14	206,11	207,21	207,81	204,84	204,75	209,95	224,93	208,33	227
İnverter-15	224,47	225,18	223,91	222,58	222,71	209,64	227,3	207,06	224,37
İnverter-16	206,56	208,3	208,57	205,51	204,96	209,28	225,17	205,65	226,54
Toplam Güç(kWh)	3409,52	3473,80	3443,44	3389,22	3446,57	3487,11	3490,66	3472,28	3444,32

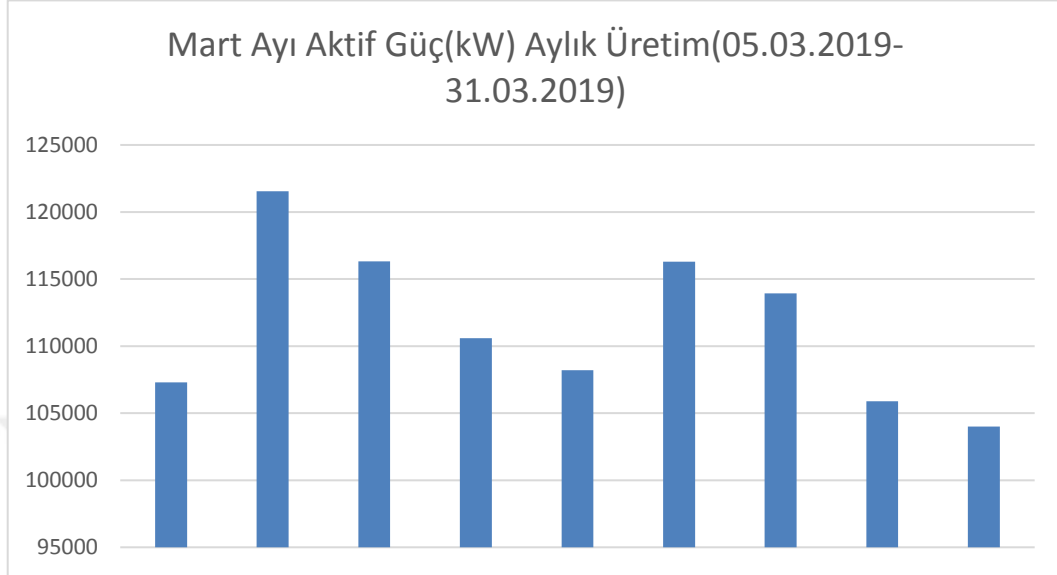
Sahaların günlük toplam aktif güç üretimlerinde meydana gelen farklılıkların sağlıklı bir şekilde karşılaştırılması için Tracker Sisteminin tam randımanlı çalışması ve tüm sistemsel eksikliklerin giderilmesi akabinde yapılabilecektir. Herhangi bir gün için günlük bazda üretim(Çizelge 4.7) göz önünde bulundurulduğunda GES-7 en fazla üreten saha ve GES-4 en az üreten saha olarak görülmektedir.

Çizelge 5.7: Tüm Sahaların Ürettiği Toplam Güç Miktarları



Mart Ayı içinde toplam üretim baz alındığında GES-2 en fazla üretim yapan santral iken GES-9 en az üretim yapan santral olarak görülmektedir.

Çizelge 5.8: Tüm Sahaların Ürettiği Toplam Güç Miktarları



5.9.3 FV panel elektrolüminans ve IV karakteristiği değerlendirilmesi

5.9.3.1 Elektrolüminans testi

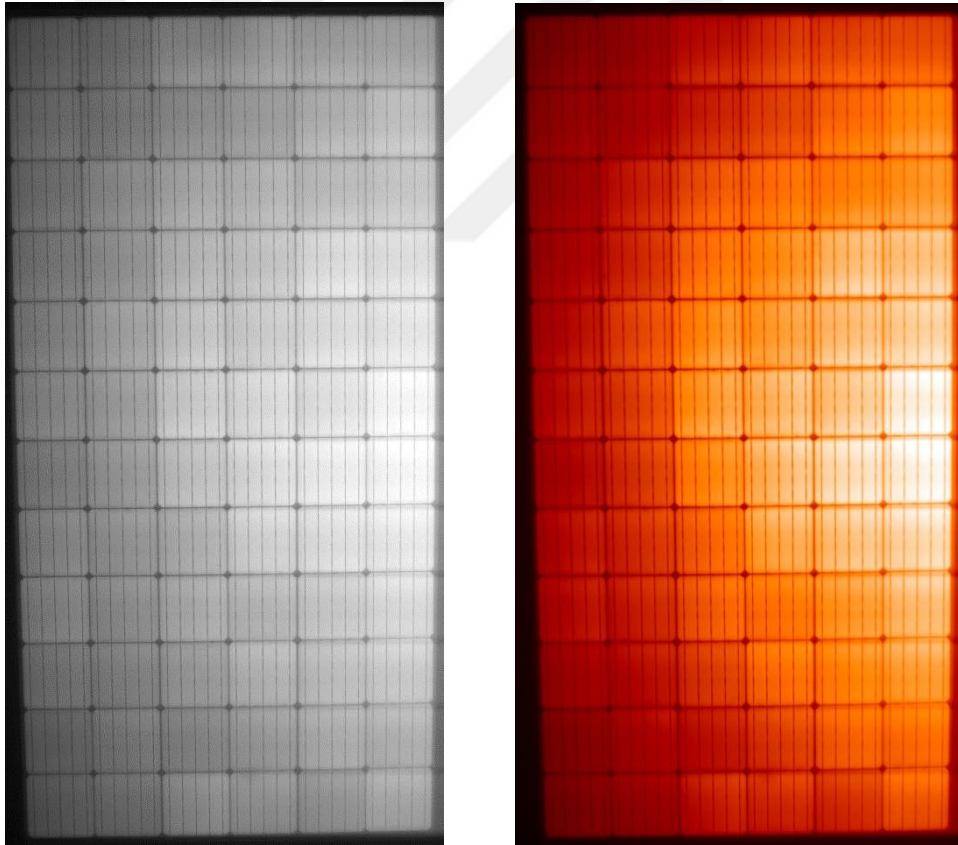
GES Sahasından geliş güzel seçilen üç tane FV panelin hücrelerinin durumunu incelemek üzere laboratuvar ortamında elektrolüminans testleri yapıldı.

