



T. C.

SIVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNDE TASARIM, KURULUM
HATALARI VE İŞLETME AŞAMASINDA YAŞANAN ARIZA
DURUMLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şafak KÖLEMENOĞLU

(20209233018)

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mustafa ŞEKER

SİVAS

NİSAN 2024

Şafak KÖLEMENOĞLU 'nun hazırladığı ve “**GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNDE TASARIM, KURULUM HATALARI VE İŞLETME AŞAMASINDA YAŞANAN ARIZA DURUMLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı Doç. Dr. Mustafa ŞEKER

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Jüri Üyesi Doç. Dr. Serdar KOÇKANAT

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Jüri Üyesi Dr. Öğr. Üyesi Cemal KELEŞ

İnönü Üniversitesi

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nevcihan GÜR SOY

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.





Bütün hakları saklıdır.

Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Şafak KÖLEMENOĞLU, 2024

ETİK

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

26/04/2024

Şafak KÖLEMENOĞLU

TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince değerli bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım danışman hocam Sn. Dç. Dr. Mustafa ŞEKER'e tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

Tüm çalışma boyunca gösterdikleri ilgiden dolayı;

Okul dönemi boyunca bana destek veren Tedaş 8.Bölge Müdürü Sn.Tayyar AKBULUT'a ve Tedaş 8.Bölge Müdür Yardımcısı Sn.Coşkun KARACA'ya teşekkür ederim.

Arıza ve bakım raporunun hazırlanması ve değerlendirilmesinde katkısı bulunan Ekinox Enerji Şirketi'ne şükranlarımı sunarım.

Çalışmamı yürüttüğüm sırada en zor anlarımızı paylaştığım arkadaşlarım Mehmet SAYIN'a, Dilek Dirlik AKSOY'a, Ahmet Turan KARAKAŞ'a ve bu çalışmanın dışarda yürüttüğüm kısımlarında bana her türlü ikramda ve destekte bulunan Amade Cafe çalışanı Kürşat ÖZGÜ'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Beni bugünlere getiren aileme, biricik eşime ve çocuklarıma, her zaman yanımda oldukları, beni destekledikleri, sabrettikleri ve sevdikleri için teşekkürler...

Bu tezi sevgili anneme ve babama ithaf ediyorum...

ÖZET

GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNDE TASARIM, KURULUM HATALARI VE İŞLETME AŞAMASINDA YAŞANAN ARIZA DURUMLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Şafak KÖLEMENOĞLU

Yüksek Lisans Tezi

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dç. Dr. Mustafa ŞEKER

2024, 148+xx sayfa

Güneş enerjisi santralleri çevreci, düşük maliyetli, yüksek seviyede bir karlılık ve kapasite elde edilebilen enerji alanı olması, işletmesi, bakımı ve kurulumu en kolay tesisler olarak ön plana çıkmaktadırlar. Santrallerin tasarım, montaj, kurulum, işletme ve projelendirmesinde yapılacak planlamalar ve buna bağlı olarak alınacak tedbirler, santralin üretim aşamasında yaşanabilecek arızaların önüne geçilmesini, hedeflenen verim düzeyini, üretilen enerji miktarını, kalitesini ve sürekliliğini olumlu yönde etkilemektedir. Tasarım, kurulum ve işletme aşamasında belirlenen hata, arıza ve olumsuzlukların önlenmesi veya asgari zarar düzeyine düşürülmesi, yapılacak çeşitli önlemlerle mümkün olabilir. Bu tez çalışmasında, güneş enerji santrallerinin tasarım, kurulum ve işletme aşamasında yaşanabilecek arıza durumları ile tesislerin montajı sırasında karşılaşılan genel hataların, güneş santrallerinde yarattığı kayıplara yer verilmiştir. Bu çalışmada ek olarak, bir santralde meydana gelen 2 yıllık arıza ve bakım onarım sonuçları takip edilerek incelenmiş ve santrallerin tasarım, kurulum ve işletme aşamalarında yapılan hataların bu sonuçları nasıl etkilediğine yer verilmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında, 100 kWe bir PV santralin maruz kalabileceği yıldırım aşırı gerilimlerinin etkisi Matlab/Simulink yardımı ile modellenerek incelenmiştir. Sonuç olarak bu çalışmada, Güneş enerji santrallerinde tasarım, kurulum hataları ve işletme aşamasında yaşanabilecek arızalar değerlendirilmiş, bu olumsuzluklara karşı yapılması gerekenler hakkında öneriler ve bilgiler sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Güneş enerjisi, santral hatası, enerji, tasarım, işletme bakım hataları, güneş santrali tasarım ve kurulum hataları

ABSTRACT

EVALUATION OF DESIGN, INSTALLATION ERRORS AND FAULTS IN SOLAR POWER PLANT DURING OPERATION PHASE

Şafak KÖLEMENOĞLU

Master Of Science Thesis

Department of Electrical and Electronic Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mustafa ŞEKER

2024, 148+xx sayfa

Solar power plants are environmentally friendly, low cost, high level of profitability and capacity can be achieved in the field of energy, operation, maintenance and installation are the easiest facilities to come to the fore. The planning to be made in the design, assembly, installation, operation and projecting of the power plants and the measures to be taken accordingly positively affect the prevention of failures that may occur during the production phase of the power plant, the targeted efficiency level, the amount of energy produced, the quality and continuity. It may be possible to prevent or minimise the faults, failures and adversities determined during the design, installation and operation phase by various measures to be taken. In this thesis, the failure conditions that can be experienced during the design, installation and operation phase of solar power plants and the losses caused by the general errors encountered during the installation of the plants are included. In addition, 2-year failure and maintenance and repair results of a power plant are analysed and how the errors made during the design, installation and operation phases of the power plants affect these results are included in this study. In addition, within the scope of the study, the effect of lightning overvoltages that a 100 kWe PV power plant may be exposed to is examined by modelling with the help of Matlab/Simulink. As a result, in this study, design, installation errors and failures that may be experienced during the operation phase in solar power plants are evaluated and suggestions and information about what to do against these negativities are presented.

Key Words: Solar energy, power plants error, energy, design, operating maintenance errors, solar power plants design and installation errors.

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|-----------|
| TEŞEKKÜR | vi |
| ÖZET | vii |
| ABSTRACT..... | viii |
| İÇİNDEKİLER | ix |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | xv |
| TABLolar DİZİNİ | xviii |
| SİMGELER DİZİNİ..... | xix |
| KISALTMALAR DİZİNİ | xx |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1. Amaç ve Kapsam | 2 |
| 1.2. Yöntem..... | 3 |
| 1.3. Literatür Araştırması | 3 |
| 2. GÜNEŞ ENERJİSİ | 7 |
| 2.1 Fotovoltaik Sistemlerin Tarihsel Gelişimi | 7 |
| 2.2 Dünya’da Fotovoltaik Sistemler | 8 |
| 2.3 Türkiye’de Fotovoltaik Sistemler | 15 |
| 2.4 FV Sistem Yatırım Finansmanı Teşvik ve Hibeler | 23 |
| 2.4.1 Küresel Yenilenebilir Enerji Finansmanı | 23 |
| 2.4.2 Mali Teşvikler ve Kamu Finansmanı | 26 |
| 2.4.3 Türkiye’de Yeşil Tahvilleri Teşvik Etmek için Öneriler | 28 |
| 3.MALZEME VE METOD..... | 29 |
| 3.1. Fotovoltaik Sistem Elemanları | 29 |
| 3.1.1. Güneş Fotovoltaik Dizisi..... | 29 |
| 3.1.2. Solar Hücrelerine Göre Fotovoltaik Panel Tipleri | 32 |
| 3.1.3. Fotovoltaik Modül Elektriksel Özellikleri | 33 |

| | |
|---|-----------|
| 3.2 Panel Taşıyıcı Sistem | 35 |
| 3.3 Elektriksel Bağlantı | 35 |
| 3.4 Solar Evirici | 37 |
| 3.4.1 Merkezi Evirici | 37 |
| 3.4.2 Dizi Evirici | 39 |
| 3.4.3 Mikro Evirici | 39 |
| 3.4.4 Merkezi ve Dizi Eviricilerin Karşılaştırılması | 40 |
| 3.4.5 Eviricilerde Verimlilik ve Elektriksel Özellikler | 42 |
| 3.5 Batarya (Opsiyonel) | 45 |
| 3.6 Şarj Kontrol Ünitesi (Opsiyonel) | 47 |
| 3.7 Fotovoltaik Sistemlerde Enerji Döngüsü | 48 |
| 3.8 Fotovoltaik Sistemlerin Kurulum Tipleri | 50 |
| 3.8.1 Arazi Tipi Fotovoltaik Sistemler | 51 |
| 3.8.2 Çatı Üstü Fotovoltaik Sistemler | 52 |
| 3.8.3 Kanal Üstü Fotovoltaik Sistemler | 53 |
| 3.8.4 Açık Deniz Fotovoltaik Sistemleri | 54 |
| 3.8.5 Yüzer Fotovoltaik Sistemler | 55 |
| 4. GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNDE TASARIM HATALARI | 58 |
| 4.1. Fizibilite Analizi Hataları | 59 |
| 4.1.1. Teknoloji Seçiminde ve Kurulabilir Kapasite Çalışması Hataları | 60 |
| 4.1.2. İklim Veri Seti ve Üretim Profili Oluşturulmaması Hataları | 61 |
| 4.1.3. Kullanılabilirlik Oranı ve Performans Oranı Hesabı Hataları | 61 |
| 4.2. Diğer Fizibilite Hataları | 62 |
| 5. GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNDE KURULUM HATALARI | 66 |
| 5.1 Santral Arazisinde Kurulum Hataları | 66 |
| 5.1.1 Güneş Panellerinin Kurulum Hataları | 66 |

| | |
|--|-----------|
| 5.1.2 Eviricilerin kurulum hataları | 67 |
| 5.1.3 Beton Köşk ve Trafo kurulum hataları..... | 68 |
| 5.1.4 Güneş Santrallerinde Yıldırımdan Korunma ve Topraklama Hataları..... | 69 |
| 5.1.4.1 Dış Yıldırımlık Sisteminde hatalar | 69 |
| 5.1.4.2. İç Yıldırımlık Sistemi hataları | 69 |
| 5.4.1.2.1 Boost Konvertör | 73 |
| 5.1.4.3. Eş potansiyel Sistem hataları | 74 |
| 5.1.4.4 Topraklama Sistemi hataları..... | 75 |
| 5.1.5 Santral Kablolama ve Numaralandırma Hataları | 76 |
| 5.1.6 Santral Bağlantı Hattı Hataları | 77 |
| 6. GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNDE İŞLETME AŞAMASINDA YAŞANAN | |
| ARIZA DURUMLARI VE DEĞERLENDİRME | 78 |
| 6.1. Güneş Enerjisi Santral Sistemlerinde Arızalar..... | 78 |
| 6.1.1. Güneş Enerji Santrallerinde Arıza Yönetimi..... | 79 |
| 6.1.2. GES Arıza ve Hasar Türleri | 79 |
| 6.1.3. Güneş Enerji Santrali Arızalarının Tespiti | 80 |
| 6.1.4. Güneş Paneli Arızaları..... | 80 |
| 6.1.4.1. Güneş Paneli Kırılması..... | 81 |
| 6.1.4.2. Güneş Panellerinde İnverter Arızaları | 81 |
| 6.1.4.3. Solar Panellerde Delaminasyonlar İle İç Korozyonlar | 82 |
| 6.1.4.4. GES Ark Arızaları | 82 |
| 6.1.4.5. Güneş Paneli Topraklama Arızaları | 82 |
| 6.1.5. Güneş Paneli Hasar Tespiti | 83 |
| 6.1.6. Güneş Enerjisi Santrali Arızasının Hukuki Tarafı | 84 |
| 6.1.7. Güneş Paneli Tamiri Gerektiren Durumlar | 84 |
| 6.2. Güneş Enerji Santrallerinde İşletme Aşaması Bakım Kapsamı..... | 85 |

| | |
|--|-----|
| 6.2.1. Solar İşletme Bakım | 86 |
| 6.2.2. Denetleme..... | 88 |
| 6.2.3 Termografik İnceleme | 89 |
| 6.2.4. El İnceleme..... | 91 |
| 6.2.5. Solar panellerdeki çatlaklar ve mikro çatlaklar | 92 |
| 6.2.5.1 Güneşe enerjisi panellerinde kristal ayrışıklığı (inhomogeneity):..... | 94 |
| 6.2.5.2 Arızalı kenar izolasyonu:..... | 94 |
| 6.2.5.3 Solar hücre üzerindeki elektron iletim şebekesindeki kopukluklar:..... | 95 |
| 6.2.6 Panel Kirliliği ve Çözüm..... | 96 |
| 6.2.7. Güneş Enerjisi Santralinde Bakım Kapsamı | 98 |
| 6.2.7.1 Periyodik Bakım Tanımı ve Bakım Periyodu..... | 98 |
| 6.3.Güneş Enerji Santrallerinde Yaşanan Kayıplar..... | 98 |
| 6.3.1 Solar Panellerle İlgili Kayıplar | 98 |
| 6.3.1.1. Işınım Kayıpları | 99 |
| 6.3.1.2. Modül Düzleminin Açısından Kaynaklı Kayıplar | 99 |
| 6.3.1.3. Güneş Spektrum Kayıpları | 99 |
| 6.3.1.4 Yansımadan Kaynaklanan Kayıplar | 100 |
| 6.3.1.5. Gölgelemeden Kaynaklanan Kayıpları..... | 100 |
| 6.3.1.6 Tozlanma ve Karlanma Nedeni İle Kayıplar | 101 |
| 6.3.2. Sistemin Kayıpları..... | 102 |
| 6.3.3 Modüllerin Teknik Özelliklerindeki Değişikliklerle İlgili Kayıplar | 102 |
| 6.3.4 Düşük Seviye Işınım İlgili Kayıplar | 103 |
| 6.3.5 Sıcaklıktan Kaynaklanan Kayıplar | 103 |
| 6.3.6 Uyumsuzluklarla İlgili Kayıplar..... | 103 |
| 6.4. Solar PV Modülü Kayıpları | 104 |
| 6.4.1 Büyük kusurlar ve arızalar | 106 |

| | |
|---|------------|
| 6.4.2 Gofret Veya Hücre Hatalarından Kaynaklanan Kayıplar..... | 106 |
| 6.4.3 Kapsüllemelerle İlgili Kayıplar | 109 |
| 6.4.4 Sıcak Noktalarla İlgili Kayıplar..... | 111 |
| 6.4.5 İletken Şeritler ve Bağlantı Hatalarından Kaynaklanan Kayıplar | 112 |
| 6.4.6 Modüllerin Ömrü İle İlgili Kayıplar..... | 113 |
| 6.4.7 Kablolama Nedeni İle İlgili Kayıplar | 113 |
| 6.4.8 İnverter Kayıpları | 114 |
| 6.4.9 DC/AC Çevrimi Verim Kayıpları | 114 |
| 6.4.10 Güç Sınırlamalarından Kaynaklanan Kayıplar..... | 114 |
| 6.4.11 Maksimum Güç Noktası (MPPT) Kayıpları..... | 115 |
| 6.4.11.1 Statik Maksimum Güç Noktası Kayıpları | 115 |
| 6.4.11.2 Dinamik Maksimum Güç Noktası Kayıpları..... | 115 |
| 6.4. Yıldırım aşırı gerilimlerinin fotovoltaik sistemler üzerindeki etkisinin incelenmesi çalışması | 116 |
| 7. BULGULAR VE TARTIŞMA..... | 119 |
| 7.1. 24/04/2020 - 08/01/2022 Yılları Arasında Güneş Enerjisi Santralinde İşletme Aşamasında Yaşanan Arızalar İle Bakım Kapsamında Tespit Edilen Bazı Arızaların Gerçek Ölçümlerle Yapılan Analizleri..... | 119 |
| 7.1.1. Olaylar | 119 |
| 7.1.1.1. Panel Üzerindeki Lekelenmeler..... | 119 |
| 7.1.1.2. İzolasyon Hatası | 121 |
| 7.1.1.3. Toroid Hatası | 122 |
| 7.1.1.3. Evirici Soğutma Kanalları ve Havalandırma Kanalları Kirliliği | 122 |
| 7.1.1.4. Panel Kirliliği | 123 |
| 7.1.1.5. İşletme Topraklaması Arızası..... | 124 |
| 7.1.1.6. Gerilim Düşümü | 125 |
| 7.1.1.7. Ges Dağıtım Panosundaki Ana Devre Kesici..... | 125 |

| | |
|--|------------|
| 7.1.1.8. Arızalı İverter | 126 |
| 7.1.1.9. İverter Odası ve Panel Temizliği | 127 |
| 7.1.1.10. Termal Ölçümler | 128 |
| 7.1.1.11. Aşırı akım ve Sıcak Nokta Tespiti | 128 |
| 7.1.1.12. Konnektör Gevşek Bağlantı Arızası | 129 |
| 7.1.1.13. Panel Kirliliği | 129 |
| 7.1.1.14. Gevşeyen Tutucular | 130 |
| 7.1.1.15. Rutin Bakım Kontrol | 131 |
| 7.1.1.16. Ana Devre Kesici Arızası | 131 |
| 7.1.1.17. İverter Devre Kesici Arızası | 132 |
| 7.1.1.18. Paneller Üzerinde Canlı Hayvan Kirliliği | 133 |
| 7.2. Arıza Durumları İçin Yapılan Kontroller | 133 |
| 8. SONUÇLAR | 135 |
| KAYNAKLAR | 137 |
| ÖZGEÇMİŞ | 148 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | |
|--|----|
| Şekil 2.1. Net Sıfır Senaryosunda güneş enerjisi üretimi, 2010-2030..... | 9 |
| Şekil 2.2. Net Sıfır Senaryosunda güneş enerjisi kapasitesi, 2010-2030 | 11 |
| Şekil 2.3. Teknolojiye göre net yenilenebilir kapasite artışı, 2017-2023. | 12 |
| Şekil 2.4. Dünya’da 2000 – 2016 yılları arasındaki FV kurulu kapasite miktarları..... | 13 |
| Şekil 2.5. Dünya’da 2001 – 2016 yılları arasındaki FV kapasite artış miktarları. | 13 |
| Şekil 2.6. 2016 yılı verilerine göre en büyük kurulu FV kapasitesine sahip ülkeler..... | 14 |
| Şekil 2.7. Dünya’da 2009 – 2016 yılları arasında gerçekleşen ve 2017 – 2025 yılları arasında gerçekleşmesi öngörülen FV sistem maliyet kırılımları[17]. | 14 |
| Şekil 2.8. 2011-2022 yılları arasında güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu güç değişimi | 15 |
| Şekil 2.9. 2011-2022 yıllarında güneş enerjisine dayalı kurulu gücün toplam kurulu güç içindeki oranları[19]..... | 16 |
| Şekil 2.10. Türkiye’deki kurulu gücün yıllara göre değişimi..... | 18 |
| Şekil 2.11. Türkiye’de 2011-2021 yılları birincil enerji kaynaklarına göre kurulu gücün değişimi. | 18 |
| Şekil 2.12. Türkiye’nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası [GEPA]..... | 19 |
| Şekil 2.13. Türkiye’nin aylara göre global radyasyon değerleri (kWh/m ² -gün) ve ortalama güneşlenme süreleri (saat)[23]. | 20 |
| Şekil 2.14. Türkiye’de FV panel tipine göre birim alanda üretilebilecek yıllık enerji miktarları (kWh/yıl)[24]..... | 20 |
| Şekil 2.15. Türkiye’nin 2016 yılı Ocak ayı itibari ile lisanssız FV kurulu gücü ve santral sayısı [25]. | 21 |
| Şekil 2.16. Türkiye’nin 2017 yılı Ocak ayı itibari ile lisanssız FV kurulu gücü ve santral sayısı [26]. | 22 |
| Şekil 2.17. Temiz Enerji ve Enerji Verimliliğine Küresel Yatırım, 2017-2021[28]..... | 25 |
| Şekil 2.18. Yenilenebilir Enerji Kapasite Yatırımlarının Finansman Kaynakları (milyar ABD\$) [30]. | 27 |
| Şekil 3.1. 1.Çatı Tipi Fotovoltaik Sistem Bileşenleri[32]. | 29 |
| Şekil 3.2. Güneş hücresinden bir FV dize sisteme elektriksel bağlantı sırası ile bileşenlerin şeması[33]..... | 32 |
| Şekil 3.3. Örnek bir panel kesiti[34]..... | 33 |

| | |
|---|----|
| Şekil 3.4. FV hücrelerde Akım-Gerilim ve güç- gerilim eğrilerinin sıcaklığa bağlı değişimi. | 34 |
| Şekil 3.5. Panel taşıyıcı sistem örnekleri. | 35 |
| Şekil 3.6. Örnek Evirici Bağlantıları[35]. | 36 |
| Şekil 3.7. Kare dalga uygulanarak yapılan anahtarlama ile çıkış gerilim ve akım dalga formları. | 37 |
| Şekil 3.8. Merkezi tip solar evirici örneği. [36]. | 38 |
| Şekil 3.9. Dizi tipi solar evirici örneği[37]. | 39 |
| Şekil 3.10. Merkezi ve dizi eviriciler ile örnek bir fotovoltaik sistem tasarımı[38]. | 42 |
| Şekil 3.11. Bir fotovoltaik sistemin IV ve PV özelliklerine sahip güç voltajı eğrisi[39]. | 43 |
| Şekil 3.12. MPPT’li evirici sistemi[40]. | 44 |
| Şekil 3.13. Maksimum güç noktası takip algoritması[41]. | 45 |
| Şekil 3.14. Fotovoltaik sistemde üretilen enerjiyi depo eden bataryalar [42]. | 47 |
| Şekil 3.15. Fotovoltaik sistemde enerji döngüsü. [43]. | 49 |
| Şekil 3.16. FV sistemlerde üretimden tüketime enerji döngüsü. [44]. | 49 |
| Şekil 3.17. Arazi kurulumu fotovoltaik sistem örneği[45]. | 50 |
| Şekil 3.18. Karatabanlı fotovoltaik sistem örneği. | 52 |
| Şekil 3.19. Fabrika binaları için çatı üstü fotovoltaik sistem örneği[46]. | 53 |
| Şekil 3.20. Kanal üstü fotovoltaik sistem örneği[47]. | 54 |
| Şekil 3.21. Açık deniz fotovoltaik sistem örneği[48]. | 55 |
| Şekil 3.22. Yüzer fotovoltaik sistem örneği[49]. | 57 |
| Şekil 4.1. Güneş Enerji Santralleri Kontrol Listesi ve Tasarım[50]. | 59 |
| Şekil 4.2. Sabit ve İzlemeli Konstrüksiyon Sistem Karşılaştırması[51]. | 60 |
| Şekil 4.3. Güneş Enerji Santralleri Meteorolojik Veri Seti Değerleri[52]. | 61 |
| Şekil 4.4. Güneş Enerji Santralleri PR Doğrulama 53]. | 62 |
| Şekil 5.1. Güneş Enerji Santrallerinde Dış Yıldırım Koruma Düzenneği[54]. | 69 |
| Şekil 5.2. Yıldırımın PV santral üzerine çarpması ve Yıldırım darbesinin PV modül üzerindeki etkisi. | 70 |
| Şekil 5.3. 8/20 µs yıldırım akımı dalga formu. | 72 |
| Şekil 5.4. Değiştir ve Gözlemle algoritması akış şeması | 73 |
| Şekil 5.5. a-DC-DC Boost Dönüştürücü, b-Tek faz H köprü evirici. | 74 |
| Şekil 5.6. Güneş Enerji Santrallerinde Genel Topraklama Düzenneği[62]. | 75 |
| Şekil 5.7. Güneş Enerji Santrallerinde DC Kablolama[63]. | 76 |

| | |
|--|-----|
| Şekil 6.1. Güneş enerjisi santrallerinde ortaya çıkabilecek kayıplar[68]. | 116 |
| Şekil 6.2. Modellenen 100 kWe PV Sistem | 117 |
| Şekil 6.3. 64 paralel ve 5 seri dizi yapısında tasarlanması durumunda fotovoltaik panellerin akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) karakteristikleri..... | 118 |
| Şekil 6.4. Yıldırım aşırı geriliminin korumalı ve korumasız olarak kapasitör üzerindeki potansiyel etkisi..... | 118 |
| Şekil 7.1. Panel Üzerinde Lekelenmeler | 119 |
| Şekil 7.2. Panel Kirliliği | 120 |
| Şekil 7.3. Panel Kirliliği | 120 |
| Şekil 7.4. a- Kirliliğin Tepit Edildiği Panel b- Panelin Termal Görüntüsü | 121 |
| Şekil 7.5. İzolasyon Hatası | 122 |
| Şekil 7.6. Bakım Öncesi | 123 |
| Şekil 7.7. Bakım Sonrası | 123 |
| Şekil 7.8. Panel Kirliliği | 124 |
| Şekil 7.9. İşletme Topraklaması Hatası..... | 124 |
| Şekil 7.10. Gerilim Düşümü Hatası..... | 125 |
| Şekil 7.11. Devre Kesici Kurma Motoru Arızası | 126 |
| Şekil 7.12. Arızalı İnvvertör ve Hata Kodu..... | 127 |
| Şekil 7.13. Panel Kirliliği | 127 |
| Şekil 7.14. Termal Arıza ve Sıcak Nokta Taraması | 128 |
| Şekil 7.15. Konnektör Bağlantısı Gevşeklik Arızası..... | 129 |
| Şekil 7.16. Konnektör Arızası | 129 |
| Şekil 7.17. Santral kirliliğininin termal analizi..... | 130 |
| Şekil 7.18. Panel Tutucu Arızası | 131 |
| Şekil 7.19. Baralarda Yetersiz Tork Arızası..... | 131 |
| Şekil 7.20. TMS Arızası | 132 |
| Şekil 7.21. Santral Ekipmanlarının Termal Arıza Tarama Görüntüleri | 132 |
| Şekil 7.22. Canlı Hayvan Kirliliği..... | 133 |