Yapılan bu test sayesinde dışarıdan FV panele harici bir enerji vererek hücrelerin içinde olabilecek kılcal çatlak ve hücredeki diğer olumsuz durumları gözlemlendi.

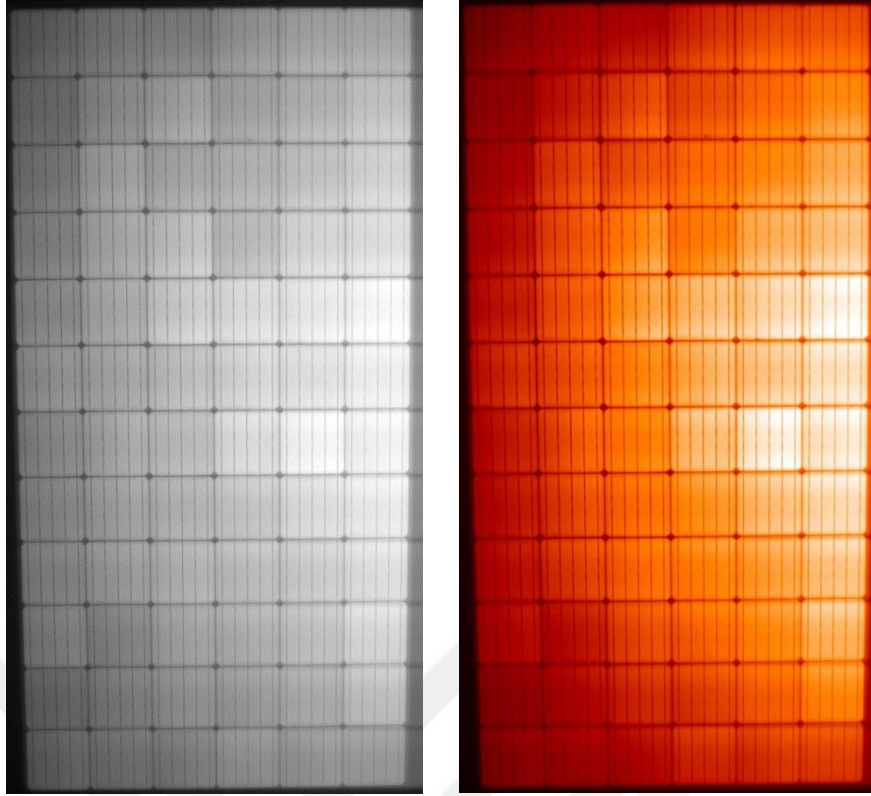
Test sonucunda elde edilen tüm bilgiler Laboratuvarın tarafımıza ilettiği şekliyle birebir teze aktarılmıştır.



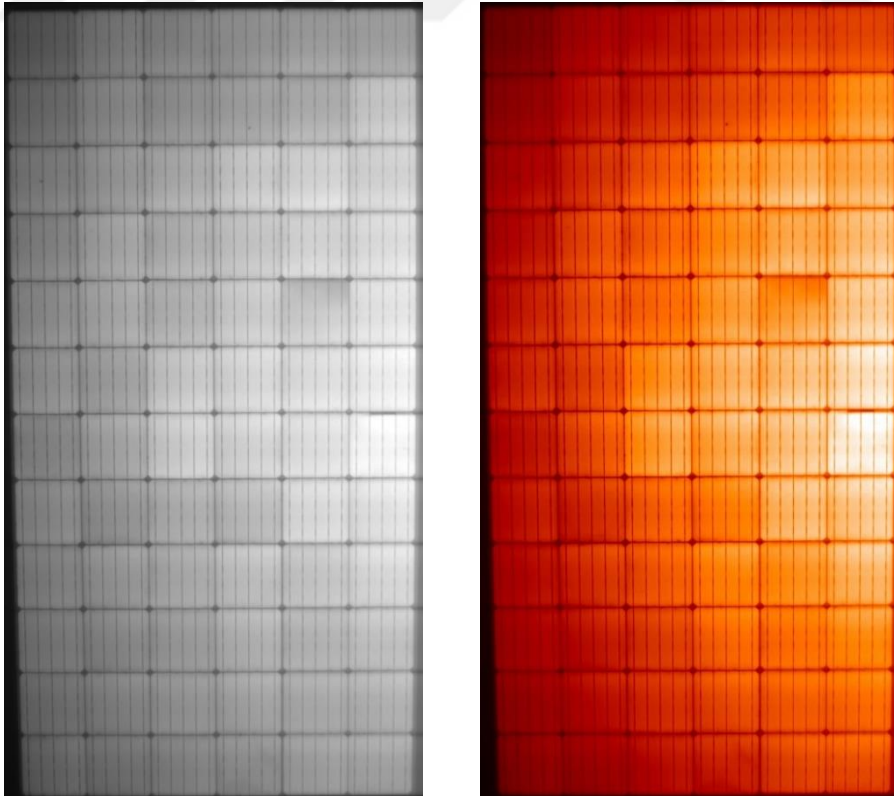
Şekil 5.27: Elektrolüminans Test Cihazı



Şekil 5.28: 45066120219 Seri Numaralı Yedek FV Panel Elektrolüminans Görüntüleri



Şekil 5.29: 46376110119 Seri Numaralı GES-7 FV Panel Elektrolüminans Görüntüleri



Şekil 5.30: 44846831118 Seri Numaralı GES-5 FV Panel Elektrolüminans Görüntüleri

Elde edilen elektrolüminans testi sonuçlarına göre; tüm panellerde kılcal çatlak ve hatalı hücreye rastlanmamıştır. Sadece Yedek ve GES-5 Panelleri üzerinde üretimden oluşabilecek birkaç adet tozdan kaynaklı zerrecik tespit edilmiştir.

5.9.3.2 FV panel IV testi

GES Sahasından gelişi güzel seçilen üç tane FV Panelin etiket değeriyle örtüştüğünü incelemek üzere IV Karakteristik ölçümleri yapıldı.