TABLÖLAR DİZİNİ

| | |
|---|----|
| Tablo 1. Toplam kurulu güç birincil kaynaklar santral sayıları dağılımı ve güç miktarları[20]..... | 16 |
| Tablo 2. Türkiye’de 2011-2021 yılları birincil enerji kaynaklarına göre kurulu gücün değişimi[21]..... | 19 |
| Tablo 3. Büyük ölçekli küresel FV pazarlarında çatı üstü kurulum kapasitelerinin, toplam kapasiteye oranı.[27]. | 23 |
| Tablo 4. Sistem Parametreleri | 71 |



SİMGELER DİZİNİ

Twh :Terawatt saat

GW :Gigabayt

MW :Megawatt

W :Watt

X :Xışım

V :Volt



KISALTMALAR DİZİNİ

| | |
|--------------|---|
| TEDAŞ | : Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi |
| TEİAŞ | : Türkiye Elektrik İletim A.Ş. |
| LÜY | : Lisanssız Üretim Yönetmeliği |
| GES | : Güneş Enerji Santrali |
| GEPA | : Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası |
| PV | : Güneş enerjisi fotovoltaik sistemleri |
| IEA | : Uluslararası Enerji Ajansı |
| IRENA | : Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı |
| BM | : Birleşmiş Milletler |
| WBG | : Dünya Bankası |
| WHO | : Dünya Sağlık Örgütü |
| M.Ö | : Milattan Önce |
| M.S | : Milattan Sonra |
| DC | : Doğru gerilim |
| AC | : Alternatif Gerilim |
| PWM | : Darbe Genişliği Modülasyonu |
| MPPT | : Maksimum Güç Noktası İzleme |
| Pmax | : Maksimum Güç |
| Voc | : Açık Devre Gerilimi |
| Isc | : Kısa Devre Akımı |
| Vmp | : Maksimum Güç Gerilimi |
| Imp | : Maksimum Güç Akımı |
| FF | : Doldurma Faktörü |
| DoD | : Pilin deşarj derinliği |
| Ah | : Amper-saat |
| OSB | : Organize Sanayi Bölgesi |
| HDPE | : Yüksek yoğunluklu polietilen |
| İSG | : İş Sağlığı ve Güvenliği |

| | |
|--------------------------------|--|
| YG | : Yüksek Gerilim |
| AG | : Alçak Gerilim |
| SCADA | : Gözetleyici Kontrol ve Veri Toplama Sistemi |
| VTS | : Veri Toplama Sistemi |
| IEC | : Uluslararası Elektroteknik Komisyonu |
| EL | : Elektrolüminesans Görüntüleme |
| EPC | : Elektronik Güç Kontrolü |
| UV | : Morötesi ya da ultraviyole ışınım |
| NIR | : Yakın kızılötesi spektroskopi |
| ISO | : Uluslararası Standartlar Teşkilatı |
| IR | : Kızılötesi |
| İnhomogeneity | : Güneşe enerjisi panellerinde kristal ayrışıklığı |
| HD | : Yüksek tanımlı video |
| I-V Curve | : Bir akım-voltaj karakteristiği |
| AM | : Ante meridiem |
| c-Si | : Kristal Silikon |
| CIS | : Bakır İndiyum Selenide |
| CdTe | : Kadmiyum Tellür |
| a-Si | : Amorf silisyum |
| nm | : Nanometre |
| MPP | : Maksimum Güç Noktası |
| LMPP | : Yerel Mpp |
| GMPP | : Global Mpp |
| STK | : Maksimum Ön yüz Çıkış Gücü |
| Watt Peak,Wp | : Fotovoltaik bir güç birimi |
| γPmpp | : STK da güç sıcaklık değerleri |
| ηSTC | : STK'da verim |
| W/m² | : Solar Radyasyon Birimi |
| LID | : Işık ve ışınım kaynaklı bozulmalar |

| | |
|--------------|-------------------------------------|
| PID | : Potansiyelden kaynaklı bozulmalar |
| EVA | : Etilen vinil asetat |
| J-box | : Bağlantı kutusu |
| ARC | : Yansımaları önleyici kaplama |
| VA | : Volt Amper karakteristikleri |
| UV | : Ultraviyole radyasyonu |
| EVA | : Etilen-Vinil-Asetat |
| PET | : Polietilen tereftalat |
| CIGS | : Bakır İndiyum Galyum Selenit |



1. GİRİŞ

Güneş enerji santrallerigüneş gibi sınırsız bir enerji kaynağına sahip olması ve karbon salınımına neden olmadan enerji üretimini sağlayan tesislerdir. güneş enerji santralleri çevre dostu olmalarının yanında kurulu bulunduğu ülkelere maddi ve ekolojik açıdan pozitif yönde değer katmaktadır. Özellikle yenilenebilir enerji olarak kullanılan Güneş Enerji Santrallerinin kurulumu ülkelerin teknolojik ilerleme durumları, kalkınma ve bu konudaki bilgileri ile ilişkilidir. Güneş Enerjisi sektöründe dünyada son yıllarda yaşanan gelişmeler ülkelerin gösterdiği idari kararlar ve kitlesel bilinçlendirme ile çoğalmaktadır. Küresel enerji üretim karışımında enerji geçişine yönelik devam eden ilerleme, yenilenebilir kapasitedeki değişim yenilenebilir enerjilerin fiili enerji seçimi olduğunu yeniden teyit etmektedir. Son küresel krizlerin ve jeopolitik şokların etkilerine rağmen yeni enerji üretimi için enerji sektörü, 2022 'nin sonunda yenilenebilir enerji, küresel kurulu güç kapasitesinin %40'ını oluşturmaktadır. Birçok enerji planlaması, yenilenebilir enerjinin en önemli elektrik kaynağı olarak belirlenmesi için üretim - şebeke esnekliği ve değişken yenilenebilir enerjiye uyum dâhil olmak üzere birçok konuyu ele almalıdır. Güneş ve rüzgâr enerjisinin büyümesine bağlı olarak yenilenebilir enerji kapasitesinde 2022 yılı itibari ile bugüne kadarki en büyük artışı görülmüştür. Dünya yenilenebilir enerji stoğuna neredeyse 295 gigawatt (GW) artmıştır ve bu artış yenilenebilir enerji stokunu %9,6 arttırmakla birlikte, küresel enerji ilavelerinin %83'üne denk gelmektedir. Bu gelişmeler, fosil yakıtlı elektrik santrallerinin daha fazla devre dışı bırakılması anlamını taşımaktadır. Sadece güneş enerjisi rekor bir yükselişle 192 GW seviyesinde gerçekleşmiş ve yenilenebilir ilavelerin neredeyse üçte ikisini oluştururken, 75 GW ile rüzgar, 2020'de gerçekleşen 111 GW'dan biraz yavaşlayarak sektöre eklenmiştir. Yenilenebilir kapasite alanındaki artışlar, dünya çapındaki ülkeler için cesaret verici ulusal enerji planlama stratejilerini yenilenebilir kaynakları destekleyecek şekilde yeniden tasarlamaya yöneltmiştir. Ancak yenilenebilir kaynakların rolünü artırmak için daha fazla potansiyele ihtiyaç vardır. Küresel sıcaklığı sınırlama yolunda kalmak ve sanayi öncesi seviyelere ulaştırmak için dünyanın yılda 1000 GW'den fazla temiz enerji daha üretmesi gerekmektedir. Bu ihtiyacı karşılamada, 2050 yılına kadar yenilenebilir kapasite ilavelerinin yarısından fazlasını güneş enerjisinin oluşturması planlanmaktadır. Bu iddialı bir hedef olsa da ihtiyaç duyulan ile uygulanan arasındaki uçurum genişlemesine rağmen, 2022 yılı için dünyada bildirilen kapasite ilerlemesi, sektörün bu gücü dönüştürmek için devam eden küresel çabaları

yansıtmaktadır. İleriye baktığımızda, dünya çapında dağıtılmış elektrik üretimi ile yenilenebilir enerji santralleri kapasitesinde çok daha hızlı bir büyüme göstermesi beklenmektedir[1]. Dünya'nın en büyük enerji santrallerine sahip ülkelerin yanında, Türkiye güneş enerji sistemlerinin kullanılmasında son altı yılda büyük bir atılım yapılmıştır. Haziran 2022 sonu itibariyle güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü 8,479 MW ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı %8,35 olmuştur. Yıllara göre kurulu güç değişimi incelendiğinde ise 2014 yılında 40 MW olan kapasite Haziran 2022 tarihinde 8479 MW olarak bildirilmiştir. Toplam kurulu güç içerisindeki oranı ise 2014 yılında 0,06 olan bu oran 2022 yılında %8,35 olarak gerçekleşmiştir[2]. 2023 yılı hedeflerine göre ülkemiz, yenilenebilir enerji sistemleri içerisinde bulunan güneş enerji santralleri hedefini 63000 MW olarak belirlemiştir.

Güneş enerjisi santrallerindeki tasarım, kurulum hataları ve işletme arıza koşullarının değerlendirilmesi, bu santrallerin verimliliğini, güvenilirliğini ve güvenliğini sağlamanın açısından kritik önem taşımaktadır. Güneş enerjisi santralleri güneşten elde edilen yenilenebilir enerjiyi elektriğe dönüştürerek sürdürülebilir enerji kaynaklarına geçişte önemli bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte, her karmaşık altyapı gibi güneş enerjisi santralleri de tasarım kusurlarına, kurulum hatalarına, performanslarını ve uzun ömürlülüklerini tehlikeye atabilecek çeşitli arıza modlarına karşı hassas ve dayanıklı olması, bunlarla ilgili süreçlerde hata yapılmaması gerekir. Bu nedenle, santrallerle ilgili potansiyel sorunları belirlemek, bunları düzeltmek ve arıza riskini azaltmak için önleyici tedbirleri anlamak ve uygulamak, optimum çalışmayı sağlamak ve güneş enerjisi altyapısına yapılan yatırımın geri dönüşünü en üst düzeye çıkarmak için daha kapsamlı değerlendirme süreçleri gereklidir.

1.1. Amaç ve Kapsam

Bu tez çalışmasının amacı, Güneş enerji santrallerinin tasarım, montaj, kurulum ve projelendirmesinde yapılan hataları, yanlış planlamaları, santrallerin işletme aşamasında yaşanabilecek arızaları, hedeflenen verim düzeyine erişimlerini, üretilen enerji miktarını, kalitesini ve sürekliliğini olumsuz etkileyen durumları ayrıntılı olarak ortaya koymaktır. Ayrıca bu çalışma, PV santrallerin bütün bu aşamalarındaki olumsuzluklara ve uygulama hatalarına bağlı olarak, tesislerde yaşanan yıldırım aşırı gerilimlerinin etkilerini araştırarak, bu konuda yapılması gerekenleri kapsamlı olarak ortaya koyarak ve çeşitli önerilerde sunulmuştur.

1.2. Yöntem

PV santrallerinde keşif, tasarım ve projelendirme aşamasında yapılan hata ve yanlışlıklar, Tedaş tarafından yapılan görevlendirmelerle bizzat sahadan edinilmiş verilere ve tecrübelerine dayanmaktadır. Ayrıca tasarım ve projelendirme hataları konusunda PVsol ve Autodesk Programında incelenen çok sayıda gerçekleştirilmiş projeler üzerinde tespit edilen ve yapılan hatalar çalışmaya dâhil edilmiştir. Proje ve tasarım aşamaları incelenen PV santrallerde, sahadaki kurulumlarından sonra denetim ve kabul mahiyetinde bizzat gidildiği için bu durum, yapılacak yanlış ve hataları gözle görülecek şekilde, cep telefonu kamerası, video görüntüleri ile kayıt etme edilmiştir. Ayrıca çalışmamızın “Güneş Santrallerinde Yıldırımdan Korunma ve Topraklama Hataları” ile ilgili 5. Bölümünde bulunan İç Yıldırım Hataları kısmında, yıldırım aşırı gerilimlerinin değerlendirilmesi için Matlab Simulink Programı ile 100 kWe gücünde bir santral tasarlanmış ve tasarlanan tesise 1.2/50 μ s’lik 10 kA genliğe sahip yıldırım akımı dalga forma maruz kalması durumundaki etkiler incelenmiştir. Bu çalışmada oluşturulan PV hücrelerin modellenmesinde ise, tek diyotlu eşdeğer devre modeli kullanılmış, PV sistemlerin maksimum güç noktasında çalıştırılabilmesi için DC-DC boost konvertör yapısı ve Mosfet’i tetikleyecek izleme algoritması olarak değiştir ve gözlemle algoritması (P&O), PV modüllerin maksimum güç noktasının izlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir optimizasyon algoritması olarak kullanılmıştır. Ayrıca bu çalışmada DC enerjinin AC enerjiye dönüştürülmesinde H-köprülü evirici kullanılmıştır ve elde edilen sonuçlar tez çalışmasının son bölümünde sunulmuştur. Ayrıca çalışmanın son bölümünde, bir santralde İşletme aşamasında bakım ve arıza verilerini elde etmek için bir Firma ile görüşülerek arıza ve bakım kayıtları sahadan elde etmek için, hemde sahadan elde edilen veriler ve analizler için termal kamera, drone, pensampermetre, megger cihazı, sistemin analizörü ve elektronik ölçüm cihazları kullanılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen veriler ve teknik değerlendirmeler çalışmanın bulgular ve tartışma kısmında detaylı olarak ele alınmıştır.

1.3. Literatür Araştırması

Güneş enerjisi santrallerinde tasarım, kurulum hataları ve arıza durumlarının değerlendirilmesi konusu, bilim insanları ve araştırmacıları tarafından sektörün yeni olması nedeni ile son yıllarda ilgi çeken bir konu olmuştur. Bu alanda gerçekleştirilen çalışmalar genellikle ekipman bazında, daha çok santrallerin verimini etkileyen ekipman performansları ve analizleri üzerine yapılmıştır. İlgili bilim insanlarının

kapsamlı bir çalışma yapabilmesi için daha yeni bir stratejik alan olan yenilenebilir tesislerinin zamana yayılan bir veri geçmişine sahip olması beklenir. Bu alanda bazı önemli ve kilit araştırmaları olan kurumlar vardır. Fraunhofer Güneş Enerjisi Sistemleri Enstitüsü (ISE), merkezi Almanya'da bulunan bu enstitü olup, tasarım, kurulum ve performans değerlendirme çalışmaları da dâhil olmak üzere güneş enerjisi sistemleri üzerine kapsamlı araştırmalar yürütmektedir. Güneş enerjisi santrali işletimi ve bakımının çeşitli yönlerini ele almaya odaklanmaktadır. Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) ise Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunmaktadır ve güneş enerjisi de dâhil olmak üzere yenilenebilir enerji teknolojilerinde araştırma ve geliştirme çalışmaları yürütmektedir. Tasarım ve kurulum konularına ilişkin araştırmalar da dâhil olmak üzere güneş PV sistemlerinin performansını ve güvenilirliği konusunda çalışmalar gerçekleştirmektedir. ABD merkezli bir başka kurum olan Sandia Ulusal Laboratuvarları, güneş enerjisi sistemlerinin güvenilirliği ve performansı üzerine araştırmalar yürütmekte ve çalışmaları genellikle arıza modlarını belirlemeye, performans verilerini analiz etmeye ve sistem güvenilirliğini artırmak için stratejiler geliştirmeye odaklanmaktadır. Avrupa Fotovoltaik Endüstrisi Birliği (EPIA) EPIA da, Avrupa'da güneş fotovoltaik teknolojisinin geliştirilmesini ve yaygınlaştırılmasını teşvik etmektedir. Tasarım ve kurulum uygulamalarının değerlendirilmesi de dâhil olmak üzere güneş enerjisi santrali işletmesinin çeşitli yönleri hakkında raporlar ve çalışmalar yapmaktadırlar. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) IEA, güneş enerjisi de dâhil olmak üzere çeşitli enerji konularında işbirliğine dayalı araştırma programları yürütmektedir. Raporları genellikle güneş enerjisi santrali tasarımı, kurulumu ve işletimi ile ilgili analiz ve tavsiyeleri içermektedir. Dünya çapındaki üniversiteler ve araştırma kurumlarındaki çok sayıda araştırmacı, güneş enerjisi santrallerindeki tasarım ve kurulum konularının anlaşılmasına katkıda bulunmaktadır. Bu araştırmacıların çalışmaları ekipman bazında modelleme ve simülasyon, arıza analizi ve performans optimizasyonu gibi konuları kapsamaktadır. Bu tez konusuna ilişkin, santrallere ilişkin bütüncül yaklaşımli içeren bir çalışma literatürde tam olarak sunulmamıştır fakat bazı bilim insanları bu alanda yaptıkları çalışmalar ile katkı sunmaktadır.

Kurtz ve arkadaşları, Fotovoltaik güvenilirlik için kapsamlı teknik standartların oluşturulabilmesi için tasarımın amaca uygulamak için uygun hale getirilmesini (iklim bölgesi ve montaj konfigürasyonu), PV modülü üretiminde gerekli kalite yönetim sistemlerini ve uygun tasarım, kurulum, devreye alma ve PV sistemlerinin işletilmesi

olarak olmak üzere üç farklı konu üzerine çalışarak, Uluslararası Elektroteknik Komisyonu aracılığıyla bu standartların uluslararası düzeyde uygulanması için bir yol belirlemişlerdir[3].

A. Woyte ve S. Goy, bir PV enerji santralının düzgün bir işletim sırasında performansını sağlayan başlıca olguları gözden geçirerek, bunları kontrol edebilme olanaklarını tartışmıştır. Santral ana ekipmanlarının seçimine ve boyutlandırılmasına özellikle dikkat etmiş ve devreye alma sürecine, tesisleri farklı şekilde devreye alma aşamalarının kabullerine ilişkin teknik kriterlerle birlikte, ayrıntılı bir şekilde tartışmışlardır. PV tesislerin işletmeye almanın önemine vurgu yapmışlardır. Son olarak bakım stratejisini ve lojistik konusunda daha somut uygulamalara odaklanarak tesislerin işletme ve bakımını ilişkin konuları değerlendirmişlerdir [4].

Çubukcu ve Gümüş ise, Türkiye'nin doğusunda yer alan nominal gücü, Fotovoltaik santral referans verimini, dizi verimini, nihai verimi, invertör verimliliğini, yakalama kaybını, sistem kaybını, sistem verimliliğini, kapasite faktörünü, performans oranını ve yıllık nihai verim gibi performans parametreleri açısından değerlendirilmiştir. 2017 yılında 3519,98 MWh enerji üretilmiş olan bir PV santralin ortalama nihai verimini, ortalama performans oranı, sistem verimliliği ve kapasite faktörü sırasıyla 4,53 saat/gün, %81,15, %13,18 ve %18,86 olarak belirlemişlerdir. Ayrıca çalışmalarında, gerçek zamanlı analizin yanı sıra enerji tahmini ve performans analizi de benzetim yollarıyla uygulayarak, Dünyanın farklı yerlerinde bulunan diğer PV santralleri ile karşılaştırmışlar ve sonuçta güneşlenme ile çevre koşullarının PV santral performansını etkileyen temel faktörler olduğu sonucuna varmışlardır [5].

Okeu ve Al Ghaithi çalışmalarında, PV sistemlerde meydana gelebilecek olası arızaları dikkate alarak, 6,2 MW'lık şebekeye bağlı güneş fotovoltaik sistemin PV performansını, üç dahili dinamik arıza olan, toz birikmesi, invertör arızası ve hatalı koruma şemalarına dayandırarak, elektriksel parametreleri, veri analizi, gerilim, frekans, güç faktörü ve toplam çıkış gücü değişkenlerini izleyerek değerlendirmiştir. Çalışmalarında, Güneş PV hücreleri yüksek oranda kirlenmeye ve toza maruz kaldığında, tesis performansı keskin bir şekilde düşerek enerji üretimini %43,5 oranında düşürdüğünü, invertör arıza veri analizi, koruma planlarının arızalanması nedeniyle aynı dönemde ortalama enerji üretiminin %34 oranında azaldığını ve ortalama enerji üretimi kaybının ise %1 oranında azaldığını ortaya koymuşlardır. Gerçekleştirdikleri çalışmalar neticesinde, toz birikimi

ve invertör arızasının, çalışma sırasında güneş enerjisi PV'lerinin düşük güç verimliliğine yol açabilecek iki ana etken olduğunu belirlemişlerdir [6].

Rahman ve arkadaşları ise yaptıkları PV hücrelerin bozulma nedenlerini araştırmış oldukları çalışmalarında, PV santrallerde sıcaklık, nem, toz, renk değişikliği, çatlaklar ve tabakaların ayrılması gibi birçok yaşlanma faktörünü gibi birçok parametreyi analiz ederek incelemiştir. Analiz sonucunda hücrelerin kullanım ömrü, verimliliği, malzeme bozulması, aşırı ısınması ve uyumsuzluk dahil olmak üzere yaşlanma faktörlerinin güneş PV performansı üzerindeki etkileri eleştirel bir şekilde değerlendirmişlerdir. Ayrıca, güneş enerjisi santrallerinde yaşlanmayla ilgili temel dezavantajlarını, sorunları ve zorluklarını, yerine getirilmemiş araştırma ihtiyaçlarını belirlemek için değerlendirmeler sunmuşlardır. Çalışmalarında, yaşlanma sorunlarının üstesinden gelmek ve güneş enerjisi sistemlerinin sürdürülebilir yönetimini ve işletimini sağlamak için bazı önerilerde bulunmuşlardır[7].

PV santrallerde karşılaşılan ve yapılan hatalarla ilgili olarak ayrıca kullanılmayan aşırı gerilim cihazları neticesinde, PV modüllerin yıldırım darbesine maruz kalması birçok araştırmacı tarafından inceleme konusu olmuştur. Naxakis ve çalışma arkadaşları, yıldırım darbesi altında mono kristal PV modülün performansını değerlendirmiştir. Gerçekleştirmiş olduğu incelemelerde 144 kV yıldırım darbesinde PV modülün tamamen hasar gördüğü ve elektriksel özelliklerinin bozulduğunu belirlemişlerdir. Ardından 12 kV ve 35 kV'a kadar IEC 61730-2'ye göre yapılan testlerde, PV modüllerde belirgin bir bozulma olmadığını belirlemişlerdir[8] T.Jiang ve Gryzbowski'nin ise PV modülünün mümkün olan en yüksek güç çıkışının yıldırım darbe gerilimleriyle üstel olarak azaldığını bulmuştur. Düşük yıldırım darbe gerilimi seviyelerinde bile, sonuçlar PV modülünün elektriksel olarak bozulduğunu ancak 1000V gerilim için modüllerin herhangi bir anormal hasara sahip olmadığını göstermiştir[9]. Sekioka[10] ise yıldırım çarpmalarında çerçeveli PV panellerin yüzeylerinde yük oluştuğunu ve PV panellerin korunmasının dikkate alınmasını önermiştir. Hem Belik[11] hem de Abdul Rahim ve diğerleri[12] indüklenen voltaj oluşumunun dolaylı yıldırımdan kaynaklandığını ve kablolar ile PV modülleri arasında yüksek voltajlı bir kıvılcıma neden olduğunu ve böylece PV paneline ciddi şekilde zarar verdiğini vurgulamıştır[13].

2. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş enerjisi, kurulumunun kolay, çevreyi kirletmemesi ve zararlı atık oluşturmaması nedeni ile temiz bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde bulunan füzyon aşaması ile (hidrojen gazının helyuma dönüşmesi) meydana gelen ışıma enerjisidir. Güneş, tahmini olarak $3,9 \times 10^{26}$ W güç oluşturan, temiz ve sınırsız bir enerji kaynağıdır. Güneşten aktarılan bu enerjinin az bir seviyesi Dünya'ya ulaşabilmektedir. Atmosferde her metrekareye yaklaşık 1.367 W güç aktarılmaktadır. Atmosfere verilen bu ışınların genellikle X ve ultraviyole ışıklardan meydana gelen bir kısmı kullanılırken bir miktarı da yansıtılmaktadır. Bu denli büyük bir enerji kaynağının kullanılması adına ülkemizde yapılan çalışmalar, diğer ülkelerde olduğu gibi son yıllarda oldukça artmıştır. Toplumlar fosil kaynakların sınırlı rezervlerinin olması ve yanmaları sonucu çevrede neden olduğu zararlardan kurtulmak için temiz ve sınırsız enerjiye yönelmektedir. Bu nedenle güneş enerjisinden ısı ve elektrik elde edebilmek için fazlaca bir araştırma ve edimler gün geçtikçe hız kazanmıştır. Güneş enerjisinden elektrik elde etmek için yöntemler olmasına rağmen pratik ve genel kabul gören yöntem olarak güneşten gelen ışık kaynağının doğrudan elektriğe dönüştüğü fotovoltaik sistemlere rağbet edilmektedir. Güneş enerjisinden faydalanma hususundaki çalışmalar 1970'lerden sonra artmıştır, genellikle çalışmalar sonucu güneş enerjisi düzeneklerinde, teknolojiye uygun olumlu değişiklikler ve maliyet bakımından düşüşler gözlenmiştir, çevreye zarar vermeyen, zararlı atık oluşturmeyen temiz ve sınırsız enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir[14]. Fotovoltaik sistemler, güneş ışığından gelen enerji parçacıklarını elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir. Bu sistemlerde fotovoltaik paneller, fotovoltaik panellerin içerisinden ise yüksek adetlerde fotovoltaik hücreler kullanılmaktadır.