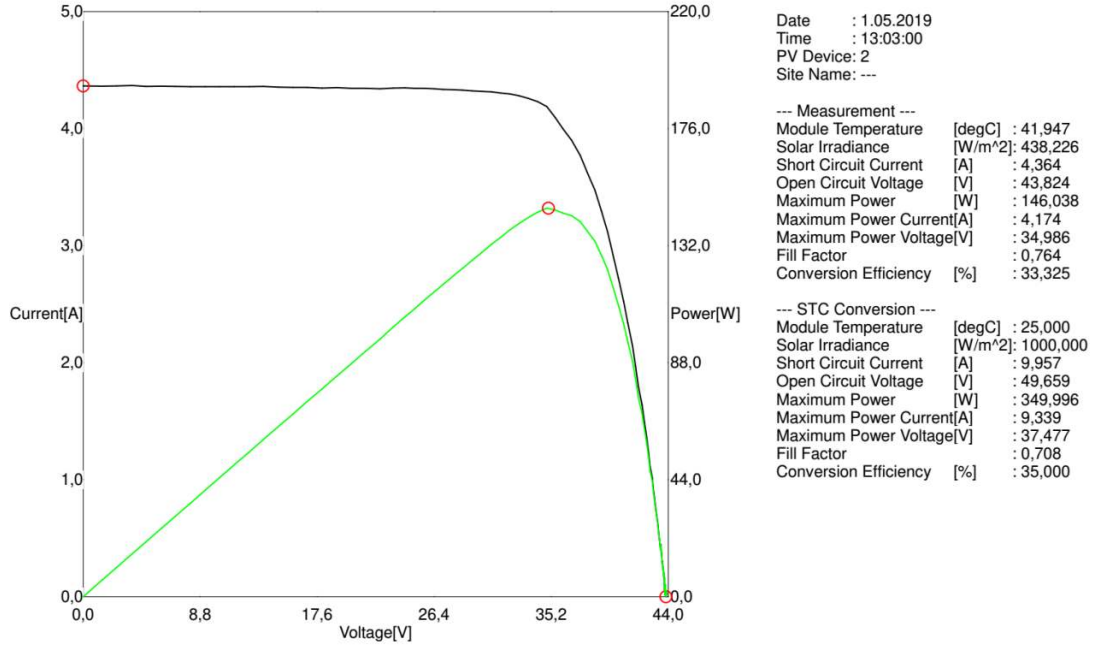
Yapılan bu test sayesinde dış ortamda FV Panellerin üretimi izlenerek panele ait IV karakteristiği ve standart test koşullarında üreteceği Güç(Wp), Akım(I) ve Gerilim değerleri belirlendi.

Test sonucunda elde edilen tüm bilgiler tarafımıza ilettiği şekliyle birebir teze aktarılmıştır.

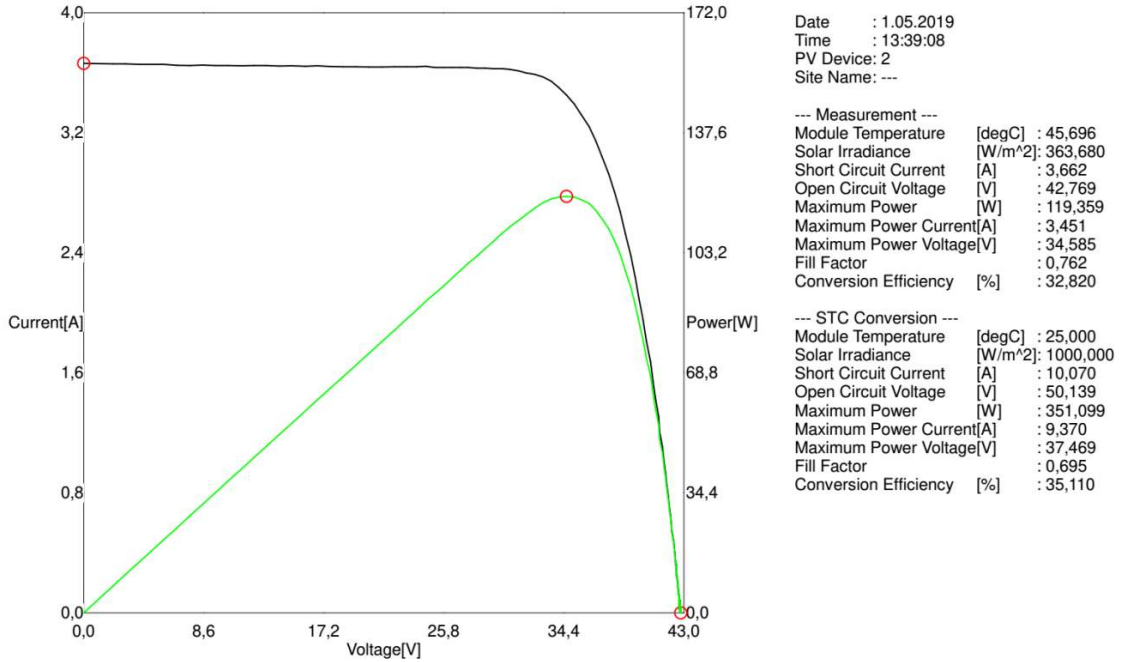


Şekil 5.31: IV Ölçüm Test Düzeneği

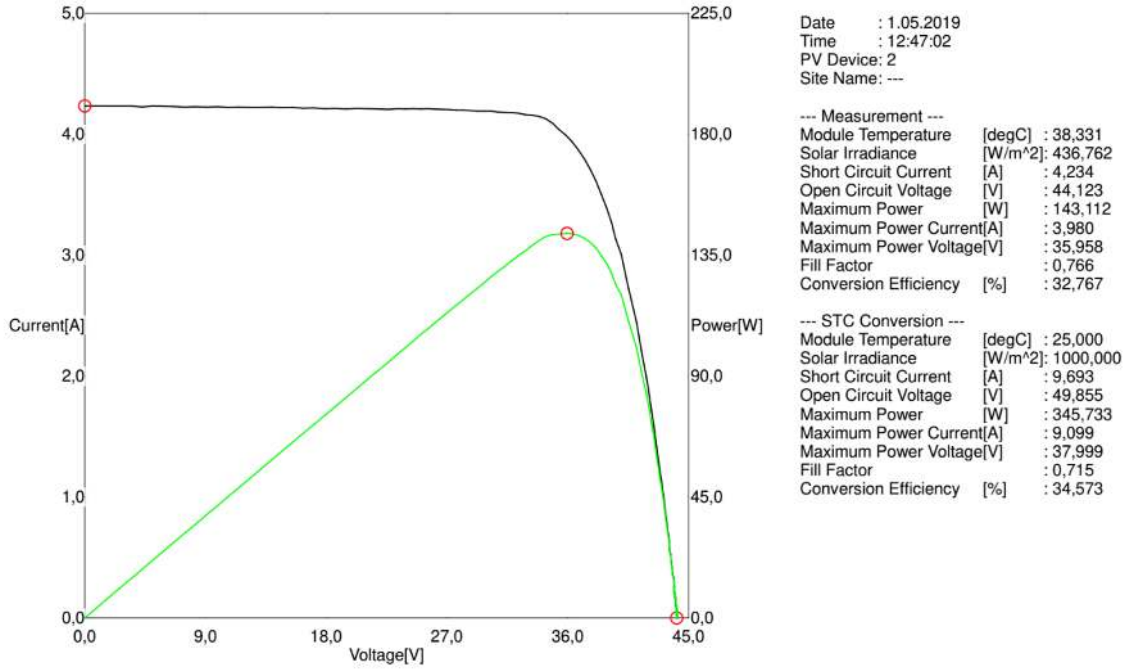
Çizelge 5.9: 45066120219 Seri Numaralı Yedek FV Panel IV Ölçüm Sonucu



Çizelge 5.10: 46376110119 Seri Numaralı GES-7 FV Panel IV Ölçüm Sonucu



Çizelge 5.11: 44846831118 Seri Numaralı GES-5 FV Panel IV Ölçüm Sonucu



Elde edilen sonuçlara göre; panellerimiz standart test koşullarında 349,996 Wp, 351,1 Wp ve 345,7 Wp ürettiği görülmektedir. Ortalama olarak üretilen güç değerlerine bakıldığında 348,932 Wp olduğu hesaplanmaktadır. Bu da 365 Wp panel için belirlenen (+-) %5 sınırları olan – %5 sınır değer olan 346,75 Wp üzerinde olduğu görülmüştür.

5.10 Trafo Köşkleri ve Şalt Malzemeleri Denetimi

Trafo köşkünde bulunan tüm komponentler ve şalt malzemelerin tarafımıza iletilen marka modellerle aynı olduğu görülmüştür.

Birçok trafo köşkü içinde bulunan AG dağıtım panosunda bulunan K.A.K(Kaçak Akım Koruma) rölesi devre dışı bırakılmış durumda. Bu rölenin çalıştırılmaması; insan ve malzeme güvenliği açısından olumsuz durumların ortaya çıkmasına neden olabilecektir. Ges-8’ de K.A.K. rölesini devreye aldığımızda 2000 amper TMS’ nin açtığı görüldü. Bu da santral’ de kaçak akımın olduğunu göstermektedir. GES-3’ te K.A.K. rölesinin ekranı çalışmamaktadır.



Şekil 5.32: Ges-3 Ekranı Çalışmayan Kaçak Akım Rölesi

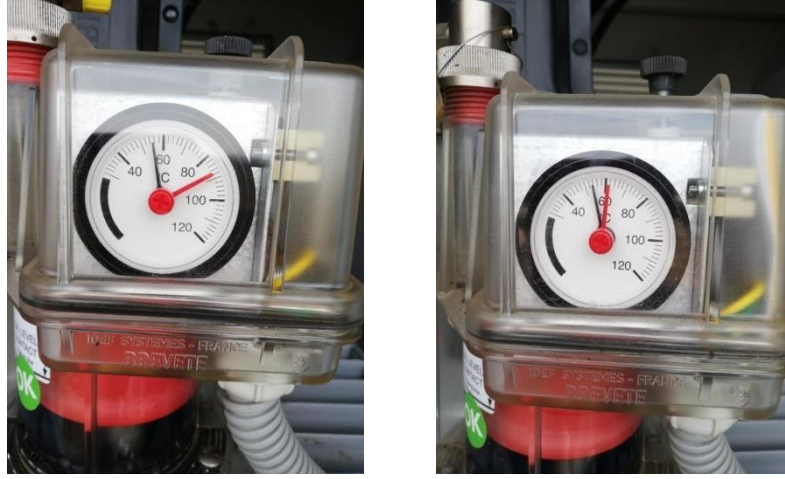
AG dağıtım hücrelerinin bazılarında; inverterlerin AC kablolarının bağlandığı TMŞ' ler fazla sıkıldığından dolayı TMŞ içinde ki bacaklarda gevşeklik oluşmuştur. Bu kısımlar zamanla ısınma ve arızalara sebebiyet verebilecektir.



Şekil 5.33: AG Dağıtım Panosundaki Gevşek TMŞ' ler

Tüm hücrelerde Lossoff main rölesinin tekrar açma süresi 5 sn olarak ayarlanmıştır. Bu süre işletme ve yönetmelikler açısından çok kısadır. Bu zaman diliminin 30 veya 40 sn olarak ayarlanması daha uygun olacaktır.

Tüm trafolarda buchholz rölesinin sıcaklık set değerlerinin birbirinden farklı olduğu tespit edilmiştir. Set değerlerinin trafo gücü ve tipine göre üreticinin belirlediği sıcaklık aralığına göre tekrardan ayarlanmalıdır.



Şekil 5.34: Set Değerleri Farklı Buchholz Röle Göstergeleri

GES-6' da İnverter 15' e ait TMS ile inverter sıralaması ve etiket kontrolleri yapılırken inverter 15' in üstünde etiketi olmadığı tespit edilmiştir. GES-6' da AG dağıtım panosu NA-03 bölmesi kapı kolu arızalıdır. GES-6 AG dağıtım panosu üzerine GES-7 etiketi vurulmuştur.

GES-4 Trafo köşkünün içerisinde kullanılan iç ihtiyaç prizlerinde aksaklık mevcuttur.



Şekil 5.35: İç İhtiyaç Prizi Problemlili Kısım

GES-7' de trafo köşkü içinde ki AG dağıtım panosu üzerindeki voltmetrenin çalışmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca AG dağıtım panosu üzerine GES-6 etiketi vurulmuştur.



Şekil 5.36: Voltmetresi Çalışmayan AG Dağıtım Panosu

GES-9’ da AG dağıtım panosunda inverterlere ait 4 adet TMS, farklı inverterleri kontrol etmektedir. TMS-12 inverter 13’ ü, TMS-13 inverter 12’ yi, TMS-14 inverter 15’ i ve TMS-15 inverter 14’ ü kontrol etmektedir.

5.11 Otomasyon Sistemi Denetimi

Otomasyon sistemi ile ilgili olarak, projeye uygunluk ve stabilite anlamında herhangi bir sıkıntı görülmemiştir.

DEDAŞ’ın istediği portlar açık olup veri alışverişi sağlandığı kontrol edilmiş ve testler başarıyla sonuçlanmıştır.