2.1 Fotovoltaik Sistemlerin Tarihsel Gelişimi

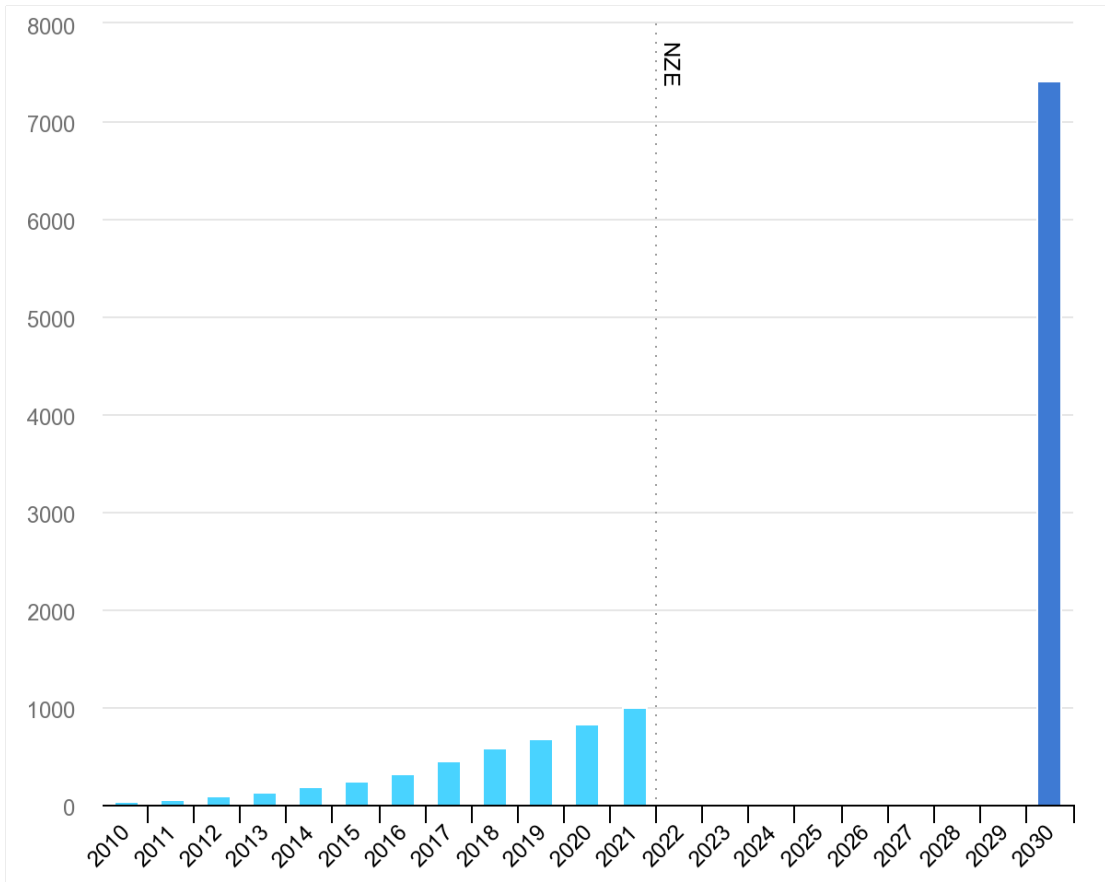
Teorik olarak bakıldığında, insanoğlu MÖ 7. yüzyılın başlarında büyüteç malzemelerini kullanarak ateş yakmak için güneş ışığını kullandığını söylenebilir. Daha sonra, MÖ 3. yüzyılda, Yunanlılar ve Romalıların dini törenler için meşaleleri yakmak için aynalarla güneş enerjisinden yararlandıkları bilinmektedir. Bu aynalar, "yanan aynalar" olarak adlandırılan normalleştirilmiş bir araç haline gelmiştir. Çin uygarlığı MS 20'de aynaları aynı amaçla kullandığını belgelerde rastlamakda mümkündür. Bugün hala popüler olan güneş enerjisinin bir başka erken kullanımı, binalarda "güneş odası" kavramıydı. Bu güneş odaları(sunrooms), güneş ışığını tek bir yoğun alana yönlendirmek için büyük

pencereler kullanmaktadır. Tipik olarak binaların güneşe bakan tarafında yer alan ikonik Roma hamamlarından bazıları güneşlenme odalarıydı. MS 1200'lerin sonlarında, Anasazi olarak bilinen Pueblo Yerli Amerikalılarının ataları, soğuk kış aylarında güneşin sıcaklığını yakalamak için kayalıklarda güneşe bakan meskenlere yerleştiler. 1700'lerin sonlarında ve 1800'lerde araştırmacılar ve bilim adamları, uzun yolculuklar için fırınlara güç sağlamak için güneş ışığını kullanarak başarılı oldular. Ayrıca güneş enerjisiyle çalışan buharlı gemiler üretmek için güneşin gücünden yararlandılar. Nihayetinde, güneş panelleri çağından binlerce yıl önce bile, güneşin gücünü manipüle etme kavramının yaygın bir uygulama olduğu açıktır. Güneş paneli teknolojisinin gelişimi, çeşitli bilim adamlarının bir dizi katkısını alan yinelemeli bir gelişmeydi. Doğal olarak, tam olarak ne zaman yapıldıkları ve buluş için kime itibar edilmesi gerektiği konusunda bazı tartışmalar vardır. Bazı insanlar, güneş pilinin icadını, iletken bir çözeltiye iki metal elektrot yerleştirildiğinde ışığın elektrik üretimini artırabileceğini belirleyen Fransız bilim adamı Edmond Becquerel'e borçludur. "Fotovoltaik etki" olarak tanımlanan bu atılım, selenyum elementi ile sonraki PV gelişmelerinde etkili oldu. 1873'te Willoughby Smith, selenyumun fotoiletken potansiyele sahip olduğunu keşfetti ve William Grylls Adams ve Richard Evans Day'in 1876'da selenyumun güneş ışığına maruz kaldığında elektrik ürettiğini keşfetmesine yol açtı. Birkaç yıl sonra, 1883'te, Charles Fritts aslında selenyum gofretlerden yapılmış ilk güneş pillerini üretti - bazı tarihçilerin Fritts'i güneş pillerinin gerçek icadı olarak kabul etmesi bu nedenledir. Ancak bugün bildiğimiz şekliyle güneş pilleri selenyumdan değil silikondan yapılmaktadır. Bu nedenle, bazıları güneş panellerinin gerçek icadının Daryl Chapin, Calvin Fuller ve Gerald Pearson'ın 1954'te Bell Laboratuvarlarında silikon fotovoltaik (PV) hücreyi yaratmasına bağlı olduğunu düşünmektedir. Birçoğu, bu olayın PV teknolojisinin gerçek icadı olduğunu, çünkü bir elektrikli cihaza günün birkaç saati gerçekten güç sağlayabilen bir güneş enerjisi teknolojisinin ilk örneği olduğunu iddia edilmektedir. İlk silikon güneş pili, güneş ışığını modern hücrelerin kapasitesinin dörtte birinden daha az olan yüzde dört verimlilikle dönüştürebilir[15].

2.2 Dünya'da Fotovoltaik Sistemler

Solar PV üretimi 2021'de rekor bir düzeyde 179 TWh (%22 artış) artarak 1.000 TWh'yi aşmıştır. 2021'de tüm yenilenebilir teknolojilerin rüzgârdan sonra ikinci en büyük mutlak üretim artışını elde ettiği görülmektedir. Solar PV, dünyanın birçok yerinde yeni elektrik üretimi için en düşük maliyetli seçenek haline gelmektedir ve önümüzdeki

yıllarda yatırımlarının dahada artırması beklenmektedir. Ancak, 2050 yılına kadar net sıfır emisyon senaryosunu takip etmek için 2022-2030 döneminde ortalama yıllık üretim artışının %25 olması planlanmaktadır. Bu durum 2030 yılına kadar yıllık kapasite dağıtımında üç kattan fazla bir artışa karşılık gelmekte ve özellikle şebeke entegrasyonu ve politika, düzenleme ve finansman zorluklarının hafifletilmesi alanlarında hem kamu hem de özel sektör paydaşlarından çok daha fazla çaba göstermesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Aşağıda 2010-2030 yıllarında net sıfır senaryosunda güneş enerjisi üretimini grafiksel olarak Şekil 2.1.'de verilmiştir.



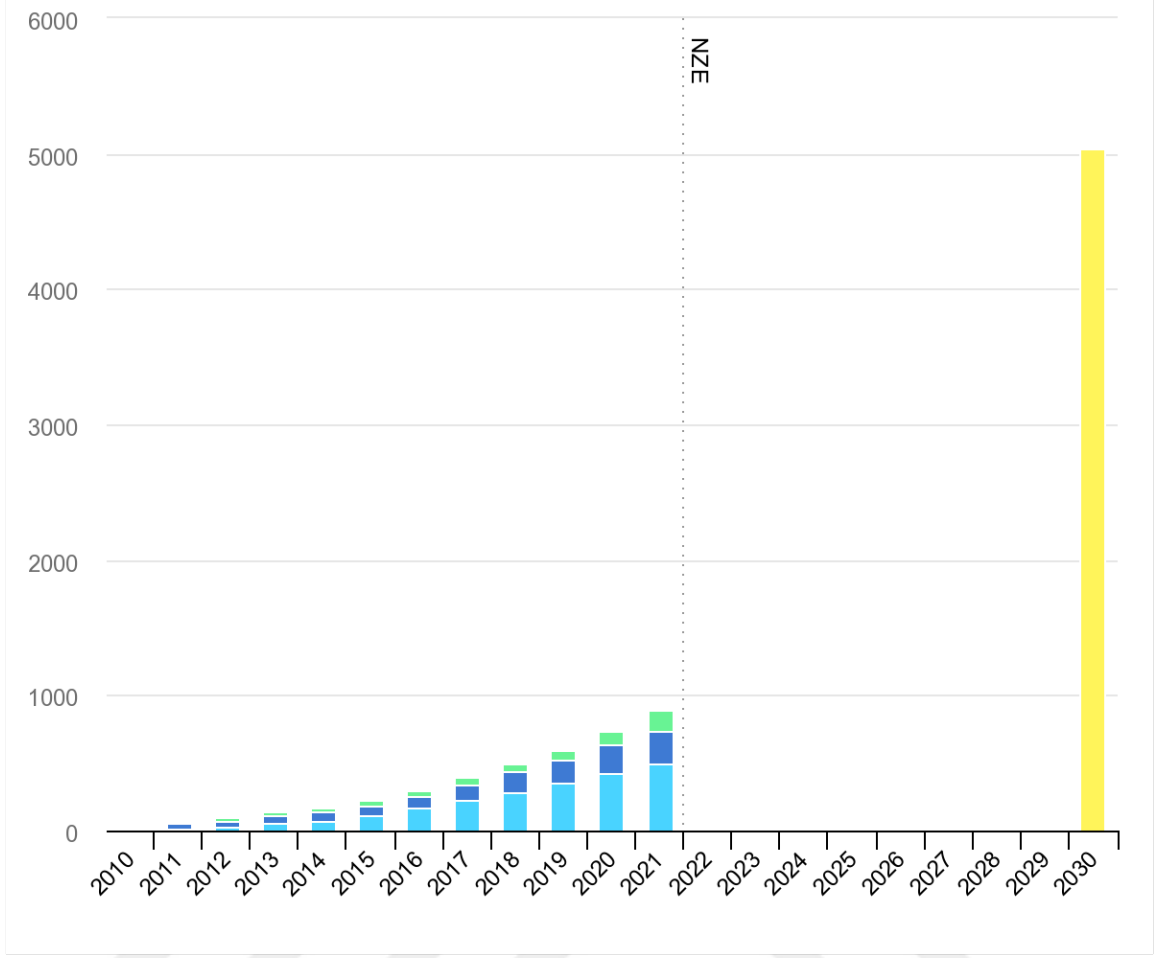
Şekil 2.1. Net Sıfır Senaryosunda güneş enerjisi üretimi, 2010-2030

Solar PV'den enerji üretimi, 2021'de 179 TWh rekor bir artışla 2020'de %22'lik bir artış göstermiştir. Solar PV, küresel elektrik üretiminin %3,6'sını oluşturuyor ve hidroelektrik ve rüzgârın ardından üçüncü en büyük yenilenebilir elektrik teknolojisi konumundadır.

2020 ve 2021'deki büyük kapasite ilaveleri sayesinde 2021'de güneş enerjisi üretimi büyümesinin yaklaşık %38'inden Çin sorumluydu. İkinci en büyük üretim artışı

(toplamin %17'si) ABD'de kaydedildi. Avrupa Birliğinde ise bu oran %10 civarındadır. Solar PV, 2021'de yaşanan Covid-19 kesintileri, tedarik zinciri darboğazları ve emtia fiyat artışları karşısında dirençli olduğunu kanıtladı ve yıllık kapasitede başka bir rekor artış (yaklaşık 190 GW) elde etti. Bu da, 2022'de elektrik üretimi büyümesinin daha da hızlanmasına yol açmıştır. Bununla birlikte, Net Sıfır Senaryosu ile uyumlu olarak, mevcut 1.000 TWh'den 2030'da yaklaşık 7.400 TWh yıllık güneş enerjisi üretim seviyesine ulaşmak için 2022-2030 döneminde yıllık ortalama üretim artışının yaklaşık %25 olmasını gerekmektedir. Bu oran, son beş yılda kaydedilen ortalama yıllık genişlemeye benzer olsa da, PV pazarı büyüdükçe bu ivmeyi sürdürmek için daha fazla çaba gösterilmesi gerekecektir. Kamu hizmeti ölçekli tesisler, 2021'de küresel güneş PV kapasitesi ilavelerinin %52'sinden sorumluyken, bunu konut (%28) ve ticari ve endüstriyel (%19) segmentler izlemektedir. Cömert politika teşvikleri, 2020-2021'de Çin, Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa Birliği'nde rekor dağıtılmış PV kapasitesi eklemelerini sağladığından, kamu hizmeti ölçekli tesislerin payı 2012'den bu yana en düşük seviyede idi. Aşağıda 2010-2030 yıllarında net sıfır senaryosunda güneş enerjisi kapasitesi grafiksel olarak Şekil 2.2.'de verilmiştir.

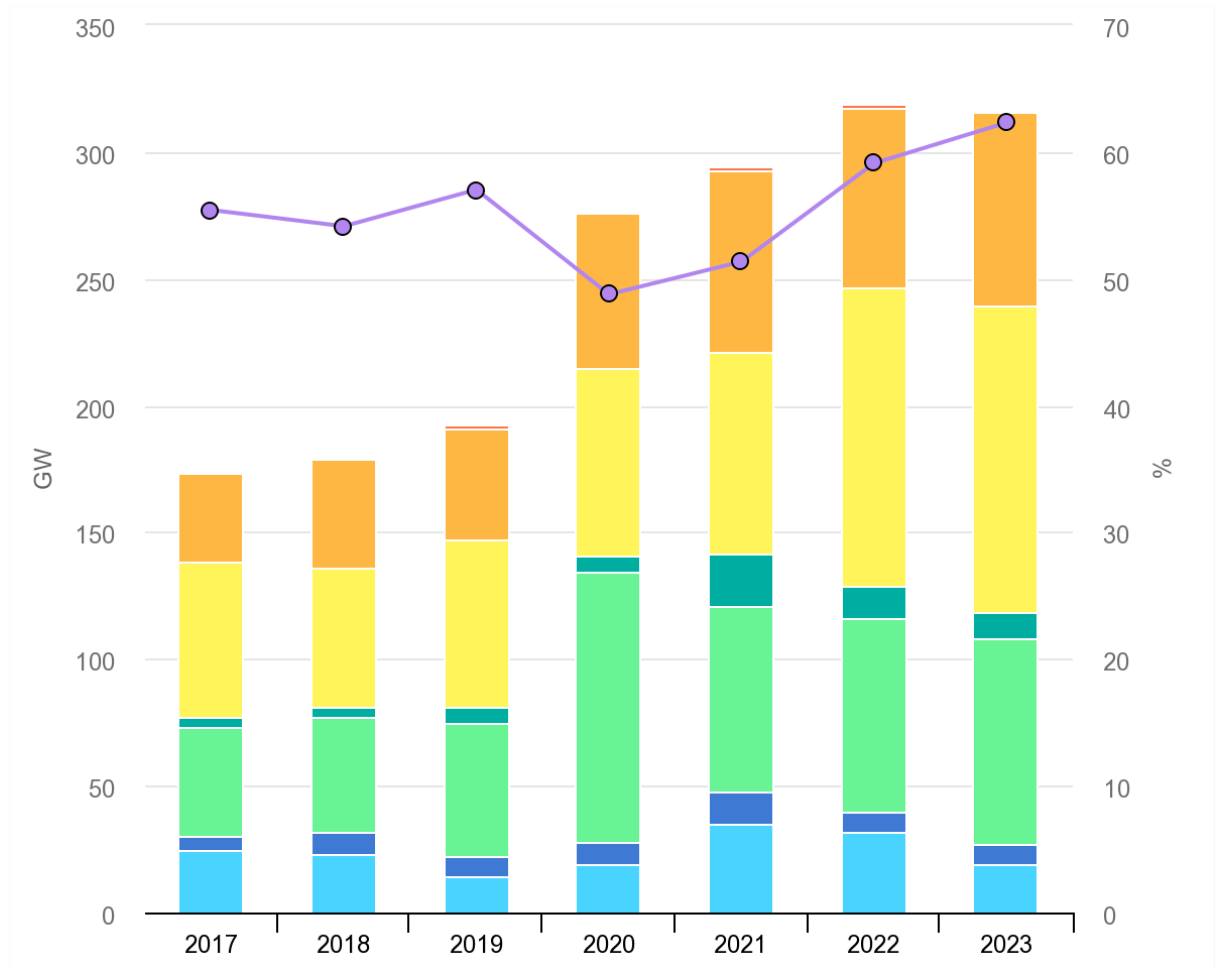




Şekil 2.2. Net Sıfır Senaryosunda güneş enerjisi kapasitesi, 2010-2030

2021'de artan yakıt ve elektrik fiyatları ortamında, dağıtık PV birçok tüketici için giderek daha cazip bir alternatif haline geldi ve bu durum yatırımları hızlandırmıştır. Şebeke ölçeğinde PV, dünyanın çoğu yerinde en rekabetçi PV üretim kaynağı olmaya devam etmektedir; ancak, uygun sahaların olmaması nedeniyle dünyanın birçok yerinde büyük ölçekli kurulumlar yapmak giderek daha olmaktadır. 2030 kapasite düzeyine tekabül edecek şekilde yıllık yaklaşık 600 GW'lık güneş PV kapasitesi ilavelerine ulaşarak Net Sıfır Senaryosu kilometre taşlarına ulaşmak için tüm segmentler için daha fazla desteğe ihtiyaç duyulacaktır. Dağıtılmış ve şebeke ölçeğinde PV'nin, her ülkenin potansiyeline ve ihtiyaçlarına bağlı olarak paralel olarak geliştirilmesi gerekir. Kristalin polisilikon, %95'in üzerinde pazar payıyla PV modülleri için baskın teknoloji olmaya devam etmektedir. Daha verimli monokristal levhalara geçiş, teknolojinin neredeyse tüm kristal PV üretimini yakalamasıyla 2021'de hızlandı. Buna paralel olarak, daha verimli hücre tasarımı (PERC) da neredeyse %75 pazar payı ile hâkimiyetini genişletmeye devam etmektedir. Yeni, daha da yüksek

verimliliğe sahip hücre tasarımları (TOPCon, heterojunction ve back contact gibi teknolojilerin kullanıldığı) ticari üretimi genişleyerek ve 2021'de pazarın yaklaşık %20'sini ele geçirmiştir. Politika desteği, dünyanın büyük bir bölümünde solar PV dağıtımının ana itici gücü olmaya devam etmektedir. İhaleler, tarife garantileri, net ölçüm ve fark sözleşmeleri dâhil olmak üzere çeşitli politika türleri kapasite artışını desteklemektedir. Güneş enerjisi büyümesini etkileyen aşağıdaki önemli politika ve hedef değişiklikleri 2021-2022'de uygulanmıştır. Aşağıda 2017-2023 yıllarında teknolojiye göre net yenilenebilir kapasite artışının grafik Şekil 2.3.'te verilmiştir.

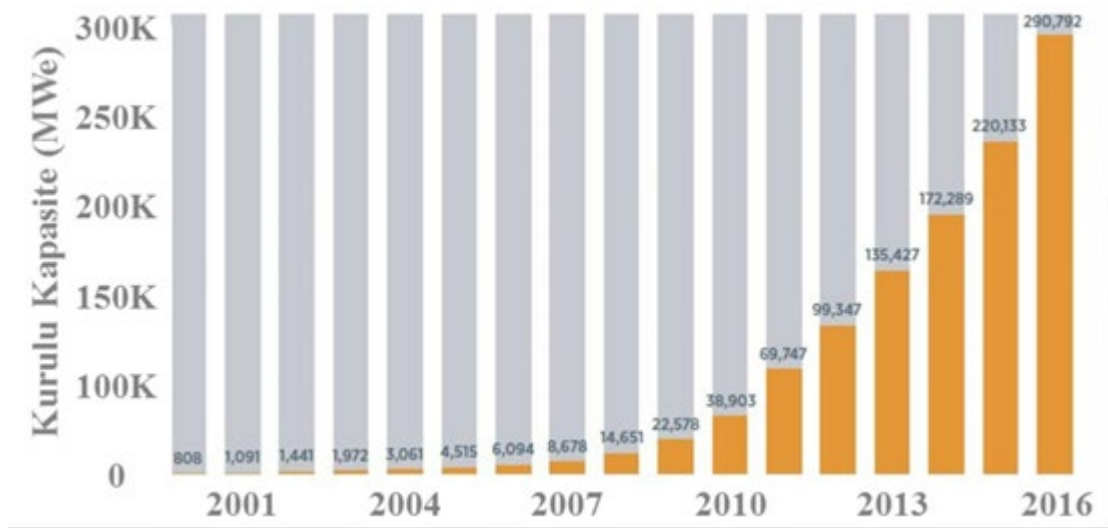


Şekil 2.3. Teknolojiye göre net yenilenebilir kapasite artışı, 2017-2023.

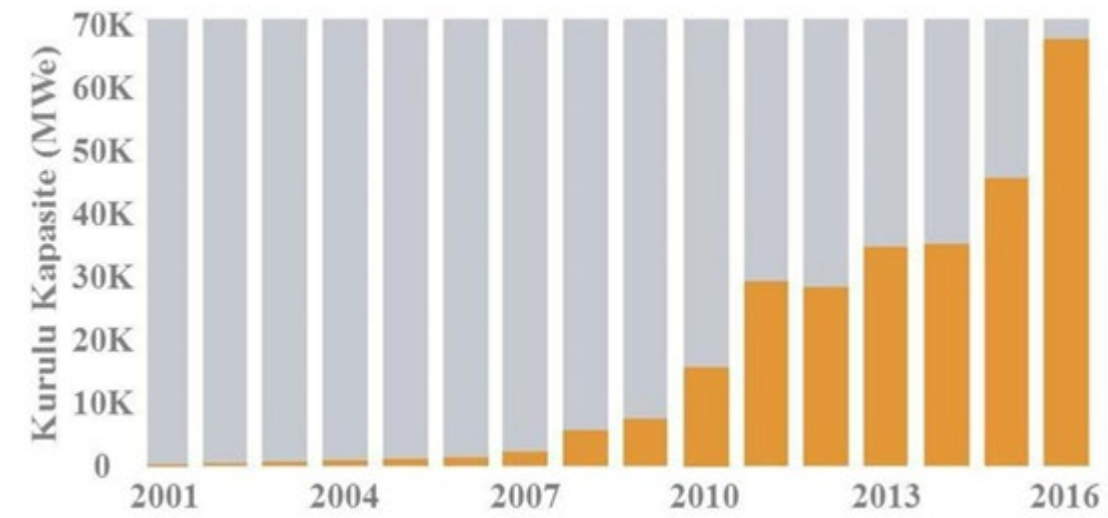
- Hidroelektrik
- Biyoenerji
- Kara rüzgârı
- Kıyıdan esen rüzgâr
- Hizmet ölçeğinde PV

- Dağıtılmış PV
- Diğer yenilenebilirler
- PV'nin payı [16]

Dünya’da 2000 – 2016 yılları arasındaki FV kurulu kapasite miktarları ve 2001 – 2016 yılları arasındaki FV kapasite artış miktarları sırası ile Şekil 2.4 ve Şekil 2.5’te gösterilmiştir.