RTU tarafımıza iletilen malzeme listesinde belirtilen ABB marka olup standartlara uygundur. RTU içerisinde çalışan parametrelendirilmiş dosyanın bir nüshası yatırımcıya verilmelidir.

3G modem port yönlendirmeleri yapıldığı kontrol edilmiş ve olumlu olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 5.37: Otomasyon Panosu

5.12 Güvenlik Önerileri

Köşklere çıkabilecek bir yangın durumunda, itfaiye ekiplerinin ulaşmasının zor olmaması için santralin trafo köşkleri arasında ki servis yollarının rehabilite edilmesi doğru olacaktır.

Saha içinde stringlerin altında yangın söndürme tüplerine rastlanmamıştır. Sadece köşklere yanında büyük boyda yangın söndürme tüpü bulunmaktadır. Bu tüplerin uzak noktada kullanımı işletme açısından kolay olmayacaktır.

Saha içinde tespit edilen diğer bir husus ise; inverterlerin üzerindeki talimat ve bilgilendirici bazı tabelaların eksik olduğudur. Eksik görülen tabelalar işletme ve güvenlik açısından önem arz etmektedir. Eksik gördüğümüz bazı tabelalar aşağıda ki gibidir:



Şekil 5.38: Eksik Bilgilendirici Tabelalar

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1 Sonuçlar

Diyarbakır ilindeki 13,96 MWp kapasiteli tek eksenli izlemeli GES sahasında gerçekleştirilen ayrıntılı saha incelemeleri sonucunda, kurulum aşamasından kaynaklanan çeşitli elektriksel, mekanik ve yapısal kusurlar tespit edilmiştir. İncelenen santral, nispeten yeni kurulmasına rağmen beklenen üretim hedeflerinin altında kalmıştır ve 2025 yılında hazırlanan saha etüt çalışmasında birçok kurulum kusuru belgelenmiştir.

Termal kamera ile kızılötesi termografi analizleri, bazı güneş panellerinde sıcak nokta (hot-spot) oluşumlarını ortaya koymuştur. Bu hot-spot'ların genellikle kısmi gölgelenme (örneğin, yakınındaki paratonerin gölgesi) veya birleştirme kutusu/konnektör kaynaklı lokal ısınmalardan ileri geldiği gözlenmiştir. I-V karakteristik (akım-gerilim) ölçümleri, belirli dizi (string)lerde düzensiz eğriler göstererek panel grubunda uyumsuzluk ya da gölgelenme kaynaklı performans kaybına işaret etmiştir. Benzer şekilde, gece yapılan EL (elektrolüminesans) testleri bazı panellerde hücre düzeyinde mikro-çatıklar ve imalat/taşıma hasarları olduğunu ortaya sermiştir. Bunlara ek olarak, saha incelemelerinde kurulum ve etiketleme hataları, yalıtım eksiklikleri ve yapısal montaj kusurları da kayda geçirilmiştir. Örneğin, bazı DC kablo bağlantılarında izolasyonun yetersiz olduğu (açıkta kalan ve UV ışınlamına maruz iletkenler) ve pano içi bağlantılarda hatalı etiketlemeler bulunduğu görülmüştür. Konstrüksiyon kontrolünde ise panel taşıyıcı kelepçelerin yanlış torklanması (aşırı sıkma veya gevşek bırakma) nedeniyle birkaç modülde mikro çatlak oluştuğu ve rüzgâr yükü altında titreşim yaratabilecek gevşek civatalar olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgular genel olarak, incelenen santralde elektriksel, mekanik ve yapısal alanlarda ciddi kurulum hatalarının bulunduğunu göstermektedir.

Tespit edilen bu elektriksel, mekanik ve yapısal hatalar, santralin genel verimliliği, güvenliği ve uzun vadeli dayanıklılığı üzerinde olumsuz etkilere yol açmaktadır. Özellikle elektriksel bağlantı kusurları (örneğin gevşek konnektörler veya hatalı polarite), ilgili dizi veya panel grubunun enerji üretiminde doğrudan kayıplara neden olarak sistem verimini düşürmektedir. Kısmi gölgelenme veya arızalı hücreler, tek bir paneli etkilemesine rağmen bütün dizi

performansını sınırlar ve yıllık enerji üretimini azaltır. Bunun yanı sıra, gevşek ya da standarda uygun yapılmamış DC bağlantılar anlık yüksek dirençli temas noktaları oluşturarak ısınmaya ve aşırı akım durumlarında ark oluşumuna yol açabilir. Literatürde de vurgulandığı üzere, uygun test ve denetimlerle ortaya çıkarılmayan bu tür gizli kusurlar fotovoltaik sistemlerin performansını düşürüp ömrünü kısaltmakta, uzun vadede “sessiz” kayıplar yaratmaktadır. Dahası, özellikle doğru akım tarafındaki bağlantı hataları potansiyel olarak ark hatası ve yangın riski taşımaktadır. Nitekim ilk bakışta sistem normal çalışıyor gibi görünse de, bu tür kurulum kaynaklı problemler zamanla ciddi arızalara davetiye çıkarabilir. Uzmanlar, sektöre yeni giren pazarlarda deneyimsiz ekiplerin yaptığı hatalı kurulumlar nedeniyle bu tür sorunların daha sık yaşandığını ve FV teknolojisinin güvenilirliğini olumsuz etkilediğini belirtmektedir. İncelenen santralde saptanan bulgular da bu genel kanıyı desteklemekte olup, eğer önlem alınmazsa hem üretim kaybı hem de ekipman hasarı/güvenlik tehlikeleri yaratabileceğini göstermektedir.

Yapılan analizler neticesinde, sahada başlıca aşağıdaki problemler tespit edilmiştir:

- Gevşek elektrik bağlantıları: Panel çıkışlarında ve bağlantı kutularında tam sıkılmamış klemensler ve tam oturmamış MC4 konnektörleri, zamanla ısınma ve ark riski oluşturabilecek temas problemlerine neden olmuştur.
- Hatalı polarite bağlantıları: Birkaç dizi bağlantısında pozitif ve negatif uçların karıştırıldığı ya da ters bağlandığı görülmüş, bu durum potansiyel kısa devre riskleri ve enerji üretiminde aksamalar yaratmıştır.
- Uygun olmayan MC4 konnektör montajı: Bazı MC4 DC konnektörlerinin farklı markalarla uyumsuz şekilde eşleştirildiği veya tam kilitlenmeden bırakıldığı belirlenmiştir. Bu hatalar, yüksek geçiş direnci nedeniyle güç kayıpları ve yangın tehlikesi doğurabilir.
- Yetersiz topraklama: Topraklama hatlarında süreklilik problemleri ve bazı pano/taşıyıcı aksamın etkin şekilde topraklanmadığı saptanmıştır. Yetersiz topraklama, arıza durumlarında cihazların gövdesinde gerilim birikmesine yol açarak hem ekipman hem can güvenliği riski taşımaktadır.
- Panel gölgelenmeleri: Diziler arasında ve çevredeki yapılarda uygun planlama yapılmadığı için paneller üzerine kısmi gölge düşüren engeller (örneğin paratoner direkleri, tel örgü direkleri) tespit edilmiştir. Gölgelenen hücrelerde hotspot oluşarak

ilgili modülün performansını ciddi oranda düşürmüş ve dizi verimini olumsuz etkilemiştir.

- Hatalı kablolama ve izolasyon eksikleri: DC kabloların bazı bölümlerde taşıyıcı konstrüksiyona sürtünecek biçimde döşendiği, uygun spiral boru veya koruma kanalı kullanılmadığı görülmüştür. Ayrıca, AC ve DC kablo güzergahlarında standartlara aykırı kesit veya sigorta seçimi gibi hatalar not edilmiştir. Bu tip hatalı kablolama, enerji kayıpları yanında uzun vadede kablo yaralanmaları ve kısa devre risklerini artırmaktadır.
- Eksik veya hatalı etiketleme: Panolar, string kabloları ve AC dağıtım ekipmanlarında tutarsız veya eksik etiketlemeler bulunmuştur. Etiketleme eksikliği, bakım ve arıza durumlarında doğru müdahaleyi zorlaştırarak hem güvenlik riskine hem de arıza süresinin uzamasına neden olabilir.
- Eksik koruma ve güvenlik önlemleri: İnverter DC girişlerinde aşırı gerilim koruma cihazları (parafudr) bulunmadığı, bazı dizilerin ise uygun DC ayırıcı (disconnect) anahtarlarına sahip olmadığı tespit edilmiştir. Aynı şekilde, AC tarafta gerekli sigorta/basınçlı parafudr kombinasyonlarının eksik olduğu durumlar mevcuttur. Bu koruyucu elemanların yokluğu, yıldırım veya aşırı gerilim durumunda sistemin savunmasız kalmasına ve büyük arızalara yol açmasına sebebiyet verebilir.

Yukarıda sıralanan sorunlar incelenen santralde tespit edilmiş olmakla birlikte, literatürde ve sektörde bildirilen vakalarla da büyük ölçüde örtüşmektedir. Örneğin, TEİAŞ ve TEDAŞ tarafından yayınlanan resmi kabul/denetim raporlarında da sık karşılaşılan bulgular arasında parafudr eksikliği, uygunsuz kablo bağlantıları ve hatalı sigorta boyutlandırmaları gibi benzeri kurulum hataları rapor edilmiştir. Bu durum, fotovoltaik santrallerde karşılaşılan kurulum kusurlarının tekil örnekler olmadığını, aksine yaygın ve sistematik problemler olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, söz konusu hataların giderilmesi ve benzer hataların yeni projelerde önlenmesi, güneş enerjisi santrallerinin güvenilir işletimi için kritik önem arz etmektedir.

6.2 Öneriler

Bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular ışığında, hem incelenen tesisteki sorunların düzeltilmesi hem de genel olarak fotovoltaik santral kurulum kalite ve güvenliğinin

arttırılması amacıyla teknik ve yönetsel düzeyde çeşitli önlemler önerilmektedir. Başlıca öneriler aşağıda maddeler halinde sunulmuştur:

- Kurulum kontrol listelerinin uygulanması: Güneş paneli montajı, elektrik bağlantıları, kablo döşeme ve etiketleme adımlarını kapsayan ayrıntılı kontrol listeleri hazırlanarak kurulum sırasında uygulanmalıdır. Bu listeler, her bir bağlantının doğru polaritede yapıldığını, tüm civataların uygun tork ile sıkıldığını, konnektör kilit mekanizmalarının tam oturduğunu ve gerekli etiketlemelerin eksiksiz tamamlandığını adım adım doğrulayacak şekilde düzenlenmelidir. Böylece, insana dayalı hata olasılığı en aza indirilerek standardize bir kurulum sağlanabilir.
- Düzenli termal tarama protokolleri: İşletme aşamasında yıllık veya en azından periyodik (örneğin her bahar dönemi) kızılötesi termal kamera taramaları yapılması protokole bağlanmalıdır. Bu taramalar droneler veya elle taşınabilir termal kameralar aracılığıyla panellerin ve kritik bağlantı noktalarının sıcaklık haritasını çıkararak oluşabilecek hotspot'ları erken aşamada tespit etmeye yarar. Periyodik termografi sayesinde gizli kalmış gevşek bağlantılar ya da kısmi gölgelenme sorunları hızlıca belirlenip giderilebilir; bu da verim kayıplarının ve yangın riskinin önüne geçecektir.
- Planlı bakım ve izleme protokolleri: Santralin uzun vadeli dayanıklılığı için periyodik bakım takvimi oluşturulmalıdır. Bu kapsamda, altı ayda bir veya yıllık bakımlarda tüm vidalı bağlantıların sıkılık kontrolü, kablo izolasyonlarının durumu, topraklama direnç ölçümü ve panel yüzey temizliği gibi işlemler standart hale getirilmelidir. Bakım protokollerinde ayrıca I-V eğrisi ölçümleri ve gerekirse EL testleri de belirli aralıklarla (örneğin her birkaç yılda bir) tekrarlanarak panellerdeki performans düşümleri ve mikro çatlak ilerlemeleri izlenmelidir. Sistem performans izleme yazılımları kullanılarak invertör bazında üretilen güç değerleri düzenli analiz edilmeli ve anormal sapmalar görüldüğünde saha incelemesi yapılmalıdır.
- Eğitim ve sertifikasyon gereklilikleri: Kurulum ve bakım ekiplerinin yeterli bilgi birikimine sahip olması için düzenli eğitim programları uygulanmalıdır. Fotovoltaik sistem teknikleri, bağlantı standartları, güvenlik yönetmelikleri ve kalite kontrol yöntemleri konusunda sürekli eğitilmelidir. Ayrıca, kritik görevlerde çalışan personelin (örneğin, elektrik bağlantılarını yapan teknisyenler ve saha denetçileri) ilgili sertifikasyonlara (ustalık belgesi, IEC/IEEE eğitimleri vb.) sahip olması sağlanmalıdır.