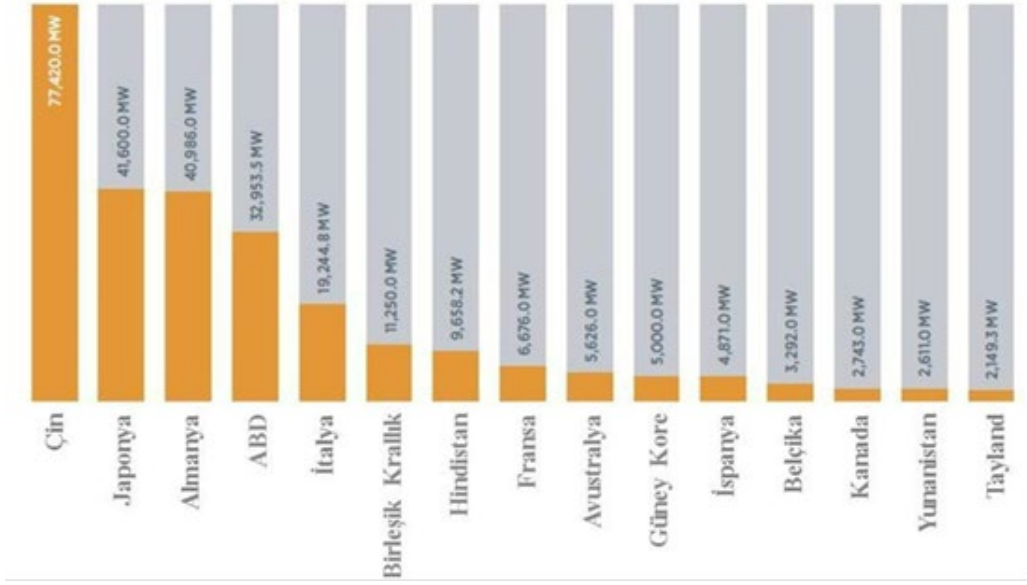


Şekil 2.4. Dünya’da 2000 – 2016 yılları arasındaki FV kurulu kapasite miktarları.



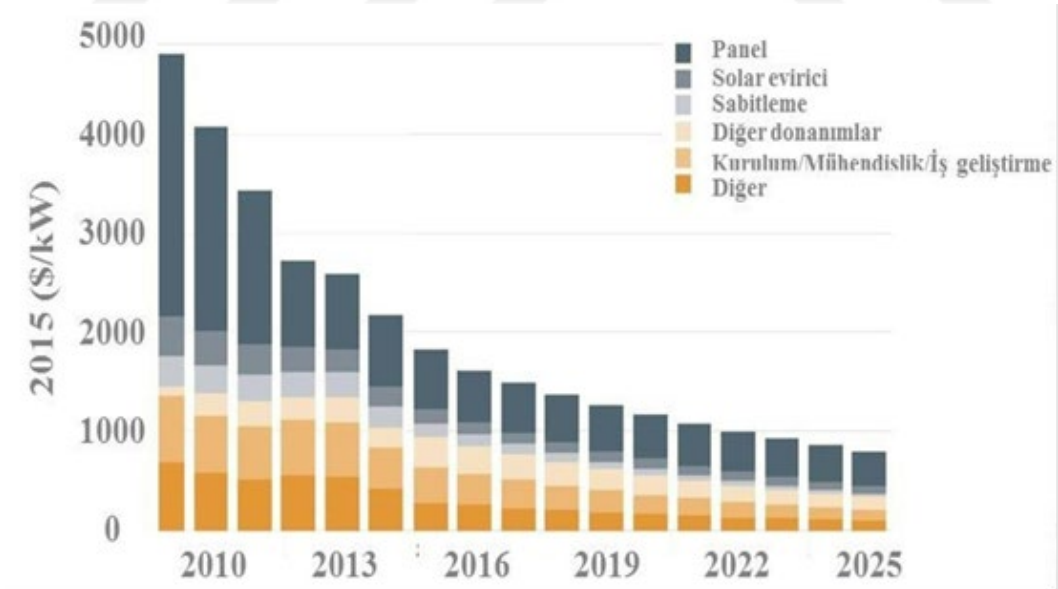
Şekil 2.5. Dünya’da 2001 – 2016 yılları arasındaki FV kapasite artış miktarları.

2016 yılı verilerine göre en büyük kurulu FV kapasitesine sahip ülkeler Şekil 2.6’daki gibidir.



Şekil 2.6. 2016 yılı verilerine göre en büyük kurulu FV kapasitesine sahip ülkeler.

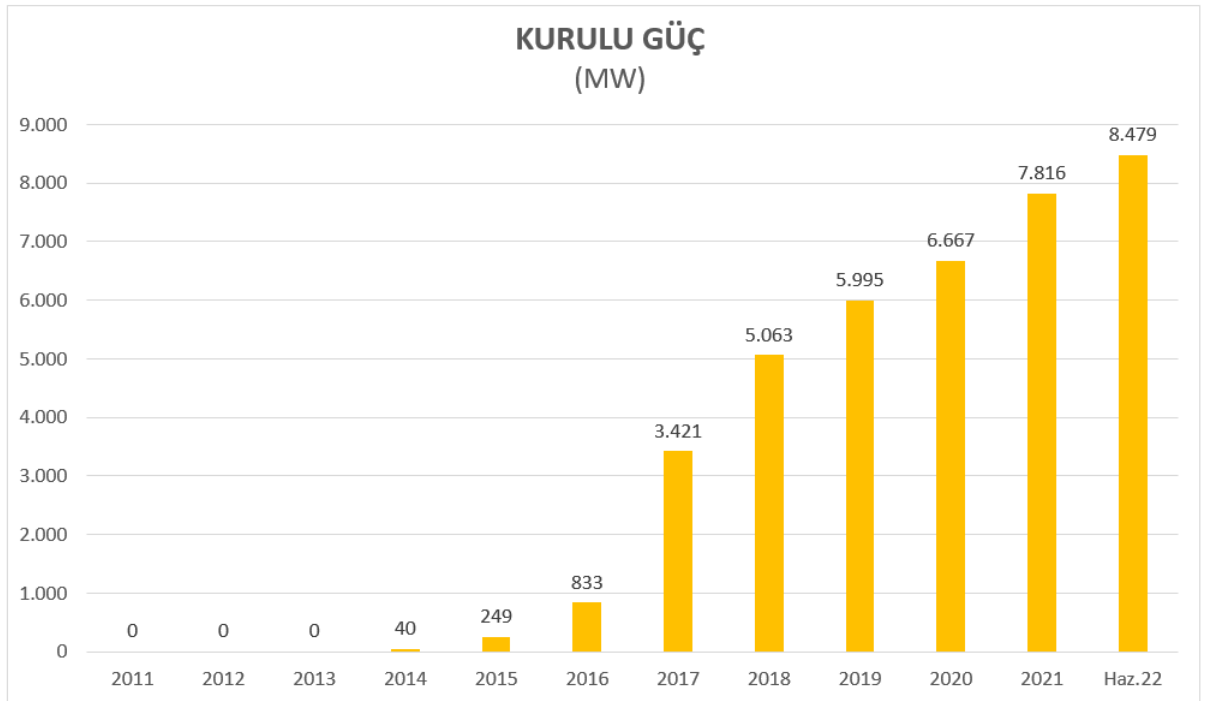
Aynı grafik temel alınarak 2017 yılı ve sonrasındaki 10 yıllık dönemde de bu maliyet düşüşlerinin devam edileceği öngörülmektedir. Dünya’da 2009 – 2016 yılları arasında gerçekleşen ve 2017 – 2025 yılları arasında gerçekleşmesi öngörülen FV sistem maliyet kırılımları Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



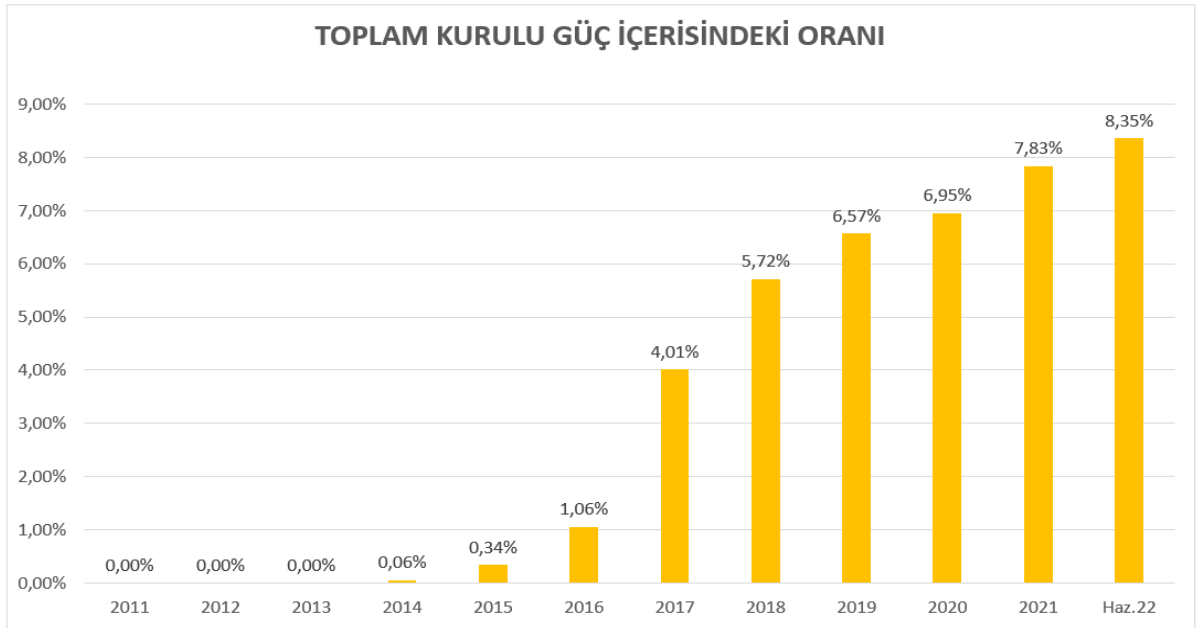
Şekil 2.7. Dünya’da 2009 – 2016 yılları arasında gerçekleşen ve 2017 – 2025 yılları arasında gerçekleşmesi öngörülen FV sistem maliyet kırılımları[17].

2.3 Türkiye’de Fotovoltaik Sistemler

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle önemli bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Bakanlığımızca hazırlanan, Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat olup ortalama yıllık toplam ışınım değeri 1.527,46 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. GEPA’da yer alan genel potansiyel görünümü ve aylık ortalama dünya çapında radyasyon dağılımı aşağıda yer almaktadır[18]. Haziran 2022 sonu itibariyle güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu gücümüz 8.479 MW, toplam kurulu güç içerisindeki oranı %8,35 olup yıllara göre kurulu güç değişimi ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı aşağıdaki grafik Şekil 2.8. ve Şekil 2. 9.’da yer almaktadır.



Şekil 2.8. 2011-2022 yılları arasında güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu güç değişimi



Şekil 2.9. 2011-2022 yıllarında güneş enerjisine dayalı kurulu gücün toplam kurulu güç içindeki oranları[19].

Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) Türkiye’de 2022 yılının ilk kurulu güç raporunu yayımladı.Bu raporda, 2022 Ocak ayının sonu itibariyle Türkiye'nin kurulu gücü 99.734 MW seviyesine çıkarken toplamda santral adeti 10.549 olmuştur. Aşağıdaki Tablo 1.’de toplam kurulu gücün birincil kaynaklara göre santral sayıları dağılımı ve güç miktarları verilmektedir.

Tablo 1. Toplam kurulu güç birincil kaynaklar santral sayıları dağılımı ve güç miktarları[20].

| BİRİNCİL KAYNAKLARA GÖRE SANTRAL ADETLERİ VE KURULU GÜÇ | | |
|--|----------------------|------------------------|
| BİRİNCİL KAYNAK | SANTRAL ADEDİ | KURULU GÜÇ (MW) |
| AKARSU | 604 | 8.217,7 |
| ASFALTİT KÖMÜR | 1 | 405 |
| ATIK ISI | 94 | 390,9 |
| BARAJLI | 141 | 23.280,3 |
| BİYOKÜTLE | 380 | 1.658 |
| DOĞALGAZ | 351 | 25.305,3 |
| FUEL OİL | 9 | 251,9 |
| GÜNEŞ | 8482 | 7.881,1 |
| İTHAL KÖMÜR | 15 | 8.993,8 |
| JEOTERMAL | 63 | 1.676,2 |
| LİNYİT | 47 | 10.142,5 |
| LNG | 1 | 2 |
| MOTORİN | 1 | 1 |
| NAFTA | 1 | 4,7 |
| RÜZGAR | 355 | 10.682,8 |
| TAŞ KÖMÜR | 4 | 840,8 |
| TOPLAM | 10549 | 99.734 |

TEİAŞ'ın 2022 yılı Ocak ayında açıkladığı Kurulu Güç Raporuna göre;

- Türkiye'de toplamda elektriğin kurulu güç kapasitesi 2021'in Aralık ayına göre 85,4 MW azalıp 99.734 MW seviyesine inmiştir. Ülkedeki toplam santral adeti ise 10.549 olmuştur.
- Ülkede yenilenebilir enerjiye dayalı kurulu güç hakkında ise 10.119 adet santral sayısı ile önceki aya nazaran 160,3 MW artıp 53.787 MW'a kadar yükselmiş ve yenilenebilir enerjiye dayalı santrallerin toplamdaki kurulu gücünün %53,93'nü oluşturmuştur.
- Güneş enerjisi santrallerinin toplam kurulu güç miktarı 65,5 MW'lık artışla 7.881,1 MW seviyesine kadar yükselmiştir. Ülkedeki toplam güneş enerjine dayalı santral adeti ise 217 adet yükselerek gücü 8.482 MW olmuştur.
- Güneş enerjisine dayalı kurulu güç toplamı toplam kurulu gücün %7,9'u seviyesini bulurken, rüzgar enerjisine dayalı kurulu güç toplamı ise toplam kurulu güç içindeki oranı ise %10,71 olmuştur.
- Ülkedeki toplam kurulu gücün ilk sırasını 25.305,3 MW'la doğalgaz kaynaklı güç alırken, ikinci sırayı ise 23.280,4 MW kurulu güçle hidroelektrik santralleri almıştır.
- Ülkede fosil yakıt kaynaklı santrallerin kurulu gücü ise 2022 yılının Ocak ayının sonunda 45.947MW olurken, toplamdaki kurulu güce oranı ise %46,06 seviyesine ulaşmıştır. Aşağıdaki grafik Şekil 2.10.'da Türkiye'deki kurulu gücün yıllar itibari ile değişimi verilmiştir.



Şekil 2.10. Türkiye’deki kurulu gücün yıllara göre değişimi

Türkiye’de 2011-2021 yılları arasındaki birincil enerji kaynaklarına göre kurulu gücün değişimi grafik Şekil 2.11.’de verilmektedir.



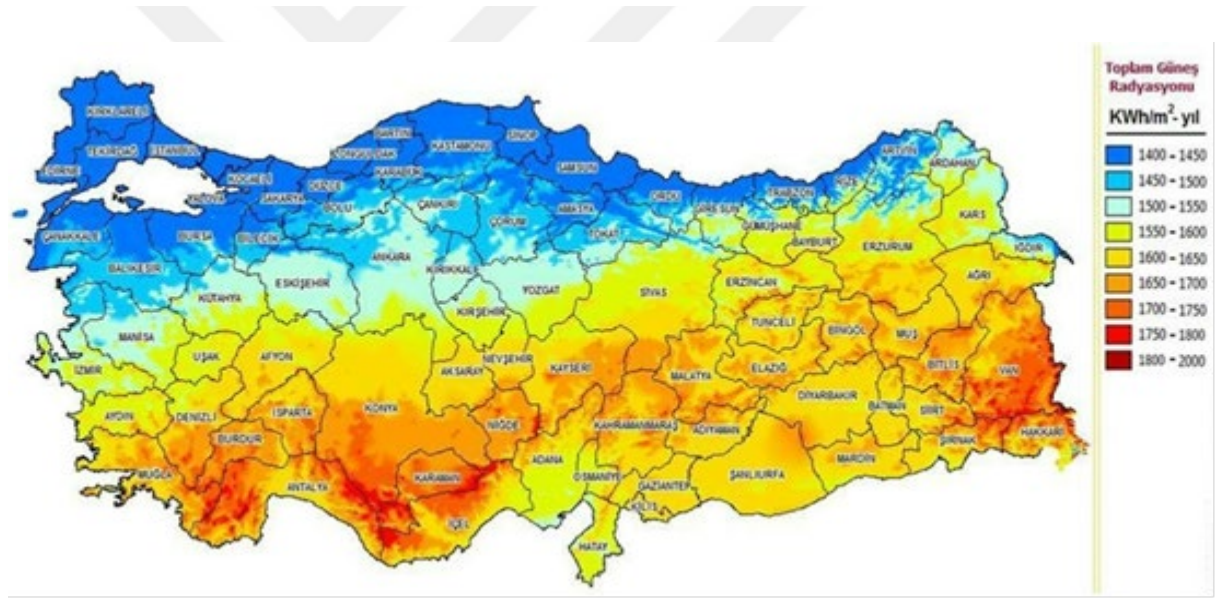
Şekil 2.11. Türkiye’de 2011-2021 yılları birincil enerji kaynaklarına göre kurulu gücün değişimi.

Türkiye’de 2011-2021 yılları birincil enerji kaynaklarına göre kurulu gücün değişimi Tablo 2.’de gösterilmektedir.

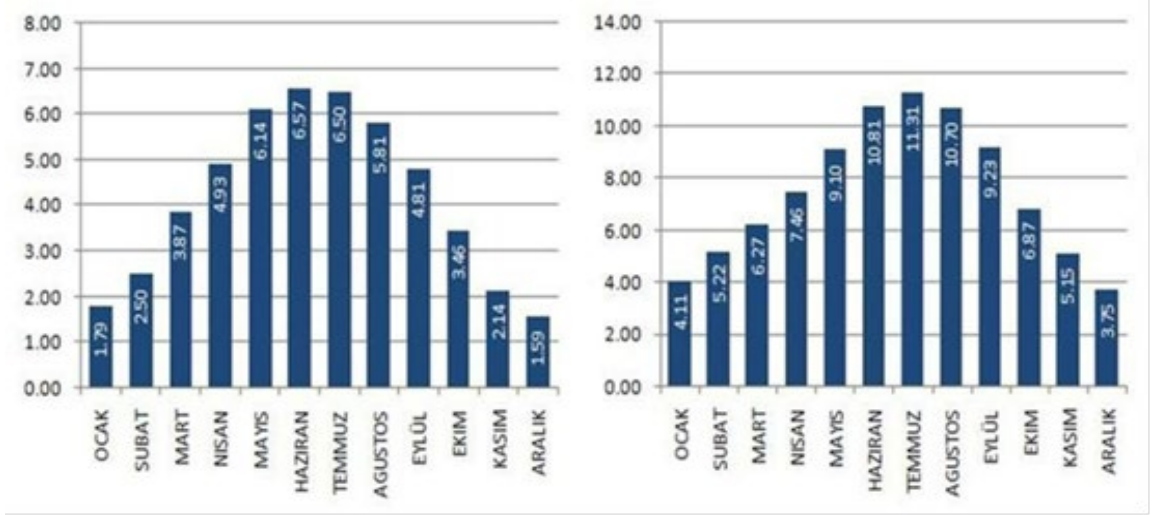
Tablo 2. Türkiye’de 2011-2021 yılları birincil enerji kaynaklarına göre kurulu gücün değişimi[21].

| 2011-2021 yılları birincil enerji kaynaklarına göre kurulu gücün değişimi | | | | | | | | | | Birim :MW |
|---|----------|---------------|-----------|------------------------------|-------------|----------|-----------|----------|---------|-----------|
| | Kömür | Sıvı Yakıtlar | Doğal Gaz | Yenilenebilir +Atık+Atık Isı | Çok Yakıtlı | Hidrolik | Jeotermal | Rüzgar | Güneş | Toplam |
| 2011 | 12.550,3 | 1.300,4 | 13.143,9 | 125,7 | 6.810,8 | 17.137,1 | 114,2 | 1.728,7 | - | 52.911,1 |
| % | 23,72 | 2,46 | 24,84 | 0,24 | 12,87 | 32,39 | 0,22 | 3,27 | - | 100,00 |
| 2021 | 19.641,5 | 135,4 | 21.502,5 | 2.051,1 | 4.897,8 | 31.492,6 | 1.676,2 | 10.607,0 | 7.815,6 | 99.819,6 |
| % | 19,68 | 0,14 | 21,54 | 2,05 | 4,91 | 31,55 | 1,68 | 10,63 | 7,83 | 100,00 |

Türkiye’nin aylara göre dünya çapında ışıınım değerleri, güneşlenme süreleri ve PV panel tipine göre birim alanda üretilebilecek yıllık enerji miktarlarına ait grafikler Şekil 2.12 ve Şekil 2.13’te verilmektedir[22].

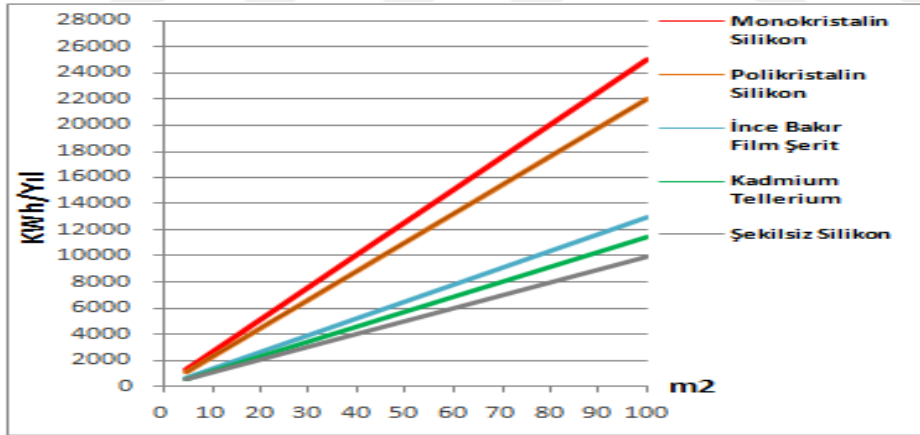


Şekil 2.12. Türkiye’nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası [GEPA].



Şekil 2.13. Türkiye'nin aylara göre global radyasyon değerleri (kWh/m² -gün) ve ortalama güneşlenme süreleri (saat)[23].

Bu değerlere göre Türkiye'nin en çok ve en az güneş enerjisi üretilecek ayları sırası ile Temmuz ve Aralık olmaktadır. Bölgeler arasında ise en çok güneş enerjisi potansiyeli olan bölgelerin başında Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Akdeniz Bölgesi gelmektedir. Şekil 2.14'te Türkiye PV tipi-alan üretilebilecek enerji (kwh-yıl) olarak verilmiştir.



Şekil 2.14. Türkiye'de FV panel tipine göre birim alanda üretilebilecek yıllık enerji miktarları (kWh/yıl)[24].

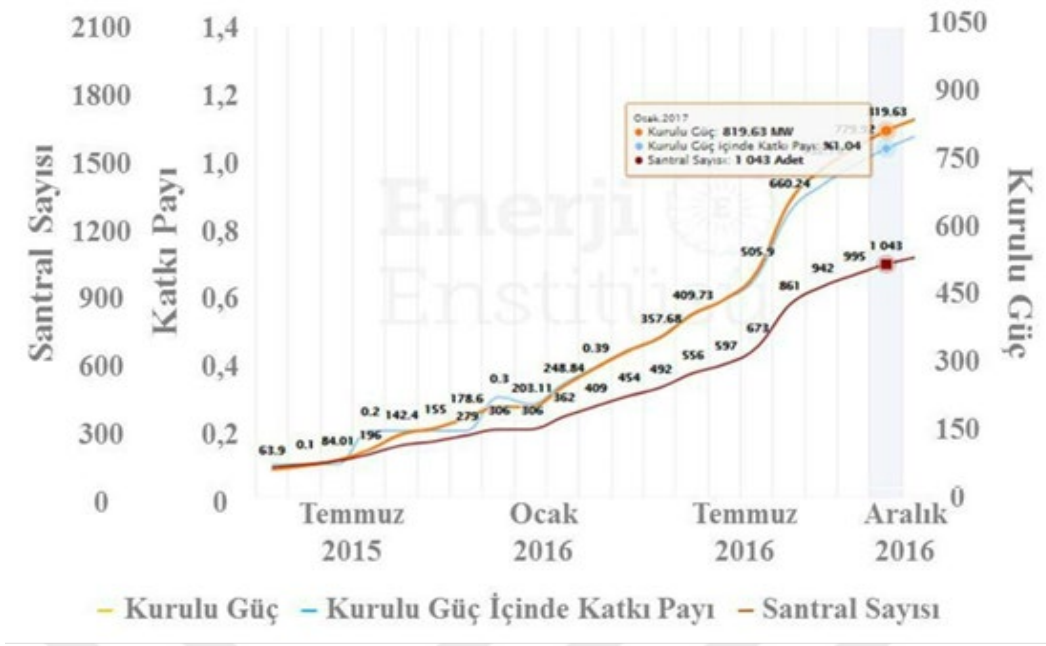
Ülkemizde güneş enerjisinin potansiyeli ile bu potansiyelin bölgelere dağılımı yönünden, bütün güneş enerjisi projelerine uygun bir ülke sayılabilir. Coğrafyası ile yerel yerleşim birimleri ve tarım, hayvancılık vb. alanlarının dağılımı ile ulaşım tarzında engelleyici bazı parametrelerin, enerji alanlarının %1'ini kullanılmasına müsaade edeceği varsayıldığında, ülkemizde güneş enerjisine dayalı üretim için gerçek kullanım

alanının tahmini olarak 7,8 milyon m2 civarındadır. Şekil 2.15'te 2016 yılının, Şekil 2.16'da 2017 yılının Ocak ayına kadar kurulu FV kapasitesi gösterilmiştir.