Bu gereklilik, deneyimsiz personel kaynaklı hataların azaltılmasında önemli rol oynayacaktır.

- Sertifikalı ve uzman ekip kullanımı: GES projelerinin kurulumunda ve denetiminde, alanında tecrübeli ve sertifikalı yükleniciler tercih edilmelidir. İhale ve sözleşme aşamalarında yüklenici firmaların geçmiş projelerdeki başarıları, teknik yeterlilik belgeleri ve iş güvenliği karneleri değerlendirilmeli; mümkünse bağımsız denetçiler tarafından onaylanmış kalite belgeleri olan ekiplerle çalışılmalıdır. Proje bitiminde santral, devreye alınmadan önce bağımsız bir uzman ekip tarafından IEC 62446 gibi uluslararası standartlar çerçevesinde teste tabi tutularak doğrulanmalı, tespit edilen kusurlar tamamen giderilmeden enerji üretimine başlanmamalıdır.
- İzleme ve erken uyarı sistemlerinin iyileştirilmesi: Santralde kullanılan izleme (monitoring) sistemleri mümkün olduğunca ayrıntılı ve gerçek zamanlı olmalıdır. String bazında izleme yapabilen inverter veya veri toplama sistemleri kullanılarak, her bir dizi için akım, gerilim ve güç değerleri sürekli takip edilmelidir. Bu sayede, belirli bir dizi veya panel grubunda meydana gelen anormal bir düşüş anında fark edilerek ilgili ekipman kontrol edilebilir. Ayrıca DC tarafta ark hatası tespit cihazları veya termal sensörler gibi erken uyarı sistemleri entegre edilmesi, ortaya çıkabilecek güvenlik risklerini henüz büyümeden engelleyecektir.

Yukarıda belirtilen önerilerin hayata geçirilmesi, incelenen GES sahasında ve benzeri ölçekli fotovoltaik santrallerde kurulum hatalarının en aza indirilmesini ve mevcut kusurların giderilmesini sağlayacaktır. Böylelikle sistem genel verimliliğinin artırılması, güvenlik risklerinin azaltılması ve santral ekipmanlarının ömrünün uzatılması mümkün olacaktır. Sonuç olarak, fotovoltaik güneş enerjisi santrallerinde gerek teknik uygulama süreçlerinde gerekse yönetsel denetim mekanizmalarında kalite standartlarına uyulması, uzun vadede daha sürdürülebilir ve güvenilir bir enerji üretimi açısından kritik önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- ABB, 2014. Photovoltaic Plants, Technical Application Papers No. 10, Italy.
- ADEGBENGA EMMANUEL ADEKOYAA, ADEOLA FESTUS ADENİKİNJUA, OLUSANYA ELİSA OLUBUSOYEA, OLUWASEUN ASOLA OYERANTİA, OLUWASEUN ARAMİDE OTEKUNRİNE, IREDELE EMMANUEL OGUNBAYOA, BENJAMİN OLUSEGUN OYELAMİA, TEMİLADE SESANC, OLUFUNKE ALABAC, OREOLUWA IBUKUN AKANOA, 2023, Household food insecurity and cooking energy access in Nigeria against *Fusarium oxysporum* and its application as germination pretreatment on tomato (*Lycopersicon esculentum*), lettuce (*Lactuca sativa* L.) and cucumber (*Cucumis sativus*) seeds.
- AKDENİZ, E., KAYPMUZ, A., ve YAĞMUR, E. A., Yenilenebilir Kaynaklardan Enerji Üretiminin Şebekenin Enerji Kalitesi Üzerine Etkilerinin İncelenmesi, TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü, Gebze, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maslak, İstanbul.
- ANDERSON GIEHL, NATALIA KLANOVICZ RODRIGUES ALBARELLO, HELEN TREICHEL, ALİNE FRUMI CAMARGO, S' ERGİO LUİZ ALVES JR, 2023, Ethanol and electricity: Fueling or fooling the future of road passenger transport?
- AREZKI, S., and BOUDOUR, M., 2014. Improvement of power quality for hybrid PV-FC power supply system, 16th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition, 21-24 September, Antalya.
- ARIYO, F. K., and OMOİGUİ, M. O., 2013. Investigation of Nigerian 330 kV Electrical Network with Distributed Generation Penetration – Part I: Basic Analyses, Department of Electronic and Electrical Engineering, Obafemi Awolowo University, Ile-Ife, Nigeria, Scientific & Academic Publishing.
- BAŞOĞLU, M. E., KAZDALOĞLU, A., BİLGİN, M. Z., ERFİDAN, T., ve ÇAKIR, B., 2014. Farklı Güneş Paneli Teknolojilerinin Kocaeli ili için Performans Değerlendirmesi, Eleco 2014 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, 27 – 29 Kasım, Bursa.
- CHANG, Z., and TAO, S., 2013. Power Quality Analysis of Photovoltaic Generation Integrated in User-Side Grid, International Journal of Computer and Electrical Engineering, 5(2).
- CIOBOTARU, C.K., POPA, L. M., ISLEIFSSON, F., and BINDNER, H., 2012, Simulation Model developed for a Small-Scale PV System in Distribution Networks, Politehnica University/Automation and Computer Science, Timisoara, Romania, Denmark Technical University/Electrical Engineering, Roskilde, Denmark.
- DEMİRBAŞ, Ş., ve BAYHAN, S., 2009. Güç Sistemlerinde Harmoniklerin Gerçek Zamanlı Ölçüm ve Analizi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 24(3): 461-468.
- DIGSILENT POWERFACTORY, 2014. Digsilent Powerfactory 15 User Manuel, May 2014, Germany.
- DING M. and WU X., Three-phase Probabilistic Power Flow in Distribution

- DÍANA V. MELO-SABOGAL, ERIKA N. GARCÍA-S´ANCHEZ ESMERALDA CONTRERAS-MORALES, DÍANA ALONSO-SEGURA, DAPHNE OJEDA-RODRÍGUEZ, ANDR´ ES SALINAS-BOTELLO YUNNY MEAS, VÍCTOR M. HERN´ANDEZ-PÍMENTEL**, 2023, In vitro assay of neutral electrolyzed water
- DÍPTIMAYEE JENA, BAMADEV MAHAPATRA**, 2023, Exploring the effects of energy consumption on millets and rice yields in Odisha, India
- DUGAN, R. C., MCGRANAGHAN, M. F., SANTOSO, S., and BEATY, H. W.**, 2004. Electrical Power Systems Quality, Second Edition, McGraw-Hill Companies.
- EHARA, T., MIZUHO INFORMATION, and RESEARCH INSTITUTE**, 2009. Overcoming PV Grid Issues In Urban Areas, IEA PVPS Task 10, Activity 3.3, Report IEA-PVPS T10-06, Japan.
- ELTAWIL, M.A., and ZHAO, Z.**, 2009. Grid-connected photovoltaic power systems: Technical and potential problems - A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, 14:112–129.
- EPDK**, 2012. Elektrik Dağıtım ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği, 21 Aralık 2012, 28504 Sayılı Resmi Gazete.
- EPDK**, 2013. Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik, 2 Ekim 2013 Çarşamba, 28783 Sayılı Resmi Gazete.
- HAİFA SAADAOUİ, EMNA OMRI**, 2023, Towards a gradual transition to renewable energies in Tunisia: Do foreign direct investments and information and communication technologies matter?
- JACOB OTİM, SUSAN WATUNDU, JOHN MUTENYO DEPARTMENT OF ECONOMICS, KYAMBOGO UNIVERSITY, KAMPALA, UGANDA, VİNCENT BAGİRE, MUYİWA S ADARAMOLA**, 2023, Effects of carbon dioxide emissions on agricultural production indexes in East African community countries: Pooled mean group and fixed effect approaches
- JOAO GARİBALDİ ALMEİDA VIANA GARRASTAZU RİBEİRO, CLAUDİA ALESSANDRA PEIXOTO DE BARROS, JEAN PAOLO GOMES MİNELLA, CLAUDİA, CONRADO FLECK DOS SANTOS CLAUDİO MARQUES RİBEİRO, VİCENTE CELESTİNO PİRES SİLVEİRA**, 2023, Sustainability attributes from the water-energy-food nexus: An application to livestock systems in the Brazilian Pampa biome
- KHALED OSMANİ, AHMAD HADDAD MOHAMMAD ALKHEDHER, THIERRY LEMENAND, MOHAMAD RAMADAN**, 2023, A critical review of PV systems' faults with the relevant detection methods
- L.S. MADHUSHANİA, T.N. DHARMAPRIYAA, B.D.P. DHARAKAA, M.P. DEEYAMULLAB, N. PRIYANTHAC**, 2023, Chemical composition of rainwater at three sites in Kandy/Peradeniya, Sri Lanka, and its effect on air pollution
- MİCHAEL LARBİ ODAME, ANTHONY AMOAH**, 2023, Household exposure to the risk of cooking smoke: Evidence from Sub-Saharan Africa

- MICHAEL VAN LAL CHHANDAMA ALONGKRITA CHUMPI CHETIA, JOSEPH V L RUATPUA, KUMUDINI BELUR SATYAN, SUPONGSENLA AO, SAMUEL LALTHAZUALA ROKHUM**, 2023, Microalgae as a sustainable feedstock for biodiesel and other production industries: Prospects and challenges
- MOHAMED ELWARDANY, A.M. NASSIB, HANY A. MOHAMED, MR. ABDELAAL**, 2023, Energy and exergy assessment of 750 MW combined cycle power plant: A case study
- OLUWAFIKAYO O. JAIYEOLA, HAMZA ANNATH, CHIRANGANO MANGWANDI**, 2023, Synthesis and evaluation of a new CeO₂@starch nanocomposite particles for efficient removal of toxic Cr(VI) ions
- RAHIMAT O. YAKUBU PETER ACHEAMPONG, DAVID A. QUANSAH, LENA D. MENSAH, MUYIWA S. ADARAMOLA, WISDOM AHATAKU-TOGOBO**, 2023, Comparison of ground-based and floating solar photovoltaic systems performance based on monofacial and bifacial modules in Ghana
- RAKESH NARAYANA SARMA, RAVIKRISHNAN VINU**, 2023, An assessment of sustainability metrics for waste-to-liquid fuel pathways for a low carbon circular economy
- SAHIL SAHIL, PALANISAMY KARVEMBU, RATNEET KAUR, PRIYA KATYAL URMILA GUPTA PHUTELA**, 2023, Enhanced biogas production from rice straw through pretreatment with cellulase producing microbial consortium
- ŞENYURT, Ö.**, 2005. Elektrik Tesislerinde Harmonikler, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Semineri, Ankara.
- ŞİMŞEK, B.**, 2013. Konya Sanayi Odası Lisanssız Elektrik Üretimi Bilgilendirme Toplantısı Projelerin Teknik Olarak Değerlendirilmesi, 22 Ocak, Konya.
- ŞİMŞEK, B.**, 2014. Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliğinde Mevzuat, Proje Hazırlanması ve Kabul İşlemleri, SOLARTR, 19-21 Kasım, İzmir.
- TAMILSELVI ELANGO, ANBURAJ JEYARAJ RAJAKUMAR GOVINDASAMY, KAVYA PRATHAP, HARIPRIYA DAYALAN, XINGHUI LI**, 2023, Influence of shading intensity on chlorophyll, carotenoid and metabolites biosynthesis to improve the quality of green tea: A review
- TEDAŞ**, 2007. Trafo Merkezleri OG-AG Güç Kalitesi Ölçüm Teknik Şartnamesi, Ekim 2007.
- WEI-HSIN CHENA, SHU-CHENG LIA, AMIT KUMAR SHARMAD, JOON CHING JUANE, AYYADURAI SARAVANAKUMARF**, 2023, An investigation of water gas shift reaction in a Pd-alloy membrane reactor with an optimized crossflow configuration
- XIAOJIE XU, YUN ZHANG**, 2023, Edible oil wholesale price forecasts via the neural network

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad

:Yasin KORUN

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2011, Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** :
- **Doktora** :

MESLEKİ DENEYİM:

- 2011-2012 Tokat Türk Telekom Şantiye Şefi
- 2013-2014 Malatya Toki Kentsel Dönüşüm Kontrol Mühendisliği
- 2014-2020 Malatya Çalık Denim Elektrik Bakım Mühendisi
- 2020- Milli Savunma Üniversitesinde Elektrik Elektronik Mühendisi