Şekil 2.15. Türkiye'nin 2016 yılı Ocak ayı itibari ile lisanssız FV kurulu gücü ve santral sayısı [25].

Türkiye'de 2016 ile 2017 yıllarının Ocak ayında kurulu bulunan FV kapasiteleri incelendiğinde, bir yıl içinde Türkiye'de FV kurulu olan gücün 249 MWe seviyesinden 820 MWe seviyesine, yine lisanssız olan FV santral adetinin 362 sayısından 1043 seviyesine çıktığı görülmektedir. Türkiye'deki toplam kurulu güç ise 833 MWe seviyesine çıkmıştır. Buradaki hızlı yükselişle yine de 2017 yılı Ocak ayının verileri FV santrallerinin toplamdaki kurulu gücünün Türkiye toplamı kurulu gücün %1'ini ancak oluşturmuştur. Ülkemizin, güneş enerjileri potansiyeli dünyadaki potansiyelin %1,2'si olduğu bilindiğine göre, Ülkenin FV sektöründe daha fazla adım atmasının gerekli ve önemli olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 2.16. Türkiye'nin 2017 yılı Ocak ayı itibari ile lisanssız FV kurulu gücü ve santral sayısı [26].

Dünya’da bulunan FV sistemlerle ilgili biraz daha ilerlemiş olan ülkeler incelediğinde, toplam kurulu olan FV kapasitelerine ilişkin büyük bir bölümünün çatı üstü olan FV sistemler olduğu görülmektedir. İlave olarak sektörde bulunan FV piyasasının büyük çoğunluğunu çatı üstüne yapılan kurulumlar oluşturmuş olup, bundan sonar daha büyük boyutlardaki diğer sistemlerin geliştiği görülür. Aşağıdaki Tablo 3’te dünya çapında pazarda büyük kapaiteli FV pazarlarında çatıların üstüne kurulu kapasiteler ile bu kapasitelerin toplamdaki kapasitelere oranları gösterilmiştir.

Tablo 3. Büyük ölçekli küresel FV pazarlarında çatı üstü kurulum kapasitelerinin, toplam kapasiteye oranı.[27].

| Kurulu FV | Çatı Üstü Kurulu | | Çatı Üstü Kurulu |
|------------|------------------|---------------|------------------|
| Ülke | Kapasite | FV Kapasitesi | Kapasite Oranı |
| | (GW) | (GW) | (%) |
| Almanya | 38 | 22,8 | 60 |
| Japonya | 24 | 8,4 | 35 |
| ABD | 20 | 8,0 | 40 |
| Avustralya | 4 | 3,2 | 80 |
| Toplam | 86 | 42,4 | 49 |

2.4 FV Sistem Yatırım Finansmanı Teşvik ve Hibeler

Ülkelerin kendi enerji iç enerji politikaları, teknolojik gelişmişlik ve FV sistemlerle ilgili farkındalık seviyelerine göre yenilenebilir enerji yatırımlarına uyguladıkları teşvik ve hibe programları değişiklik göstermektedir. Her yönü ile cazip bir enerji yatırımı olan FV sistemlerine olan ilgi giderek artmaktadır.2000’li senerlerde yüksek refah düzeyindeki toplumlarda gelişen yenilenebilir enerjiden elektrik üretimi gelişmeleri, dünyadaki diğer gelir seviyelerindeki toplulukları etkilemiş boyuttadır. Bu durumdaki ülkeler yatırımcının dikkatini diğer geleneksel enerji üretim kaynaklarından, yenilenebilir enerji sektörüne çekebilmek için farklı teşvik ve hibe türlerini benimsemektedir. Devamlı halde yatırım yapılan yenilenebilir enerji teşvik ve hibe modelleri; güncel enerji politikaları ile maddi teşvikle, hibe programları ve kamu finansmanı olarak çeşitlilik göstermektedir. Dünyada çok iyi uygulanan birbirinden farklı yenilenebilir enerji devlet teşvik ve hibe mekanizmaları yer almaktadır.

2.4.1 Küresel Yenilenebilir Enerji Finansmanı

Yenilenebilir enerjide yapılan küresel yatırımın, 2021’de bütün yeni üretim kapasitelerine için verilen 530 milyar ABD doları’nın %70’ini bulması bekleniyor. %30 luk kısım ise şebekelere ve depolama yatırımlarına yapılması planlanmaktadır. Teknolojik gelişmeler ve temin araçlarının farklılaşan piyasa şartlarına ayak uydurmasından sonra tesis edilme maliyetlerindeki avantajlar, yatırımı miktarını yükseltirken ek kapasite oluşumunda ciddi ve etkili bir araç olduğu ortaya çıkmıştır.

a. Teknolojiye Göre Yatırım

2017 ve 2018 yıllarında, güneş enerjisi sistemleri ve kara rüzgâr enerjisi yenilenebilir enerji pazarındaki güçlerini birleştirerek ve yenilenebilir enerjideki toplam finansmanın

ortalama %77'sini oluşturmuştur. Bu teknolojilerin karakteristikleri, basit ve zaman tasarrufu sağlayan proje geliştirme hazırlık süreçleri, teknoloji ve üretim geliştirmeleri ile yükselen rekabet ve olumlu politikalar ile tedbirler sayesinde yenilenebilir enerjide yüksek oranlarda önemli rol oynamıştır.

b. Finansal Araçlara Göre Yatırım

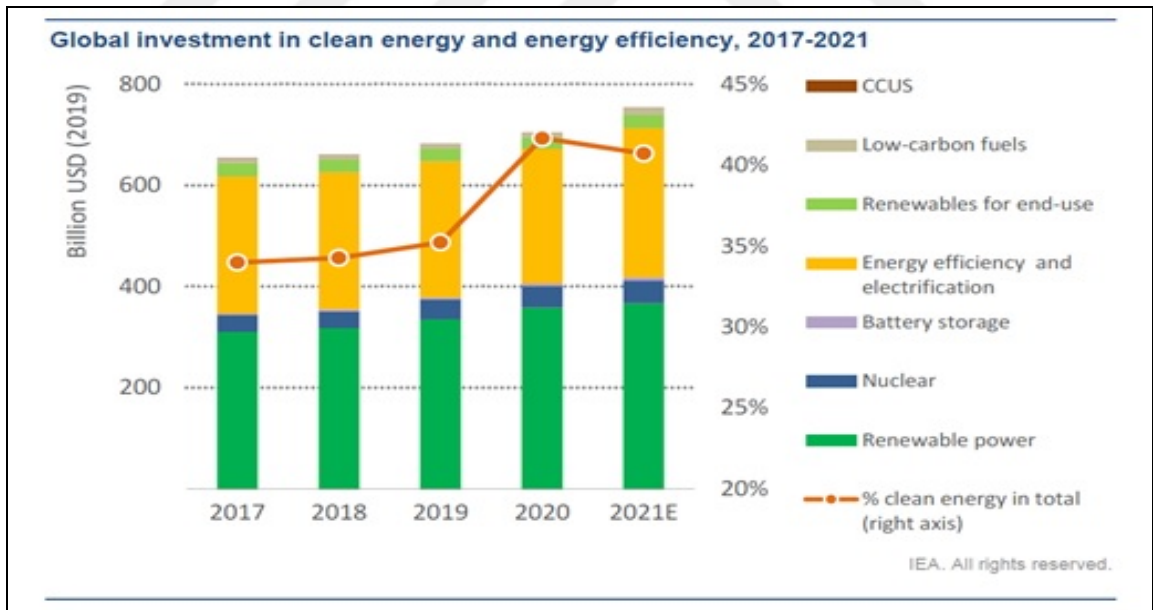
Yenilenebilir enerji projeleri genel itibari ile proje düzeyinde konvansiyonel borçlarla finanse edilmektedir. Bu tutar 2017'de 119 milyar ABD Dolarına ulaşarak, 2017-2018'de ortalama olarak toplam yatırım tutarının %32'sine ulaşmıştır. Öz sermaye ve borç dâhil olmak üzere bilanço finansmanı da büyük yatırımları desteklemiştir. Her biri toplam taahhütlerin yaklaşık %27'si kadar yardımda bulunmuştur. Bilanço finansmanı yaklaşık olarak güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisinin gelişimini finanse etmek için harcanırken, proje düzeyinde borç, deniz üstü rüzgârı da olmak üzere daha büyük bir teknoloji harcaması için tüketilmiştir.

c. Kaynağa Göre Yatırım (Kamu Ve Özel Finans)

Özel finansman, 2013 ile 2018 yıllarında yenilenebilir enerji için bu alandaki yatırımın yaklaşık %86'sını temin etmiştir ve bu değer 257 milyar ABD Doları miktarındaki senelik taahhütlerle uyumaktadır. Kamu finansmanı bu dönemde senelik yaklaşık 44 milyar ABD Dolarına seviyesine çıkmıştır. 2013-2018 senelerinde, proje geliştiriciler özel finansın başrol oyuncusu olmaya devam etmiştir ve 2017-2018'de bütün bu finansmanın yaklaşık %56'sını borç veya öz sermaye olarak bilanço finansmanı ile temin etmiştir. Enerji üretmine dâhil olmayan kuruluşların yenilenebilir enerjideki payı, 2017-2018 senelerinde özel finansmanın yaklaşık %6'sını bularak son senelerde dikkatleri üzerlerine çekmişlerdir. Enerji üretmine dâhil olmayan kuruluşların yenilenebilir enerji yatırım tutarları, sosyal ve çevresel endişelere ilave olarak, piyasa rekabeti, yükselen yenilenebilir teknolojileri, uzun vadede fiyat istikrarı ve arz güvenliği nedenleri ile maliyet tasarrufu oluşturdukları için kabul görmektedir. Bu kuruluşlar, global enerji tüketiminin ortalama üçte ikisini temsil ettikleri için enerji piyasasında net sıfır için ciddi bir öneme haizdirler. Kamunun mali katkısı güneş enerjisi alanında gerekli sermayenin temininde ciddi bir paya sahiptir. Kamu sektöründe, kırsal ve ücra yerlerde şebeke dışı yenilenebilir enerji kaynakları gibi yatırımlar ve sektör hakkında bilgilendirme sureti ile teknoloji maliyetlerini en aza indirilebilmektedir.

d. Şebeke Dışı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Yatırım

Dünyada 2030'a kadar dünya çapında enerji erişimini temin etme yolunda katedilmesi gereken uzun bir yol vardır. 2018 senesinde ortalama 789 milyon kişinin elektriğe ulaşımı bulunmamakta idi, günümüzde planlanan politikalarla beraber 2030'a dek ortalama 620 milyon insanın buna ilave olacağı öngörülmektedir(IEA, IRENA, BM, WBG ve WHO, 2020). Dağıtık yenilenebilir enerji, şebeke ağlarının büyümesinin mümkün olmadığı kırsal bölgelerde elektrik ağlarını tesis etmek için düşük bedellerle uygun bir imkân sağlayabilir. 2007 ve 2019 aralığında, şebekenin dışındaki yenilenebilir enerji kaynaklarına, ortalama 2 milyar ABD Doları yatırım yapılmıştır. Bu tutarın 734 milyon ABD Doları, global nüfusun %80'ini içinde bulunduran ve enerjiye imkan sağlayamayan ülkelere doğru yönelime neden olmuştur. Yatırımların çevreye zararlı fosil yakıtlardan uzak tutamak ve yenilenebilir enerji piyasasındaki bütün sermaye kaynaklarını aktifleştirmek için yeni gelişmeler sağlama noktasında, sermayenin piyasasının aktörleri, ihraççılar ve bu sektörü oluşturan yatırımcılar ile paydaşlarının dâhil olacağı birlikteliklere ihtiyaç vardır. Bu nedenle piyasanın aşağıdaki grafik Şekil 2.17'de sıralanan gereksinimlere ihtiyacı ortaya çıkmıştır.



Şekil 2.17. Temiz Enerji ve Enerji Verimliliğine Küresel Yatırım, 2017-2021[28].

2.4.2 Mali Teşvikler ve Kamu Finansmanı

1. Sermaye Yükseltimi Amacı ile Kamu Finansmanı

Daha çok zor sektör ve lokasyonlarda kamu finansmanı, ilave özel sermayede odaklanma hedefi ile stratejik olarak yerine getirilmelidir. Kapasite arttırma, örnek projeler ve gelişime odaklı finans faydaları, çeşitli finansman denemeleri ve risk düşürme parametreleri temini yöntemi ile yapılabilirler. Son yıllarda özel sektör kuruluşları, yenilenebilir enerji sektöründe öncü olmuş ve tahminen finansman açığının büyük bir kısmını dolduracaklardır. İlave olarak, sınırlı kamu finansmanları, bu açığı gidermek adına çok mühimdir..

2. Kurumsal Yatırımların Yenilenebilir Enerji Sektörüne Kullanılması

Dünyada hali hazırda 87 trilyon ABD Doları civarında bir tutarı elinde bulunduran kuruluşlar, kurumsal yatırımcılar, hızla devam eden dünya çapında enerji transferi nedeni ile gerekli yatırım tutarlarına erişmelerinde çok önemli başrol oyuncularındır. Kurumsal yatırım araçlarının daha çok kullanımı, etkin enerji politikaları ve güncellemelerin bir karışımı, finansörlerin gerekli gereksinimlerini sağlayan sermaye için piyasa çözümleri ile kurumsal yatırımcılar için türlü iç farklılıklar ve kapasite açmak adına kullanılacaktır.

3. Yenilenebilir enerjiler için yeşil tahvillerin daha fazla kullanılmasının teşvik edilmesi

Enerji için Politika geliştiriciler ve devlet katkısı verenler için yeşil tahvil ihraçlarını daha fazla çoğaltmak için tercih edilen çalışmalar içinde, global iklim için gerekli hedeflere ulaşmak, yeşil tahvil şartlarının kabullenilmesi, yeşil tahvil piyasasının bu amaçla ilerlemesi için teknik ve maddi hibe ve teşviklerin verilmesi, alt yapısı bulunan projelere yer verilmesidir. Yenilenebilir enerji sektöründe yeşil tahvillerle, kurumsal yatırımcıların ilgileri bu alana çekilebilir ve büyük bir oranda yatırım açığını gidermeye yardımcı olmak için yenilenebilir enerji piyasasına büyük tutarda ilave özel sermaye getirebilirler.

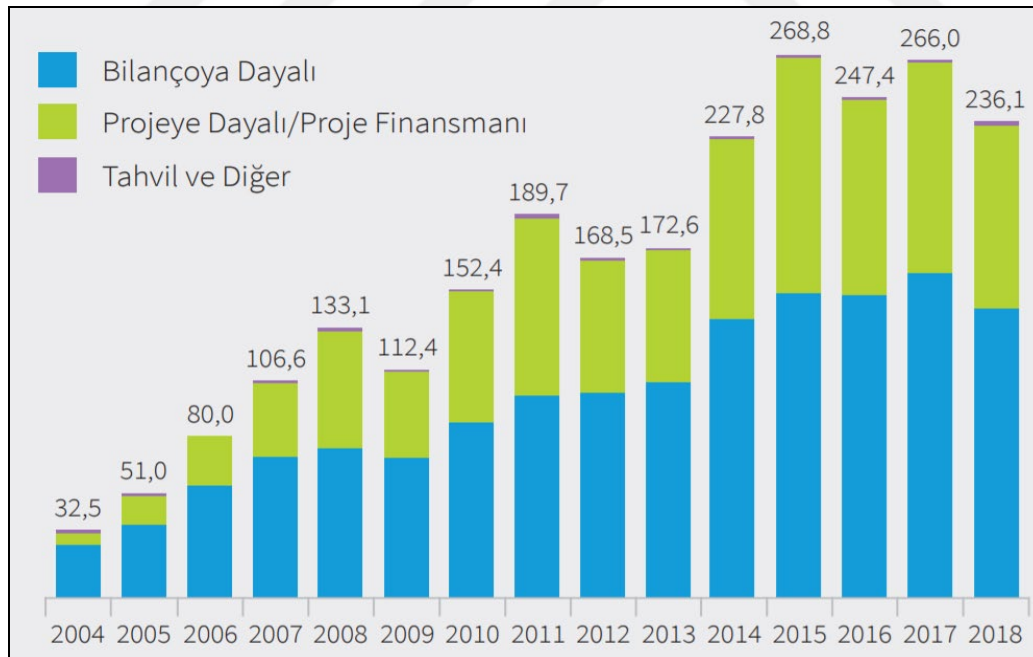
4. Kuruluşların Kombinasyonu

Enerji üretmi olmayan şirketler yenilenebilir piyasada enerji ihtiyacını büyütürken enerji evriminde büyük bir paya sahipler, yenilenebilir enerjiyi üreten kuruluşlar ise zaten bu sektöre büyük yatırımlar sağlamaktadırlar. Enerji Politikası sağlayıcıları, ideal imkân

temininde gerekli sınırları kullanarak, efektif kurumsal imkân ve kaynakların kullanımına imkân verebilir ve sektörde ilave sermaye sorununu çözebilir. Teklif edilen işler bazında, yenilenebilir alanında enerji öznitelik sertifikalarının belgelendirilmesi ve daha şeffaf olması için hassas bir alt yapının temin edilmesi, kuruluşlar ile bağımsız olarak elektrik üreticilerinin arasında gerekli yapıyı temin etmek ve kamu hizmetlerinin kuruluşlar adına finansman teklifinde bulunması için hibe ve teşvik teminleri oluşturmasıdır

5. Finansmanın Şebeke Dışı Yenilenebilir Enerji Alanı için Arttırılması

Gelişen enerjiye senelik 300 milyar ABD Doları yatırımın 2050'ye 800 milyar dolar olması beklenirken, küresel enerji transfer temin etmek şebeke dışı yatırımların yapılması gerekmektedir[29]. Düşük maliyetli maddi imkânlara ulaşım zorluğu nedeni ile şebekeden ayrı yenilenebilir enerji işleri için büyük problemlerden birisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun için, sermayeye ulaşımın ideal imkânları ile 2050'a dek küresel enerji geçişi temin etmek ve gerekli yatırım miktarına erişimin yeni finansman projelerine ve parametrelere gerekliliği vardır. Yenilenebilir enerji kapasite yatırımlarının finansman kaynaklarına ilişkin grafik Şekil 2.18'de gösterilmektedir.



Şekil 2.18. Yenilenebilir Enerji Kapasite Yatırımlarının Finansman Kaynakları (milyar ABD\$) [30].

2.4.3 Türkiye’de Yeşil Tahvilleri Teşvik Etmek için Öneriler

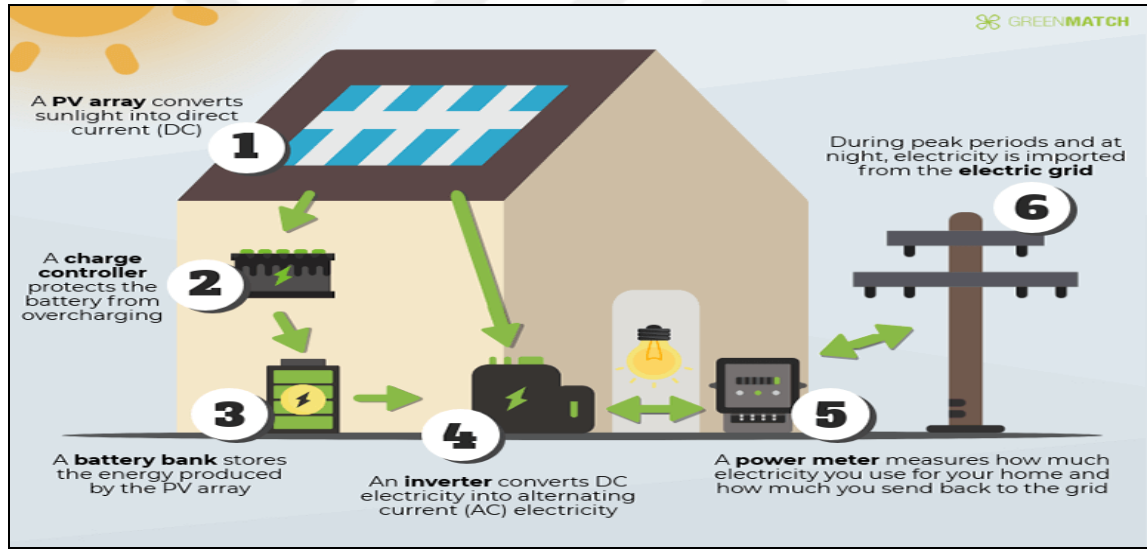
Standartların Belirlenmesi, Risk Algısının Azaltılması, Maliyetin Azaltılması, Vergi Teşviklerinin Sağlanması güneş enerjisi alanındaki gelişmeleri teşvik edici başlıca hususlardır [31].



3.MALZEME VE METOD

3.1. Fotovoltaik Sistem Elemanları

Fotovoltaik sistemler güncel kullanımlarda altı farklı birimden oluşturulur. Bunlar PV dizileri, şarj kontrolü ünitesi, pil ünitesi, evirici, ölçü ünitesi ve sayaçlar bileşeni ve bir elektrik şebeke ünitesidir. Bütün bu birimlerin ideal ve standartlara uygun olarak montajı, güneş panellerinin faydalı ve yararlı çalışma koşullarını belirler. Ancak şarj kontrol ekipmanı ve pil ünitesi projesine ve gerekliliğe göre sisteme ilave edilir. İki donanım, depolama ve üretilen enerjiyi ideal bir verimle kullanmaya imkân verse de, sistemin kurulum maliyetini arttırıcı bir etkiye neden olur. Güneş PV dizileri çalışma şartlarında gerekli gücü üretse bile, güneş panelleri aracılığı ile üretilen enerjinin ideal olarak evrilmesi, dağıtımı ve depolanması için gerekli diğer birimlere ihtiyaç duyulur. Şekil 3.1'de, çatı tipi fotovoltaik sistemi oluşturan birimlerini ve bu birimlerin aralarındaki ilişkiyi görsel olarak sunulmuştur.



Şekil 3.1. 1.Çatı Tipi Fotovoltaik Sistem Bileşenleri[32].

3.1.1. Güneş Fotovoltaik Dizisi

Fotovoltaik sistemin bir birimi olan güneş fotovoltaik dizisi, elektriksel olarak birbirine bağlı güneş enerjisi PV panelinden oluşur. Güneş PV dizisi, güneş ışığına maruz kaldığında DC enerji üretirerek diğer birimlere enerji transferini yapar. Modüler fotovoltaik birimin dizilerinin esnekliği ile güneş PV sistemlerinin kurulum yüzeyinin ebatlarına bağlı olarak çok farklı projelendirmelerle, çok farklı enerji seviyelerindeki gereksinimlere imkân sağlar.

Bileşen 1: Şarj Kontrol Cihazı

Bu birimde pillerin şarj ve kontrol ünitesi yer alır. Bu ünite de pillerin istenmeyen yüksek şarj seviyelerine çıkmamasını önlemek amacıyla güneş PV dizilerinden ulaşan DC enerji seviyesini ayarlarlar. Şarj kontrolü için gerekli bu ekipmanlar iki farklı tipte olabilmektedir. Bunlar:

PWM: Darbe Genişliği Modülasyonu: PWN tipi standart olan tiptir ve 4-60 A seviyelerinde çalıştığı için daha ziyade düşük güçlü fotovoltaik sistemlerle kullanılır.

MPPT: Maksimum Güç Noktası İzleme: MPPT tipi şarj kontrolörü, birçok senaryoda DC 160 V seviyesine kadar olan sistemler için idealdir. Bu ekipmanlar, pillerdeki şarj seviyesini ölçerek, pillerin sürekli zararlar almasını önlemek için sistem akımının durmasını sağlayabilirler. Bütün fotovoltaik sistemlerde güneş pili ünitesi olmadığından, sisteme herhangi bir şarj regülasyonu ilave etmek her durumda lüzumlu olmayabilir. Genel olarak, kapalı sistem bir pil ünitesini oluşturan bankanız var ise bu regülasyona gerek olacaktır. İlave olarak, teknik olarak incelendiğinde, solar PV dizisi her 50 pil amper saati için genel olarak 2 W ya da daha düşük güç oluşturuyorsa şarj regülasyonu için kontrol ekipmanına gerek kalmayabilir.

Bileşen 2: Batarya Bankası

Bu birimde Pil depolama bankası yer alır, solar PV dizileri aracılığı ile üretilen, yerinde ve hemen tüketilemeyen bu enerjinin depolanmasını sağlayarak anlık kullanılmayan enerjinin hemen tüketilmemesini temin eder. Bu şekilde, enerjinin üretilmediği zamanlarda veya havanın bulutlu, geçici gölge oluşumu ve güneş ışığının az olduğu, olmadığı durumlarda mesken ve şebekenize elektrik temin edebilir. Fotovoltaik sistemlere herhangi bir pil bankası ünitesi temin etmek proje sahibinin isteğine bağlıdır, fakat kullanım kapasitesini arttırabilir. Bu ünite sayesinde ortalama olarak meskenlerde üretilen enerjinin %80 'inden faydalanma imkânı bulunurken, bu batarya bankası sistemi tesis edilmeden önce gerekli fayda ortalama %40 az olacaktır.

Bileşen 3: İnverter

İnverter, bir güneş enerjisi sistemindeki en önemli ekipmanlardan biridir. Bir güneş paneli tarafından üretilen doğru akım (DC) elektriğini, elektrik şebekesi tarafından kullanılan alternatif akım (AC) elektriğine dönüştüren bir cihazdır. DC'deki elektrik, bir yönde sabit bir voltajda tutulur. AC'de, elektrik devrede her iki yönde akarken voltaj pozitiften negatife değişir. İnvörtörler, elektrik gücünün akışını düzenleyen güç

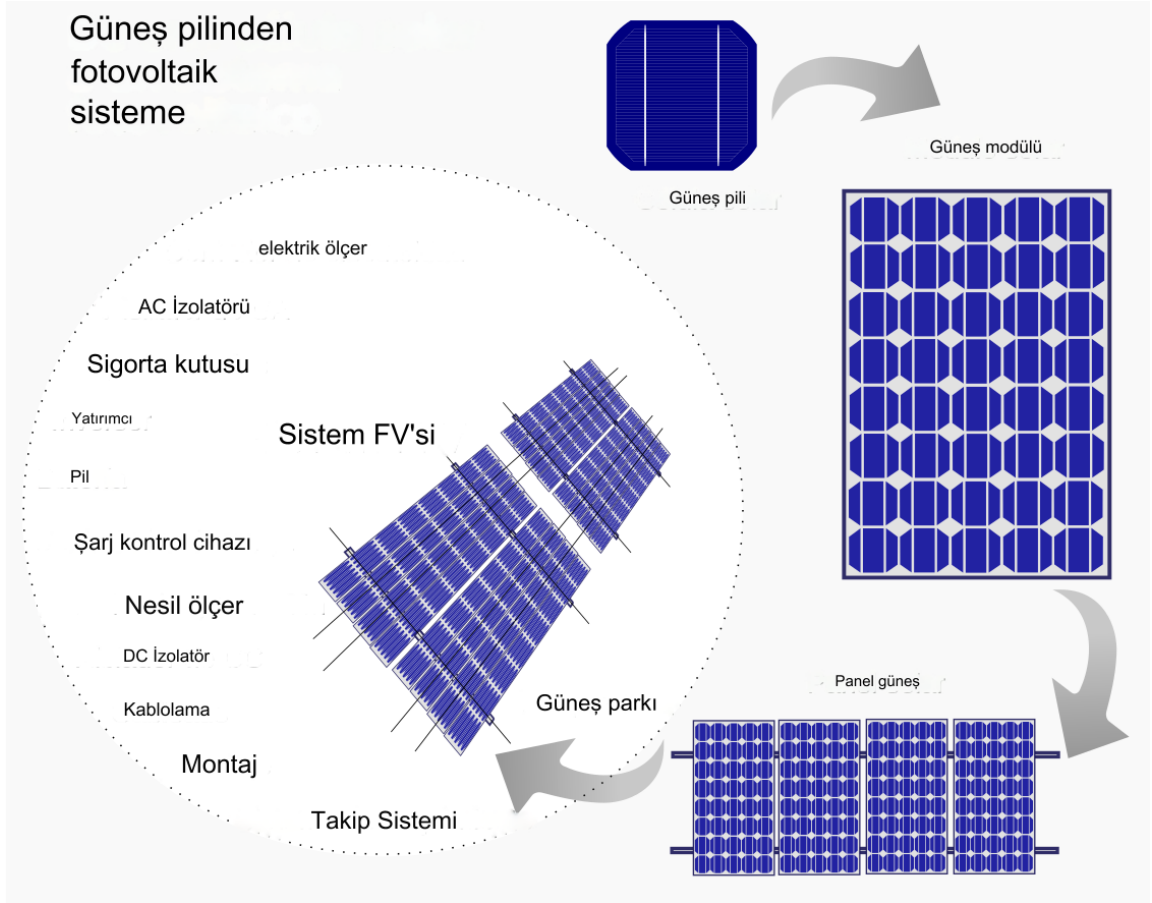
elektroniği adı verilen bir cihaz sınıfının yalnızca bir örneğidir. Temel olarak, bir invertör, bir DC girişinin yönünü çok hızlı bir şekilde ileri geri değiştirerek DC'den AC'ye dönüştürme gerçekleştirir. Bu nedenle, bir DC girişi bir AC çıkışı olur. Ek olarak, elektrik şebekesine enjekte edilebilecek temiz, tekrarlayan bir sinüs dalgası olarak değişen bir voltaj üretmek için filtreler ve diğer elektronikler kullanılabilir. Sinüs dalgası, zamanla voltaj oluşturan bir şekil veya modeldir ve şebekenin belirli frekanslarda ve voltajlarda çalışacak şekilde yapılmış elektrikli ekipmanlara zarar vermeden kullanabileceği güç modelidir. İlk dönüştürücüler mekanik yapıda olup 19. yüzyılda ortaya çıkmıştır. Günümüzde bu mekanik yapıların yerini transistör ve mosfet gibi yarıiletken teknolojisi ile geliştirilmiş anahtarlama elemanları almıştır. Transistörler, silikon veya galyum arsenit gibi yarı iletken malzemelerden yapılmıştır. Harici elektrik sinyallerine yanıt olarak elektrik akışını kontrol ederler. Bir güneş enerjisi invertörü, elektriği DC'den AC'ye dönüştürdüğü için herhangi bir güneş fotovoltaik sisteminin önemli bir parçasıdır. Ev aletlerinizin enerji beslemesi için AC gücüne ihtiyacınız olduğundan bu bileşen mutlaka gereklidir.

Bileşen 4: Sayaç ve Ölçü Ünitesi

PV sistemlerini ölçmek için Ag seviyesinden bağlı sistemlerde sayaçlar ve güç ölçerler kullanılır, yüksek gerilim seviyesinden bağlı sistemlerde ise ölçü sistemi yüksek gerilim seviyesinden ölçü hücrelerinden sağlanabilmektedir. Akıllı sayaçlar, çift ve tek yönlü sayaçlar bu sınıflara dahildir ve ünitenin en önemli parçalarıdır.

Bileşen 5: Elektrik Şebekesi

PV sistemler gerek enerji üretiminin besleyeceği veya tüketileceği şebekeleri gerekse ticarethane ve meskenlerde üretilen enerjiden faydalanmak için olması gerekli olan ünedir. Bu tesisler bir abonenin tesisatı veya enerji nakil hattı, aydınlatma devresi, yeraltı ve havai ağlar niteliğinde olabileceği gibi, tüketim ve üretimin ana unsurları arasında yer alırlar. Enerjinin şebekeye transferini sağlarlar. Enerji kullanımının anahtarıdır. Büyük miktarlarda elektrik üretmek için paneller birbirine bağlanarak FV dizisini meydana getirirler. Solar hücreden itibaren bileşenlerin FV dizisiye kadar olan yapı Şekil 3.2'deki gibidir.

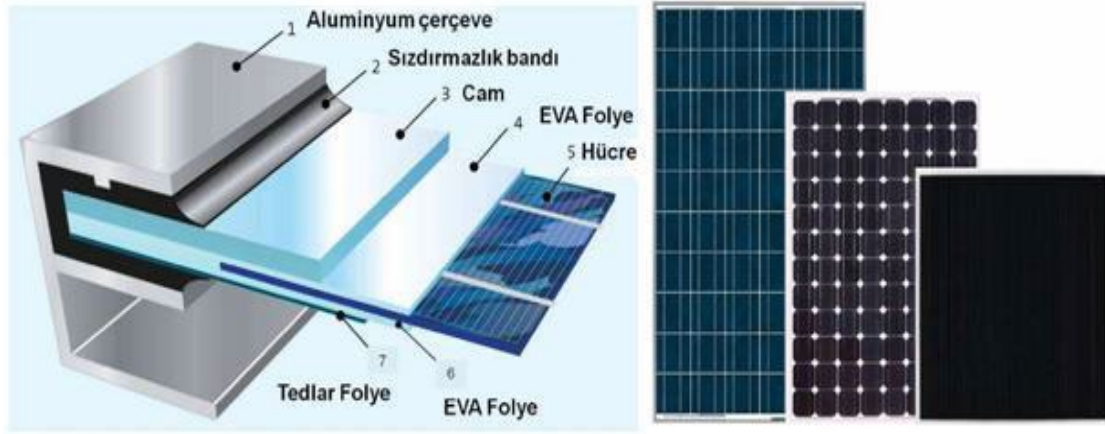


Şekil 3.2. Güneş hücresinden bir FV dize sisteme elektriksel bağlantı sırası ile bileşenlerin şeması[33].

3.1.2. Solar Hücrelerine Göre Fotovoltaik Panel Tipleri

Kullandıkları güneş pili tipine göre sınıflandırılmış birkaç fotovoltaik (PV) panel türü vardır. Monokristal silikon güneş panelleri güneş ışığını elektriğe dönüştürmede oldukça verimli olan tek bir silikon kristalinden yapılmış güneş pilleri kullanır. Monokristal paneller, yüksek verimlilikleri ve şık görünümleriyle bilinir. Polikristal silikon güneş panelleri ise üretimi monokristal hücrelere göre daha ucuz olan çok sayıda küçük silikon kristalinden yapılmış güneş pillerini kullanır. Polikristal paneller, monokristal panellerden biraz daha az verimlidir ancak konut ve ticari uygulamalar için hala popüler bir seçimdir. İnce film güneş panelleri elektrik üretmek için bir alt tabaka (cam, plastik veya metal gibi) üzerinde biriken ince bir yarı iletken malzeme tabakası (amorf silikon, kadmiyum tellür veya bakır indiyum galyum selenid gibi) kullanır. İnce film paneller hafif ve esnektir, bu da onları taşınabilir uygulamalar ve kavisli yüzeyler için iyi bir seçim haline getirir. Konsantre güneş panelleri ise güneş ışığını yüksek

verimli güneş pillerinden oluşan küçük bir alana odaklamak için mercekler veya aynalar kullanır ve bu da birim güneş pili malzemesi başına üretilen elektrik miktarını artırır. Konsantre güneş panelleri, öncelikle büyük ölçekli kamu hizmeti kurulumlarında kullanılır. Her bir PV paneli tipinin kendi avantajları ve dezavantajları vardır ve panel seçimi, maliyet, verimlilik ve uygulama dahil olmak üzere çeşitli faktörlere bağlıdır. Şekil 3.3'te örnek bir panelin kesiti verilmiştir.



Şekil 3.3. Örnek bir panel kesiti[34].

3.1.3. Fotovoltaik Modül Elektriksel Özellikleri

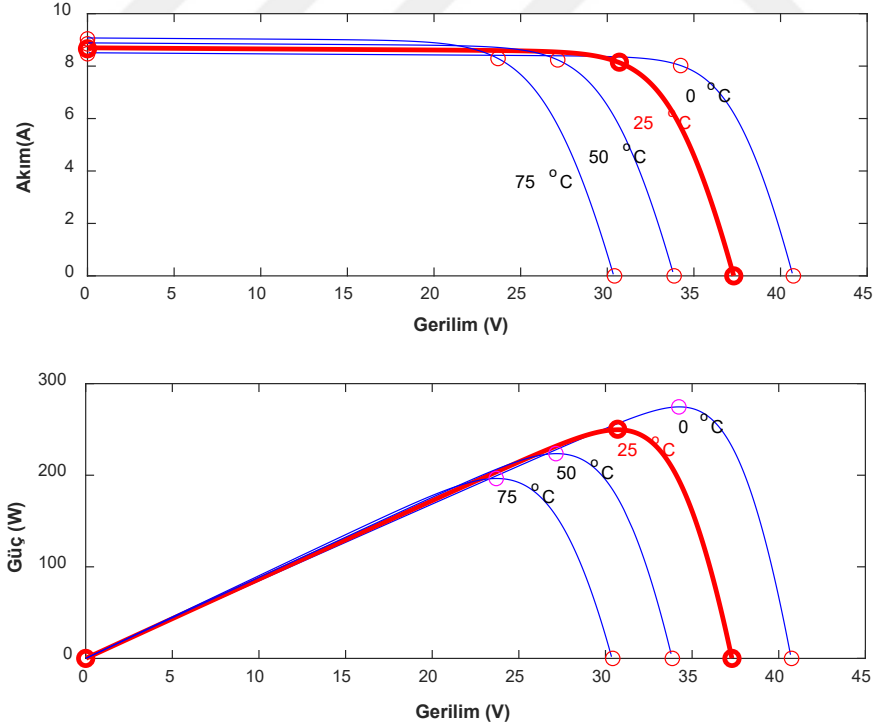
Fotovoltaik (PV) modüller, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çeviren cihazlardır. Birbirine bağlı birden fazla güneş pilinden oluşurlar ve her hücre belirli miktarda voltaj ve akım üretir. PV modüllerinin temel elektriksel özelliklerinden bazıları şunlardır:

Maksimum Güç (P_{max}): Bu, bir PV modülünün 1000 W/m² ışınım, 25°C hücre sıcaklığı ve AM 1,5 spektrumlu standart test koşulları (STC) altında üretebileceği maksimum elektrik gücüdür. P_{max}, watt (W) cinsinden ifade edilir ve modülün üretebileceği maksimum voltaj (V_{mp}) ile maksimum akımın (I_{mp}) çarpımıdır. **Açık Devre Gerilimi (V_{oc}):** Bir PV modülünün herhangi bir yüke bağlı değilken üretebileceği maksimum gerilimdir. V_{oc}, volt (V) cinsinden ölçülür ve güneş pillerinin özellikleri ve modülün sıcaklığı bağlı olarak belirlenir. **Kısa Devre Akımı (I_{sc}):** Bu, terminalleri kısa devre olduğunda bir PV modülünün üretebileceği maksimum akımdır. I_{sc}, amper (A) cinsinden ölçülür ve güneş pillerinin özellikleri ve ışınım seviyesi tarafından belirlenir. **Maksimum Güç Gerilimi (V_{mp}):** Bu, PV modülünün maksimum güç çıkışını ürettiği gerilimdir. V_{mp}, volt (V) cinsinden ölçülür ve güneş pillerinin

özellikleri ve modülün sıcaklığı ile belirlenir. Maksimum Güç Akımı (Imp): Bu, PV modülünün maksimum güç çıkışını ürettiği akımdır. Imp, amper (A) cinsinden ölçülür ve güneş pillerinin özellikleri ve ışınım seviyesi tarafından belirlenir. Doldurma Faktörü (FF): Bu, PV modülünün güneş ışığını elektrik enerjisine ne kadar etkili bir şekilde dönüştürdüğünün bir ölçüsüdür. FF, modülün üretebileceği maksimum gücün Voc ve Isc'nin ürününe oranıdır. Yüzde olarak ifade edilir ve tipik olarak %70 ile %80 arasında değişir.

Sıcaklık Katsayısı: PV modülleri, elektriksel özelliklerini etkileyebilecek sıcaklıktaki değişikliklere karşı hassastır. Sıcaklık katsayısı, modülün voltajının, akımının ve güç çıkışının sıcaklıkla ne kadar değiştiğinin bir ölçüsüdür. Santigrat derece (°C) başına yüzde olarak ifade edilir ve modülün teknolojisine ve tasarımına bağlı olarak değişir.

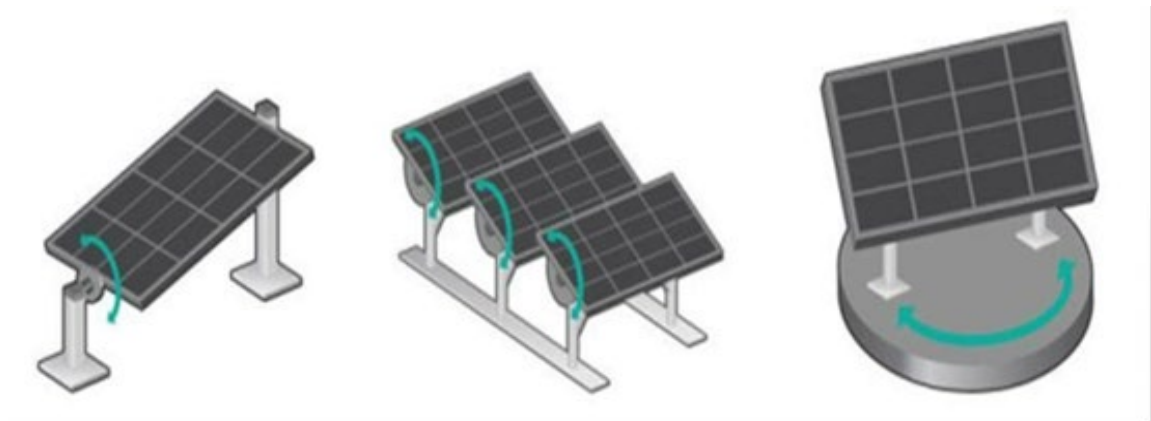
PV sistemlerini tasarlarken ve kurarken bu elektriksel özellikleri anlamak çok önemlidir. Doğru özelliklere sahip modülleri seçerek ve bunları uygun şekilde yapılandırarak, sistemin performansını optimize etmek ve enerji çıkışını en üst düzeye çıkarmak mümkündür. Aşağıdaki Şekil 3.4'te FV hücrelerde Akım-Gerilim eğrisinin sıcaklığa bağlı değişimi gösterilmektedir.



Şekil 3.4. FV hücrelerde Akım-Gerilim ve güç-gerilim eğrilerinin sıcaklığa bağlı değişimi.

3.2 Panel Taşıyıcı Sistem

Bir fotovoltaik panel taşıyıcı sistem, güneş panellerini çatılarda veya zemin yüzeylerinde desteklemek için kullanılan bir montaj sistemi türüdür. Güneş panellerini güvenli bir şekilde yerinde tutarken güneş ışığını yakalayıp elektriğe dönüştürmelerine izin verdiği için güneş enerjisi sisteminin önemli bir bileşenidir. Taşıyıcı sistem tipik olarak civatalar veya vidalar kullanılarak çatıya veya zemin yüzeyine bağlanan bir dizi ray veya çerçeve içerir. Güneş panelleri daha sonra panellerin boyutu ve şekli için özel olarak tasarlanmış kelepçeler veya klipsler kullanılarak bu raylara veya çerçevelere monte edilir. Balastlı, delici ve delici olmayan sistemler dahil olmak üzere çeşitli taşıyıcı sistem tipleri mevcuttur. Balastlı sistemler panelleri yerinde tutmak için ağırlığına güvenirken, delici sistemler rayları veya çerçeveleri sabitlemek için çatıya veya zemin yüzeyine delik açmayı gerektirir. Nüfuz etmeyen sistemler, panelleri çatıya veya zemin yüzeyine zarar vermeden yerinde tutmak için ağırlıklı bloklar veya diğer invaziv olmayan yöntemler kullanır. Güneş paneli kurulumunuz için bir taşıyıcı sistem seçerken, panellerin boyutu ve ağırlığı, çatının veya zemin yüzeyinin türü ve yerel inşaat kanunları ve yönetmelikleri gibi faktörleri göz önünde bulundurmak önemlidir. Nitelikli bir güneş enerjisi tesisatçısı, özel ihtiyaçlarınız için en iyi taşıyıcı sistemi seçmenize ve kurmanıza yardımcı olabilir. Aşağıdaki Şekil 3.5'te FV panel taşıyıcı sistemler gösterilmektedir



Şekil 3.5. Panel taşıyıcı sistem örnekleri.

3.3 Elektriksel Bağlantı

Fotovoltaik (PV) sistemler, PV paneller tarafından üretilen enerjinin yüklere veya elektrik şebekesine iletilmesi için elektrik bağlantılarına ihtiyaç duyar. Bir PV

sisteminin elektrik bağlantıları üç ana bileşene ayrılabilir: PV panelleri, invertör ve elektrik kabloları.

PV paneller: PV paneller güneş ışığına maruz kaldıklarında DC elektrik üretirler. Panelleri birbirine bağlamak için teller tipik olarak her panelin arkasındaki terminallere lehimlenir. Teller daha sonra bir dizi panel oluşturmak için seri veya paralel olarak bağlanır.

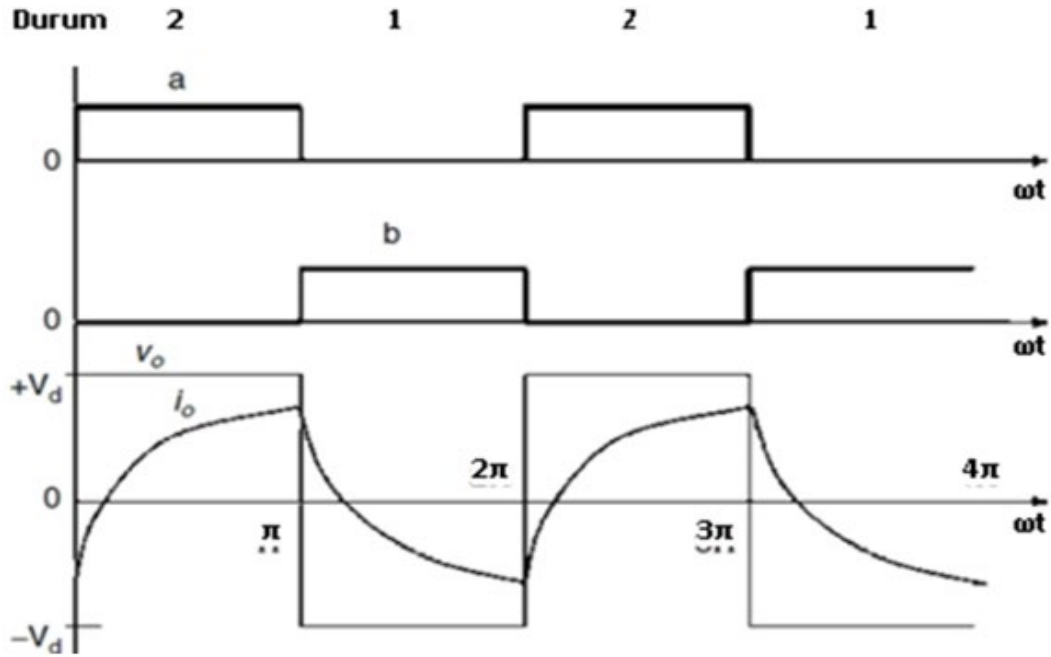
Evirici: FV paneller tarafından üretilen DC elektrik, evirici tarafından AC elektriğe dönüştürülür. Evirici tipik olarak evdeki veya binadaki ana elektrik panelinin yanında bulunur. FV sistem eviriciye bir DC ayırma anahtarı ve DC kablo bağlantısı kullanılarak bağlanır. İnvirtör daha sonra AC kablosu kullanılarak elektrik panosuna bağlanır.

Elektrik kabloları: Elektrik kabloları PV panelleri, invertörü ve elektrik yüklerini birbirine bağlar. Kablolama, sistemin akımını ve voltajını işlemek için uygun şekilde boyutlandırılmalıdır. Kablo tesisatını kurarken yerel elektrik yasalarına ve yönergelerine uyulması önemlidir. Genel olarak, bir PV sisteminin elektrik bağlantıları, sistemin güvenli ve verimli çalışmasını sağlamak için uygun şekilde tasarlanmalı ve kurulmalıdır. Sistemin tasarımı ve kurulumu konusunda yardım için profesyonel bir elektrikçiye veya PV kurulumcusuna danışılması önerilir. Şekil 3.6'da evirici bağlantısı ilişkin bir görsel sunulmuştur.



Şekil 3.6. Örnek Evirici Bağlantıları[35].

Tek fazlı gerilim kaynaklı eviriciye kare dalga uygulanarak yapılan anahtarlama ile elde edilen çıkış gerilim ve akım dalga grafikleri Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Kare dalga uygulanarak yapılan anahtarlama ile çıkış gerilim ve akım dalga formları.

3.4 Solar Evirici

3.4.1 Merkezi Evirici

Merkezi bir invertör, güneş panelleri tarafından üretilen DC gücünü evlerde kullanılabilen veya elektrik şebekesine beslenebilen AC gücüne dönüştürmek için fotovoltaik (PV) sistemlerde kullanılan bir invertör türüdür. Merkezi invertörler, genellikle çok sayıda güneş paneli kullanan ve yüksek güç çıkışı gerektiren büyük ölçekli PV sistemlerinde kullanılır. Fotovoltaik sistemlerdeki merkezi invertörler için bazı teknik özellikler ve hususlar şunlardır:

Kapasite: Merkezi invertörler tipik olarak birkaç kilovattan birkaç megavata kadar çeşitli kapasitelerde mevcuttur. Optimum performansı sağlamak için eviricinin kapasitesi, PV sistemindeki güneş panellerinin toplam kapasitesine uygun olmalıdır.

Verimlilik: Merkezi inverterin verimliliği, FV sistemin genel enerji verimini etkileyebileceği için önemli bir husustur. Daha yüksek verimli invertörler, güneş panelleri tarafından üretilen DC gücünün daha fazlasını kullanılabilir AC gücüne dönüştürecektir.

Giriş voltajı aralığı: Merkezi inverterler, güneş panellerinden gelen belirli bir giriş voltajı aralığında çalışmak üzere tasarlanmıştır. Optimum performansı sağlamak için giriş voltajı aralığı, PV sistemindeki güneş panellerinin voltaj çıkışına uygun olmalıdır.

Maksimum güç noktası izleme (MPPT): Merkezi inverterler, maksimum güç çıkışı noktasını izleyerek güneş panellerinin çıkışını optimize eden bir veya daha fazla MPPT'ye sahip olabilir. Daha fazla MPPT, PV dizisinde gölge veya sıcaklık değişimlerinin olduğu durumlarda daha iyi performans sağlayabilir.

Soğutma: Merkezi inverterler çalışma sırasında çok fazla ısı üretebilir, bu nedenle soğutma önemli bir husustur. Bazı eviricilerde soğutma için yerleşik fanlar bulunurken, diğerleri ek soğutma sistemlerinin kurulmasını gerektirebilir.

İzleme ve kontrol: Merkezi inverterler, kullanıcıların FV sistemin performansını izlemesine ve gerektiğinde ayarları yapmasına olanak tanıyan izleme ve kontrol özellikleri içerebilir. Bazı inverterler, sistem performansının uzun vadeli analizi için veri kaydetme özellikleri de içerebilir.

Bakım: Bir PV sistemindeki tüm bileşenler gibi, merkezi inverterler de optimum performans ve uzun ömür sağlamak için düzenli bakım gerektirir. Bakım görevleri, fanlar veya kapasitörler gibi bileşenlerin temizlenmesini, incelenmesini ve değiştirilmesini içerebilir. Şekil 3.8'de örnek bir merkezi evirici gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Merkezi tip solar evirici örneği. [36].

3.4.2 Dizi Evirici

Merkezi inverterler, fotovoltaik (PV) sistemlerde kullanılan en yaygın inverter tiplerinden biridir. Bu invertörler, PV modüllerinin doğru akım (DC) çıkışını, elektrik yüklerine güç sağlamak veya şebekeye beslemek için kullanılabilen alternatif akıma (AC) dönüştürmek için tasarlanmıştır. Tipik bir merkezi evirici sisteminde, birden fazla PV modülü dizisi paralel olarak bağlanır ve daha sonra merkezi eviriciye bağlanır. Evirici daha sonra PV modüllerinden gelen DC gücünü, elektrik yükleri tarafından kullanılabilen veya şebekeye beslenebilen AC gücüne dönüştürür. Merkezi invertörler genellikle ticari veya kamu hizmeti ölçekli kurulumlar gibi daha büyük PV sistemleri için tasarlanmıştır. Yüksek verimlilikleri ve güvenilirlikleri ile tanınırlar ve hem şebekeye bağlı hem de şebeke dışı uygulamalar için yapılandırılabilirler. Ek olarak, genellikle PV modüllerinin performansını optimize etmeye yardımcı olan maksimum güç noktası izleme (MPPT) ve sistemin güvenliğini ve uzun ömürlülüğünü sağlamaya yardımcı olan arıza algılama ve koruma gibi gelişmiş özelliklere sahiptirler. Bununla birlikte, merkezi eviricilerin ana dezavantajlarından biri, tipik olarak PV modüllerinden uzağa yerleştirilmeleridir, bu da kablolama direnci ve gölgeleme nedeniyle enerji kayıplarına neden olabilir. Ek olarak, merkezi eviricilerin kurulumu ve bakımı, mikro evirici veya dizi evirici gibi diğer evirici türlerine göre daha pahalı ve karmaşık olabilir. Aşağıdaki Şekil 3.9'da örnek dizi eviriciler görülmektedir.



Şekil 3.9. Dizi tipi solar evirici örneği[37].

3.4.3 Mikro Evirici

Mikro invertör, fotovoltaik (PV) sistemlerde, bireysel güneş panelleri tarafından üretilen doğru akımı (DC) elektrik şebekesi veya ev aletleri tarafından kullanılabilen alternatif

akıma (AC) dönüştürmek için kullanılan küçük bir cihazdır. Birkaç güneş panelinin çıkışını aynı anda işlemek üzere tasarlanmış geleneksel dizi invertörlerin aksine, her bir panele mikro invertörler kurulur ve bu da daha verimli enerji dönüşümüne ve sistem performansının daha iyi izlenmesine olanak tanır. Mikro invertörlerin ana avantajlarından biri, bir PV sistemindeki her bir güneş panelinin performansını optimize edebilmeleridir, bu da daha yüksek genel sistem verimliliğine ve daha iyi enerji üretimine yol açabilir. Bunun nedeni, mikro invertörlerin çıkış voltajını ve akımını gölgeleme, sıcaklık ve yönlendirme gibi her bir panelin özel koşullarına göre ayarlayabilmesidir. Mikro invertörlerin bir başka avantajı da, geleneksel dizi invertörlere kıyasla daha fazla sistem güvenilirliği ve güvenliği sağlamasıdır. Geleneksel bir dizi invertör sisteminde, bir panelde gölgeleme veya arıza meydana gelirse, bu durum tüm panel dizisinin performansını etkileyebilir. Mikro invertörlerde her bir panel bağımsız olarak çalıştığı için bir panelin arızalanması sistemdeki diğer panellerin çıkışını etkilemeyecektir. Bununla birlikte, mikro invertörlerin bir dezavantajı, özellikle daha büyük PV sistemleri için geleneksel dizi invertörlerden daha pahalı olabilmeleridir. Ek olarak, mikro invertörler her bir panele monte edildiğinden, geleneksel invertörlere kıyasla kurulumu ve bakımı daha karmaşık olabilir. Genel olarak, mikro invertörler, bireysel panel performans optimizasyonunun önemli olduğu küçük veya orta ölçekli PV sistemleri için iyi bir seçenek olabilir. Ancak, daha büyük sistemler için geleneksel dizi invertörleri daha uygun maliyetli bir seçenek olabilmektedir.

3.4.4 Merkezi ve Dizi Eviricilerin Karşılaştırılması

Fotovoltaik (PV) sistemler, güneş enerjisinden elektrik üretmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Fotovoltaik sistemlerde iki tip evirici kullanılır: merkezi evirici ve dizi evirici. İşte iki invertör tipinin bir karşılaştırması.

Sistem Boyutu: Merkezi invertörler tipik olarak daha büyük PV sistemlerinde kullanılırken dizi invertörler daha küçük sistemler için uygundur.

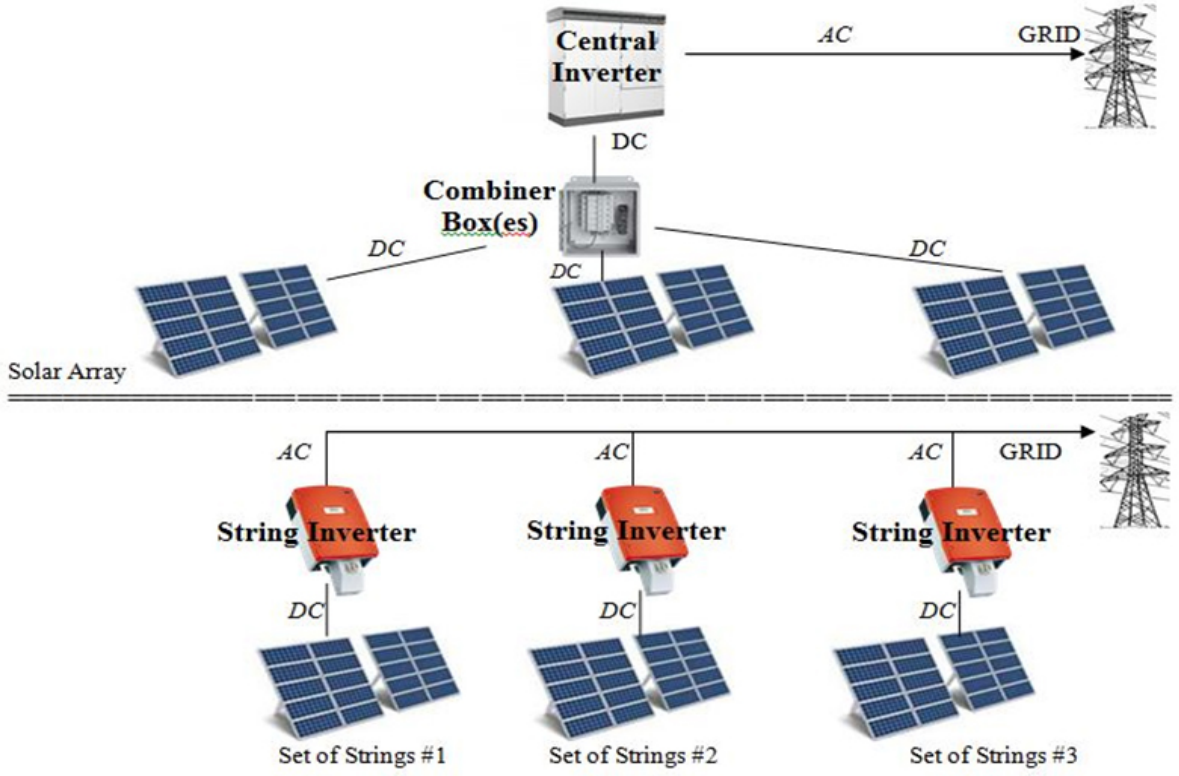
Verimlilik: Merkezi invertörler, daha büyük bir güç derecesine sahip oldukları ve daha yüksek bir giriş voltajıyla başa çıkabildikleri için dizi invertörlerinden daha verimlidir. Bu, daha az güç kaybı ve daha yüksek enerji verimi ile sonuçlanır.

Maliyet: Merkezi invertörler, daha büyük boyutları ve daha yüksek güç değerleri nedeniyle genellikle dizi invertörlerden daha pahalıdır. Bununla birlikte, daha fazla invertör ihtiyacı nedeniyle sistem boyutu arttıkça dizi invertörlerin maliyeti artabilir.

İzleme: Merkezi inverterler tüm sistemin merkezi olarak izlenmesini sağlarken dizi inverterler her bir dizinin izlenmesini gerektirir. Bu, merkezi bir inverter ile sistemdeki sorunları tanımlamayı kolaylaştırır.

Bakım: Merkezi eviricilerin bakımı daha kolaydır çünkü genellikle merkezi bir konuma kurulurlar ve daha az kablolama gerektirirler. Dizi invertörler daha fazla kablolama gerektirir ve birden fazla yere kurulur, bu da bakımı zorlaştırabilir.

Ölçeklenebilirlik: Dizi eviricileri, kolayca eklenebildikleri veya çıkarılabildikleri için merkezi eviricilere göre daha ölçeklenebilirdir. Bu, dizi invertörlü bir FV sistemini genişletmeyi veya değiştirmeyi kolaylaştırır. Özetle, merkezi invertörler daha büyük PV sistemleri için daha uygundur, daha verimlidir ve bakımı daha kolaydır, ancak aynı zamanda daha pahalıdır. Öte yandan, dizi invertörleri daha küçük sistemler için daha uygundur, daha ölçeklenebilir ve uygun maliyetli olabilir, ancak daha fazla izleme ve bakım gerektirir. Sonuç olarak, merkezi ve dizi invertörler arasındaki seçim, FV sisteminin özel ihtiyaçlarına ve gereksinimlerine bağlıdır. Örnek bir FV sistemin merkezi ve dizi eviriciler ile yapılan system tasarımı Şekil 3.10’da belirtilmiştir.

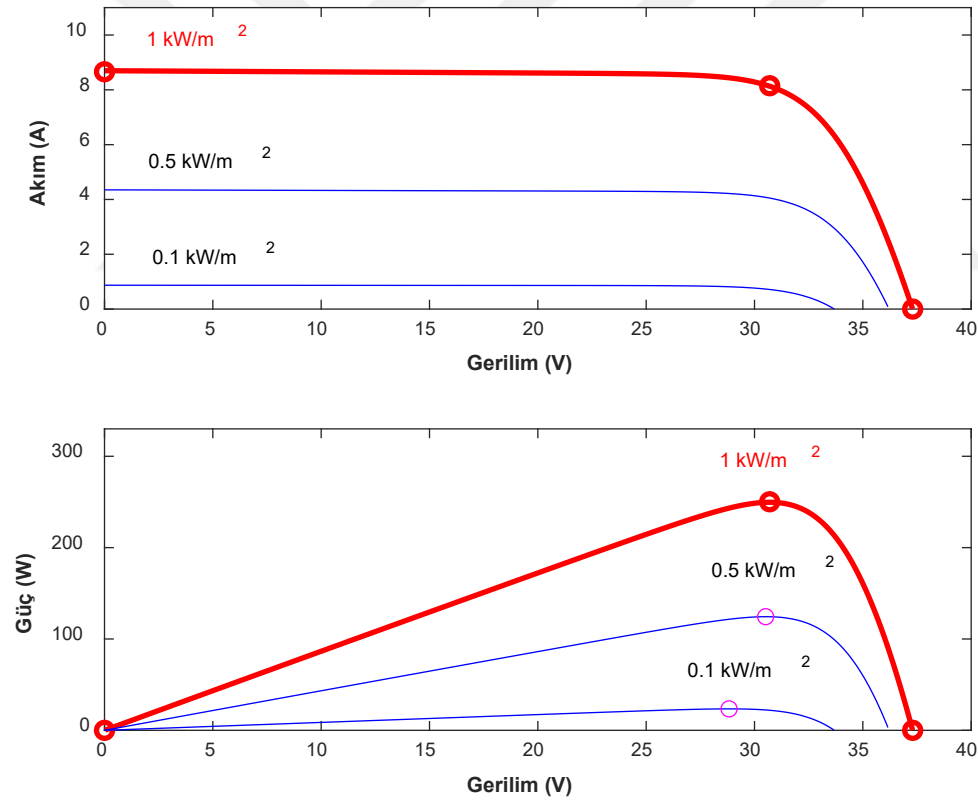


Şekil 3.10. Merkezi ve dizi eviriciler ile örnek bir fotovoltaik sistem tasarımı[38].

3.4.5 Eviricilerde Verimlilik ve Elektriksel Özellikler

İnvertörler, güneş panelleri tarafından üretilen doğru akım (DC) elektriğini ev aletleri tarafından kullanılabilen veya şebekeye beslenebilen alternatif akım (AC) elektriğine dönüştürerek fotovoltaik (PV) sistemlerde kritik bir rol oynar. Eviricilerin verimliliği ve elektriksel özellikleri, bir PV sisteminin performansını ve çıkışını etkileyen temel faktörlerdir. Verimlilik, bir invertörün performansını değerlendirmek için kullanılan birincil parametrelerden biridir. Yüzde olarak ifade edilen AC güç çıkışının DC güç girişine oranını temsil eder. Daha yüksek verimliliğe sahip invertörler, güneş panelleri tarafından üretilen DC gücünün daha fazlasını kullanılabilir AC gücüne dönüştürerek daha yüksek enerji verimi ve daha düşük kayıp sağlar. İnverterlerin elektriksel özellikleri, çıkış gerilimleri ve frekansları da dahil olmak üzere, uyumluluk ve güvenli çalışma sağlamak için şebekenin veya ev aletlerinin elektrik gereklilikleriyle uyumlu olmalıdır. Ek olarak, eviricinin maksimum güç noktası izleme (MPPT) yeteneği, değişen çevre koşullarında güneş panellerinin enerji çıkışını maksimize etmede kritik öneme sahiptir. Evirici verimliliği, evirici tipine ve yük koşullarına bağlı olarak

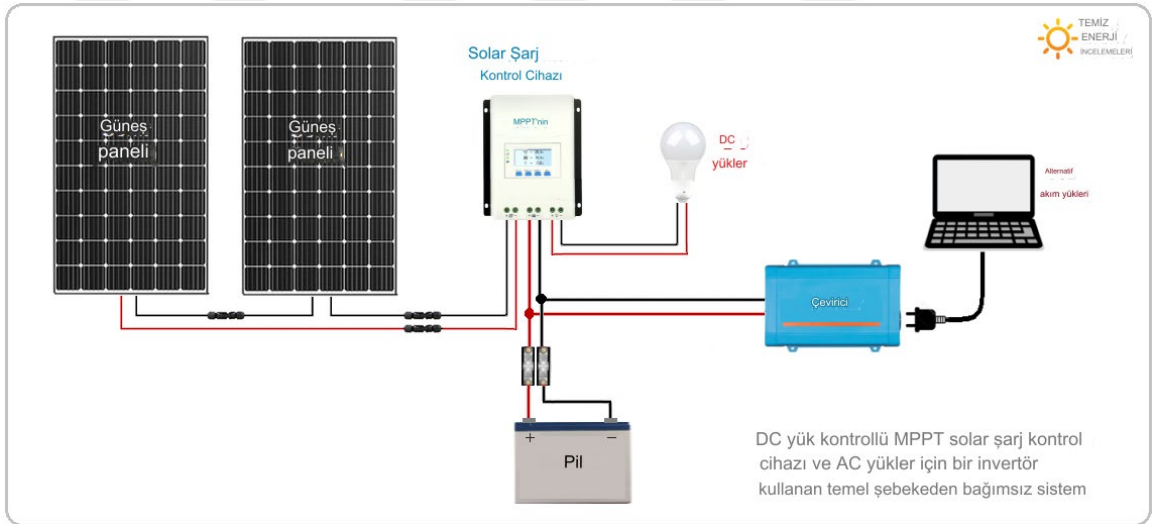
değişebilir. PV sistemlerinde yaygın olarak kullanılan invertör tiplerinden bazıları dizi invertörleri, mikro invertörleri ve güç optimize edicileri içerir. Dizi invertörler tipik olarak daha büyük PV sistemlerinde kullanılır ve bir dizi güneş paneline bağlı tek bir DC girişine sahipken, mikro invertörler ve güç optimize ediciler daha küçük sistemlerde kullanılır ve her bir güneş paneline bağlı bir DC-AC dönüştürme ünitesine sahiptir. Sonuç olarak, eviricilerin verimliliği ve elektriksel özellikleri, bir PV sisteminin performansını ve çıkışını etkileyen çok önemli faktörlerdir. Optimum enerji verimi ve güvenli çalışma elde etmek için sistemin boyutuna ve elektrik gereksinimlerine uygun bir invertör seçmek önemlidir. FV panel dönüşüm verimleri çok düşük olduğundan FV hücrelerin maksimum güç noktasında (MPP – Maximum Power Point) çalışması çok önemlidir. FV hücrelerin Şekil 3.11’de bir fotovoltaik sistemin IV ve PV özelliklerine sahip güç voltajı eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Bir fotovoltaik sistemin IV ve PV özelliklerine sahip güç voltajı eğrisi[39].

Bir fotovoltaik (PV) sistemde, PV paneller tarafından üretilen doğru akımı (DC) evler, işyerleri veya evlerde kullanılabilen alternatif akıma (AC) dönüştürmek için maksimum güç noktası izlemeli (MPPT) bir invertör sistemi kullanılır. Evirici sisteminin MPPT

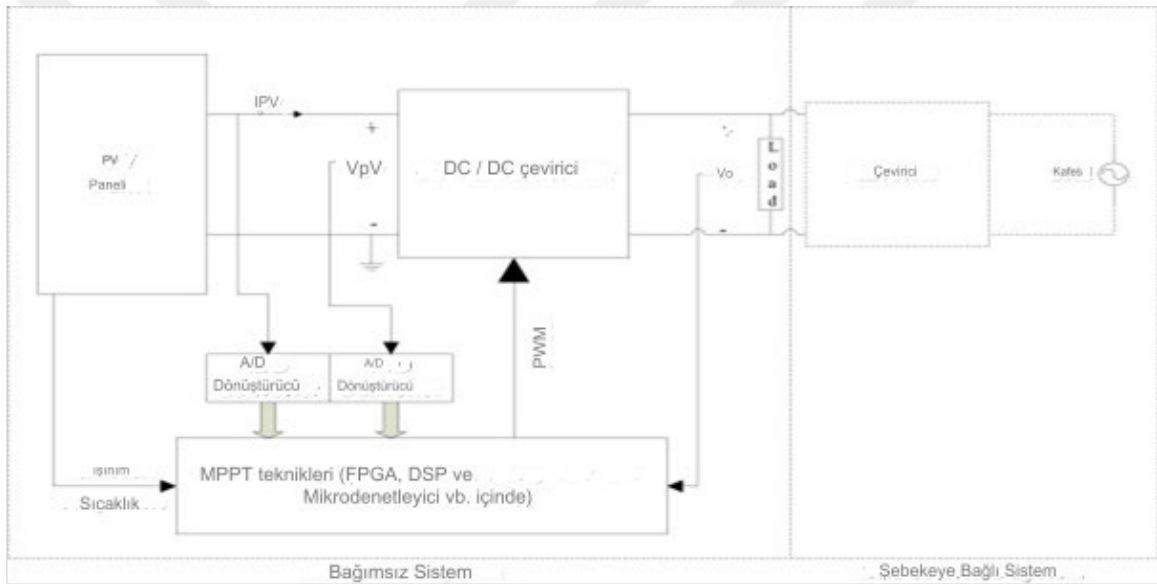
işlevi önemlidir, çünkü PV panellerin maksimum verimlilikte çalışmasına izin verir, bu da üretilen elektrik miktarını en üst düzeye çıkarır. MPPT sistemi, PV panellerin voltaj ve akım çıkışını sürekli olarak izler ve panellerin maksimum güç noktasında, yani panellerin belirli miktarda güneş ışığı için en fazla gücü ürettiği nokta olan, çalışmasını sağlamak için voltajı ayarlar. Evirici sistemi, PV panellerinden gelen DC gücünü evler veya işyerleri tarafından kullanılabilen AC gücüne dönüştürür. Evirici ayrıca, FV sistem tarafından üretilen gücün şebekedeki diğer tüketiciler tarafından kullanılabilmesini sağlamak için ürettiği AC gücünü şebeke gücüyle senkronize eder. Genel olarak, MPPT'li evirici sistemi, sistemin maksimum verimlilikte çalışmasını ve sistem tarafından üretilen gücün evler, işyerleri ve şebeke tarafından kullanılabilmesini sağladığı için bir PV sisteminin kritik bir bileşenidir. Aşağıdaki Şekil 3.12'de MPPT'li bir evirici sistemi gösterilmiştir.



Şekil 3.12. MPPT'li evirici sistemi[40].

Bir fotovoltaik (PV) sistem, güneş ışığını fotovoltaik hücreler kullanarak doğrudan elektriğe dönüştüren bir sistemdir. Bir PV sisteminin çıkış gücü büyük ölçüde hücreler üzerine düşen güneş ışığının yoğunluğuna ve hücrelerin sıcaklığına bağlıdır. Bir PV sisteminin maksimum güç noktası (MPP), sistemin maksimum güç çıkışı üretebildiği noktadır. Maksimum güç noktası izleme (MPPT), sistemin MPP'sini gerçek zamanlı olarak izleyerek bir PV sisteminin çıkış gücünü en üst düzeye çıkarmak için kullanılan bir tekniktir. MPPT önemlidir, çünkü bir PV sisteminin MPP'si güneş ışığının ve sıcaklığın yoğunluğundaki değişimler nedeniyle değişebilir ve bu nedenle sistem MPP'sinde çalışmıyorsa, sistemin çıkış gücü olası maksimum çıkış gücünden önemli

ölçüde daha az olabilir. MPPT, PV sisteminin MPP'sinde çalışmasını sağlamak için çalışma koşullarını sürekli olarak ayarlayan bir kontrol sistemi kullanılarak elde edilir. Kontrol sistemi, PV sisteminin çıkış voltajını ve akımını ölçer ve sistemin MPP'de çalışmasını sağlamak için giriş voltajını ve akımını ayarlar. Değiştir ve gözlemler, artımlı iletkenlik ve tepe tırmanma algoritmaları dahil olmak üzere MPPT'yi uygulamak için farklı teknikler vardır. Bu teknikler, karmaşıklıkları ve performans özellikleri bakımından farklılık gösterir ve teknik seçimi, PV sisteminin özel gereksinimlerine bağlıdır. Genel olarak, MPPT, sistemin değişen çalışma koşullarında mümkün olan maksimum çıkış gücünde çalışmasını sağlayarak verimliliğin ve enerji veriminin artmasına yol açtığı için bir PV sisteminin kritik bir bileşenidir. Aşağıda Şekil 3.13'de Maksimum güç noktası takip algoritması gösterilmektedir.



Şekil 3.13. Maksimum güç noktası takip algoritması[41].

3.5 Batarya (Opsiyonel)

Fotovoltaik (PV) sistemler güneş ışığından elektrik üretir ve genellikle güneş ışığı olmadığında fazla enerjiyi depolamak için piller kullanır. İşte fotovoltaik sistemlerdeki piller hakkında bazı teknik ayrıntılar aşağıdaki gibidir;

Pil Türleri: Kurşun-asit, lityum-iyon ve akış pilleri dahil olmak üzere PV sistemlerinde yaygın olarak kullanılan çeşitli pil türleri vardır.

Kapasite: Bir pilin kapasitesi amper-saat (Ah) cinsinden ölçülür ve pilin depolayabileceği enerji miktarını temsil eder. Bir PV sisteminde kullanılan bir pilin kapasitesi, sistemin enerji talebine ve ihtiyaç duyulan depolama süresine bağlıdır.

Şarj Etme ve Boşaltma: Bir PV sisteminde pillerin şarj edilmesi ve boşaltılması, pillerin hasar görmesini önlemek ve sistemin verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için dikkatli bir şekilde kontrol edilmelidir. Şarj işlemi, PV modüllerinin DC çıkışını, pilleri şarj etmek için kullanılan AC gücüne dönüştürmeyi içerir. Boşaltma işlemi, pillerde depolanan DC gücün sistem tarafından kullanılmak üzere AC gücüne dönüştürülmesini içerir.

Deşarj Derinliği: Bir pilin deşarj derinliği (DoD), her deşarj döngüsü sırasında kullanılan kapasitesinin yüzdesidir. Bir PV sistemindeki bir pilin DoD'si, sistemin enerji talebine ve pilin kapasitesine bağlıdır.

Sıcaklık: Bir PV sistemindeki pillerin sıcaklığı performanslarını ve ömürlerini etkileyebilir. Piller, verimliliklerini ve ömürlerini en üst düzeye çıkarmak için önerilen bir sıcaklık aralığında tutulmalıdır.

Bakım: Pilleri iyi durumda tutmak ve uzun süreli performanslarını sağlamak için düzenli bakım önemlidir. Bu, pil voltajının izlenmesini, hasar belirtilerinin kontrol edilmesini ve pil terminallerinin temizlenmesini içerir. FV sistemde üretilen enerjiyi depo eden bataryalar Şekil 3.14'te verilmiştir.



Şekil 3.14. Fotovoltaik sistemde üretilen enerjiyi depo eden bataryalar [42].

3.6 Şarj Kontrol Ünitesi (Opsiyonel)

Bir fotovoltaik (PV) sistem şarj regülatörü, bir güneş enerjisi sistemindeki bir pil bankasının şarj edilmesini düzenleyen bir cihazdır. Güneş panelleri, akü bankası ve yük arasında bir arayüz görevi görür. Bir şarj kontrol cihazının birincil işlevi, pil bankasının aşırı şarj edilmesini veya yetersiz şarj edilmesini önlemektir. Aşırı şarj, pilin hasar görmesine neden olabilirken, yetersiz şarj, pil ömrünün ve kapasitesinin azalmasına neden olabilir. İki ana şarj kontrol cihazı türü vardır: PWM (darbe genişliği modülasyonu) ve MPPT (maksimum güç noktası takibi). PWM kontrolörleri, aküye sağlanan voltajı kontrol ederek çalışırken, MPPT kontrolörleri, güneş panellerinden aküye güç aktarımını optimize etmek için akımı ayarlar. Bazı şarj kontrol cihazları ayrıca, güç yüklerine güç sağlamak için pil bankasından ne zaman ve ne kadar güç çekileceğini kontrol etmenizi sağlayan yük kontrolü ve pil ömrünü optimize etmek için şarj voltajını pil sıcaklığına göre ayarlayan sıcaklık dengelemesi gibi ek özellikler de sunar. Genel olarak, bir şarj kontrolörü, herhangi bir şebeke dışı veya hibrit güneş enerjisi sisteminin temel bir bileşenidir, çünkü pil bankasının düzgün bir şekilde şarj edilmesini ve bakımının yapılmasını sağlamaya yardımcı olarak sisteminizin verimliliğini ve ömrünü en üst düzeye çıkarır.

3.7 Fotovoltaik Sistemlerde Enerji Döngüsü

Fotovoltaik (PV) sistemler, bazı materyaller fotonları (hafif parçacıklar) emdiğinde ve elektronları serbest bırakarak bir elektrik akımı oluşturduğunda meydana gelen fotovoltaik etki yoluyla güneş ışığını elektriğe dönüştürür. Bir PV sistemindeki enerji döngüsü birkaç adımdan oluşur:

Güneş ışığının emilmesi: Güneş ışığı bir PV hücresinin üzerine geldiğinde, hücrenin yarı iletken malzemesi fotonları emer.

Elektron-boşluk çiftlerinin üretimi: Emilen fotonlar, yarı iletken malzemede elektron-delik çiftleri (eksitonlar olarak da adlandırılır) üretir. Elektronlar negatif yüklü parçacıklardır ve delikler yarı iletken bir elektronun eksik olduğu pozitif yüklü boşluklardır.

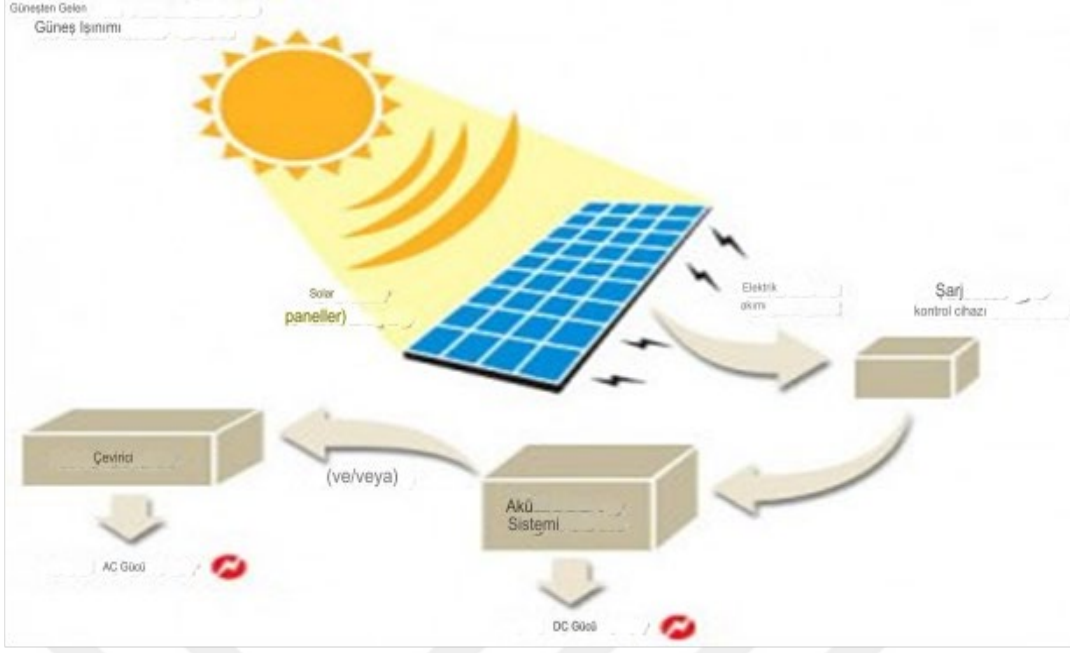
Elektron-boşluk çiftlerinin ayrılması: Elektron-delik çiftleri, yarı iletken malzemede bir iç elektrik alanı ile ayrılır. Bu elektrik alanı, yarı iletkenin fazla elektronlu bölgeler (n-tipi) ve eksik elektronlu bölgeler (p-tipi) oluşturan safsızlıklarla katkılanmasıyla oluşturulur.

Elektronların toplanması: Serbest elektronlar, metal tel gibi iletken bir malzeme aracılığıyla hücreden dışarı akar ve elektrik olarak kullanılabilir.

Elektron-boşluk çiftlerinin yenilenmesi: Elektronlar toplandıktan sonra geride kalan boşluklar, havadaki oksijen ile kimyasal reaksiyon yoluyla yeniden üretilir.

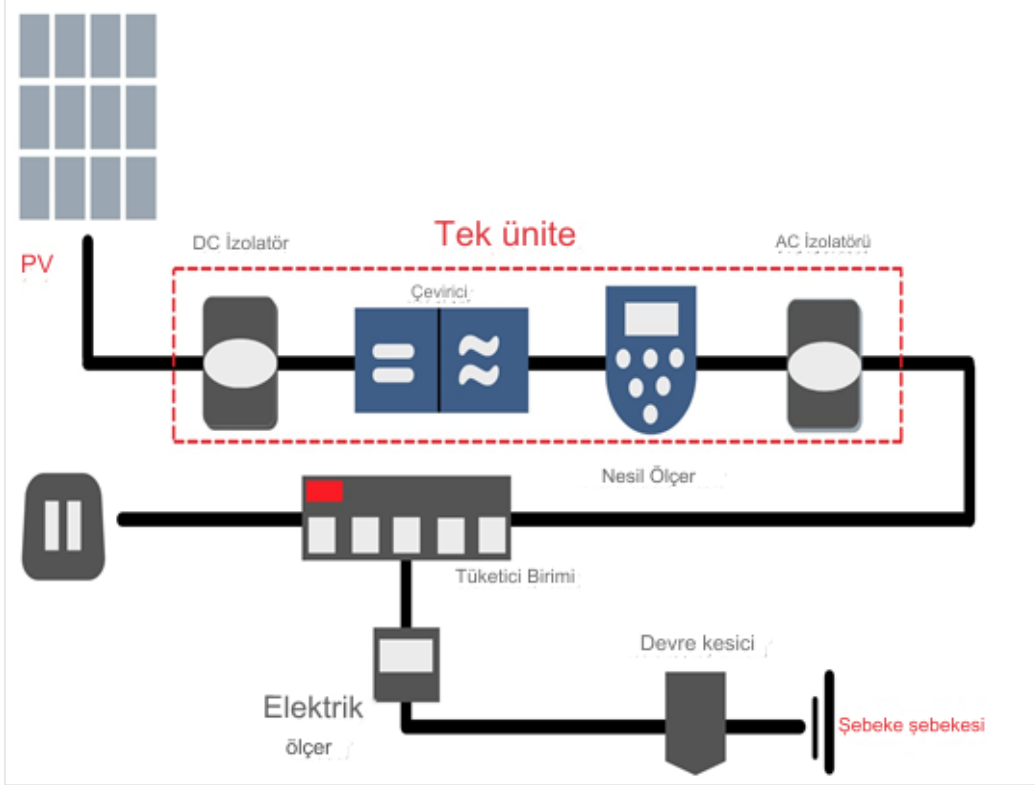
Elektriğin dönüştürülmesi: PV hücresi tarafından üretilen elektrik, elektrikli cihazlara güç sağlamak için kullanılabilir, bir pilde depolanabilir veya şebekeye geri beslenebilir.

Bir PV sistemindeki enerji döngüsü, elektron deliği çiftleri oluşturmak için güneş ışığı olduğu sürece süreklidir. Bir PV sisteminin verimliliği, yarı iletken malzemenin kalitesi, PV hücresinin tasarımı ve güneş ışığının yoğunluğu ve açısı gibi faktörlere bağlıdır. Elektrikle çalışan ekipmanlar bu bölümde bulunmaktadır. Şekil 3.15'te FV sistem enerji döngüsü gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Fotovoltaik sistemde enerji döngüsü. [43].

Şekil 3.16’da FV sistemlerin ışıınımdan başlayarak enerjinin üretilmesine kadar olan enerji döngüsü verilmektedir. Buna göre;



Şekil 3.16. FV sistemlerde üretimden tüketime enerji döngüsü. [44].

3.8 Fotovoltaik Sistemlerin Kurulum Tipleri

Fotovoltaik (PV) sistemler, uygulamaya ve gereksinimlere bağılı olarak çeşitli şekillerde kurulabilir. İşte yaygın olarak kullanılan dört yükleme türü:

Şebekeye bağılı PV sistemleri: Bu tip PV sistemi elektrik şebekesine bağılıdır ve PV sistemi tarafından üretilen elektrik şebekeye beslenir. Şebekeye bağılı PV sistemleri depolama için pil gerektirmez ve fazla elektrik şebekeye geri satılabilir veya aynı şebekeye bağılı diğerk tüketiciler tarafından kullanılabilir.

Şebekeden bağımsız PV sistemleri: Şebekeden bağımsız PV sistemleri elektrik şebekesine bağılı değildir ve genellikle şebekeye erişimin olmadığı uzak yerlerde kullanılır. Bu sistemler, daha sonra gerektiğinde kullanılacak olan PV sistemi tarafından üretilen elektriğı depolamak için pillere ihtiyaç duyar.

Hibrit PV sistemleri: Hibrit PV sistemleri, PV teknolojisini rüzgar türbinleri veya dizel jeneratörler gibi diğerk elektrik üretim biçimleriyle birleştirir. Bu sistemler, elektrik şebekesinin güvenilir olmadığı veya kullanılmadığı alanlara güç sağlamak için kullanılabilir.

Bina Entegre PV sistemleri (BIPV): BIPV sistemleri binanın mimarisine entegre edilmiştir ve çatı, cephe veya pencere gibi yapı malzemeleri olarak hizmet verebilir. Bu sistemler, PV sisteminin binanın tasarımına sorunsuz bir şekilde entegre edilmesini sağlayarak PV sisteminin görsel etkisini azaltır.

Aşağıdaki Şekil 3.17’de arazi kurulumlu fotovoltaik sistem örneğı verilmiştir.



Şekil 3.17. Arazi kurulumlu fotovoltaik sistem örneğı[45].

3.8.1 Arazi Tipi Fotovoltaik Sistemler

Kara tabanlı fotovoltaik (PV) sistemler, bir çatı veya başka bir bina yapısı yerine zemine kurulan güneş enerjisi sistemleridir. Bu sistemler, güneş ışığını doğru akım (DC) elektriğine dönüştüren ve daha sonra evlerde ve işyerlerinde kullanım veya şebekeye besleme için alternatif akım (AC) elektriğine dönüştürülen güneş panellerinden oluşur.

Aşağıdakiler de dahil olmak üzere çeşitli kara tabanlı PV sistemleri vardır:

- Sabit eğimli sistemler: Aldıkları güneş ışığı miktarını maksimuma çıkarmak için sabit bir açıda kurulan sabit sistemlerdir. Açı tipik olarak sistemin kurulduğu yerin enlemine göre ayarlanır.
- Tek eksenli takip sistemleri: Bu sistemler, güneşin hareketini takip etmek ve buna göre panellerin açısını ayarlamak için sensörler kullanır. Bu, gün boyunca daha fazla güneş ışığı yakalamalarına ve genel enerji çıktılarını artırmalarına olanak tanır.
- Çift eksenli izleme sistemleri: Bu sistemler, tek eksenli izleme sistemlerine benzer, ancak güneş açısındaki mevsimsel değişiklikleri hesaba katmak için panellerin yönünü de ayarlar.
- Zemine monte sistemler: Direklere veya diğer destek yapılarına değil, doğrudan zemine kurulan sistemlerdir. Sabit-tilt veya takip sistemleri olabilirler.

Kara tabanlı PV sistemleri, küçük konut sistemlerinden büyük kamu hizmeti ölçekli kurulumlara kadar çok çeşitli uygulamalar için kullanılabilir. Elektrik üretiminin uygun maliyetli ve sürdürülebilir bir yoludur ve son yıllarda güneş panellerinin maliyeti düşmeye devam ettikçe giderek daha popüler hale geldiler.

Arazi tipi FV sistemler genel olarak geniş, şebeke ölçeğinde FV sistemlerde kullanılır. Bu FV system tiplerinde paneller, Şekil 3.18'de görülebileceği üzere Sivas OSB bölgesinde kabulünü yaptığımız yere monte edilmiş olan konstrüksiyonlar üzerine monte edilirler.



Şekil 3.18. Karatabanlı fotovoltaik sistem örneği.

3.8.2 Çatı Üstü Fotovoltaik Sistemler

Çatı üstü fotovoltaik (PV) sistemler, bir binanın çatısına kurulan güneş panellerini kullanarak güneş enerjisini elektriğe dönüştüren sistemlerdir. Bu sistemler aynı zamanda solar PV sistemleri veya çatı tipi solar sistemler olarak da bilinir. PV paneller, güneş ışığını emen ve onu DC elektriğine dönüştüren silikon hücrelerden oluşur. Bu elektrik daha sonra onu binada kullanılabilir veya şebekeye geri beslenebilecek AC elektriğine dönüştüren bir invertörden geçer. Çatı üstü PV sistemleri konut, ticari ve endüstriyel binalara kurulabilir. Sistemin boyutu, binanın enerji ihtiyacına ve mevcut çatı alanına bağlıdır. Tipik bir konut sistemi 1 ila 10 kilovat (kW) arasında değişebilirken, ticari ve endüstriyel sistemler çok daha büyük olabilir. Çatı üstü PV sistemlerinin faydaları arasında elektrik faturalarının düşürülmesi, karbon emisyonlarının azaltılması ve enerji bağımsızlığının artırılması yer alır. Elektrik kesintileri sırasında yedek güç kaynağı da sağlayabilirler. Bununla birlikte, çatı üstü PV sistemleriyle ilgili bazı zorluklar da vardır. Bunlar arasında ön kurulum maliyeti, düzenli bakım ihtiyacı ve yeterli çatı alanı ve güneş ışığına maruz kalma ihtiyacı yer alır. Ek olarak, düzenleyici ve teknik engeller bazı bölgelerde şebekeye bağlanmayı zorlaştırabilir. Aşağıda şekil 3.19’de Fabrika binalarının çatı üstü FV sistem örneği için bir görsel sunulmuştur.



Şekil 3.19. Fabrika binaları için çatı üstü fotovoltaik sistem örneği[46].

3.8.3 Kanal Üstü Fotovoltaik Sistemler

Kristal silikon güneş pilleri olarak da bilinen kanal fotovoltaik (PV) sistemleri, güneş ışığını elektriğe dönüştürmek için kullanılan bir tür güneş enerjisi teknolojisidir. Şu anda dünyada en yaygın kullanılan güneş pili teknolojisidir ve küresel güneş enerjisi pazarının %90'ından fazlasını oluşturmaktadır. Kanal PV sistemleri, bir p-n bağlantısı oluşturmak için safsızlıklarla katkılanmış silikon plakalardan oluşur. Güneş ışığı hücreye çarptığında, fotonlar silikon atomları tarafından emilir ve p-n bağlantısında bir elektron deliği çifti oluşturur. Ortaya çıkan elektron akışı, elektrikli cihazlara güç sağlamak için kullanılabilen bir elektrik akımı üretir. Kanal PV sistemleri, yüksek verimlilikleri ve uzun ömürleri ile bilinir. Bazı yeni modeller %25'e varan verimliliklere ulaşabilse de, genellikle %15-20 civarında bir verimliliğe sahiptirler. Ayrıca uygun bakım ile 25 yıl veya daha uzun süre dayanabilirler. Kanal PV sistemlerinin bir dezavantajı, ince film PV gibi diğer güneş enerjisi teknolojilerine kıyasla üretimlerinin nispeten pahalı olabilmesidir. Bununla birlikte, üretim yöntemleri daha verimli hale

geldikçe ve ölçek ekonomileri elde edildikçe, kanallı PV sistemlerinin maliyeti yıllar içinde azalmaktadır. Genel olarak, kanal PV sistemleri güneş ışığından elektrik üretmenin güvenilir ve verimli bir yoludur ve yenilenebilir enerjiye küresel geçişte önemli bir teknoloji olmaya devam etmeleri muhtemeldir. Bir yandan FV sistem kurulumu için arazi ihtiyacı karşılanırken, diğer yandan da görsel açıdan Şekil 3.20'deki gibi güzel örnekler oluşturulmaktadır.



Şekil 3.20. Kanal üstü fotovoltaik sistem örneği[47].

3.8.4 Açık Deniz Fotovoltaik Sistemleri

Açık deniz fotovoltaik (PV) sistemleri, okyanuslar, denizler ve göller gibi su kütlelerinde bulunan güneş enerjisinden elektrik üretmek için tasarlanmıştır. Açık deniz PV sistemleriyle ilgili bazı teknik veriler şunlardır:

Yüzer PV Paneller: Bu sistemler, deniz tabanına veya göl yatağına sabitlenmiş yüzer platformlar üzerine monte edilmiş PV panellerden oluşur. Sığ veya derin sularda konuşlandırılabilirler ve platformlar plastik, çelik ve beton dahil olmak üzere çeşitli malzemelerden yapılabilir.

Güç Çıkışı: Bir açık deniz PV sisteminin güç çıkışı, sistemin boyutu, PV panellerin verimliliği, güneş ışığı miktarı ve güneşin açısı gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Genel olarak, bir açık deniz PV sistemi, daha düşük sıcaklıklar ve su yüzeyinden yansıyan güneş ışığı nedeniyle kara tabanlı bir sistemden %10-20 daha fazla enerji üretebilir.

Bakım: Bir açık deniz PV sisteminin bakımı, zorlu deniz ortamı nedeniyle kara tabanlı bir sistemden daha zorlayıcı olabilir. Verimliliği azaltabilecek tuzu ve diğer kalıntıları gidermek için panellerin düzenli olarak temizlenmesi gerekir. Ek olarak, sistemin ankraj ve bağlama bileşenlerinin stabilitesini sağlamak için düzenli olarak kontrol edilmesi gerekir.

Çevresel Etki: Açık deniz PV sistemleri, geleneksel enerji üretim yöntemlerine göre daha düşük çevresel etkiye sahiptir. Ancak yine de deniz ekosistemleri üzerinde güneş ışığını engelleme ve su sıcaklığını değiştirme gibi bazı olumsuz etkileri olabilir. Bu nedenle, açık deniz PV sistemlerinin yerleşimi ve tasarımı, çevresel etkilerini en aza indirmek için dikkatle değerlendirilmelidir.

Maliyet: Bir açık deniz PV sisteminin maliyeti, yüzer platform, demirleme ve demirleme bileşenleriyle ilişkili ek maliyetler nedeniyle genellikle kara tabanlı bir sistemden daha yüksektir. Bununla birlikte, teknoloji ilerledikçe ve daha fazla proje geliştirildikçe, açık deniz PV sistemlerinin maliyeti düşmektedir. Örnek bir açık deniz FV sistem Şekil 3.21’de verilmiştir



Şekil 3.21. Açık deniz fotovoltaik sistem örneği[48].

3.8.5 Yüzer Fotovoltaik Sistemler

Yüzer fotovoltaik (PV) sistemlerin teknik özellikleri, belirli uygulamaya ve yere bağlı olarak değişebilir. Bununla birlikte, yüzer bir PV sisteminin nasıl görünebileceği

hakkında size bir fikir verebilecek bazı genel teknik veri noktaları aşağıda verilmiştir: Güneş paneli tipi ve verimliliği: Yüzer PV sistemleri, monokristal veya polikristal gibi farklı tipte güneş panellerini değişen verimliliklerle kullanabilir. Tipik verimlilikler ile % arasında değişir. Yüzer platform malzemesi: Güneş panellerini destekleyen yüzer platform, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), alüminyum veya beton gibi farklı malzemelerden yapılabilir. HDPE, düşük maliyeti, yüksek dayanıklılığı ve hafif yapısı nedeniyle yaygın bir malzeme seçimidir. Yüzer güneş enerjisi olarak da bilinen yüzen fotovoltaik (PV) sistemler, göller, göletler, rezervuarlar ve okyanuslar gibi su kütlelerine güneş panelleri kurmayı içeren bir teknolojidir. Bu sistemler popülerlik kazanıyor çünkü geleneksel kara tabanlı güneş sistemlerine göre çeşitli avantajlar sunuyorlar. Yüzer PV sistemlerinin ana avantajlarından biri, arazi kullanımını en üst düzeye çıkarmaya yardımcı olabilmeleridir. Dünyanın birçok yerinde arazi sınırlı bir kaynaktır ve güneş enerjisi sistemleri tarım, konut ve ticari geliştirme gibi diğer arazi kullanımlarıyla rekabet edebilir. Su kütlelerine güneş panelleri kurarak, başka amaçlar için kullanılacak araziyi kullanmadan güneş enerjisi üretmek mümkündür. Yüzer fotovoltaik sistemlerin bir diğer avantajı da kara tabanlı güneş sistemlerinden daha verimli olabilmeleridir. Suyun soğutma etkisi, güneş panellerinin sıcaklığını düşürmeye yardımcı olabilir, bu da verimliliklerini ve ömürlerini artırabilir. Ek olarak, su kütleleri genellikle güneş panellerine ulaşan güneş ışığı miktarını artırabilen yüksek bir yansıtıcılığa sahiptir. Yüzer PV sistemleri ayrıca rezervuarlardan ve diğer su kütlelerinden su buharlaşmasını azaltma potansiyeline sahiptir. Su yüzeyini güneş panelleri ile kaplayarak, su kaynaklarının kıt olduğu alanlarda özellikle önemli olabilen buharlaşma nedeniyle kaybedilen su miktarının azaltılmasına yardımcı olabilirler. Genel olarak, yüzen PV sistemleri, sürdürülebilir bir şekilde yenilenebilir enerji üretmek için umut verici bir teknoloji sunar. Hâlâ nispeten yeni olsalar da, devam eden araştırma ve geliştirmelerin verimliliklerini ve maliyet etkinliklerini iyileştirmeye devam etmesi muhtemeldir. Panel eğimi ve aralığı: Yüzer platformdaki güneş panellerinin eğimi ve aralığı, verimliliklerini etkileyebilir. Genel olarak, güneş panelleri, konumun enlemine bağlı olarak 5 ila 15 derecelik bir eğim açısında kurulur. Paneller arasındaki boşluk, kullanılan panelin boyutuna ve tipine göre de değişebilir. Ankraj sistemi: Yüzer platformu yerinde sabitlemek için kullanılan ankraj sistemi, su derinliğine, dalga ve rüzgar koşullarına ve sistemin büyüklüğüne göre değişiklik gösterebilir. Tipik olarak, ankraj sistemleri, yüzen platforma bağlı ağırlıklar veya ankrajlar kullanır. Elektrik bileşenleri: Yüzer PV sistemleri, güneş panellerini şebekeye veya pil deposuna

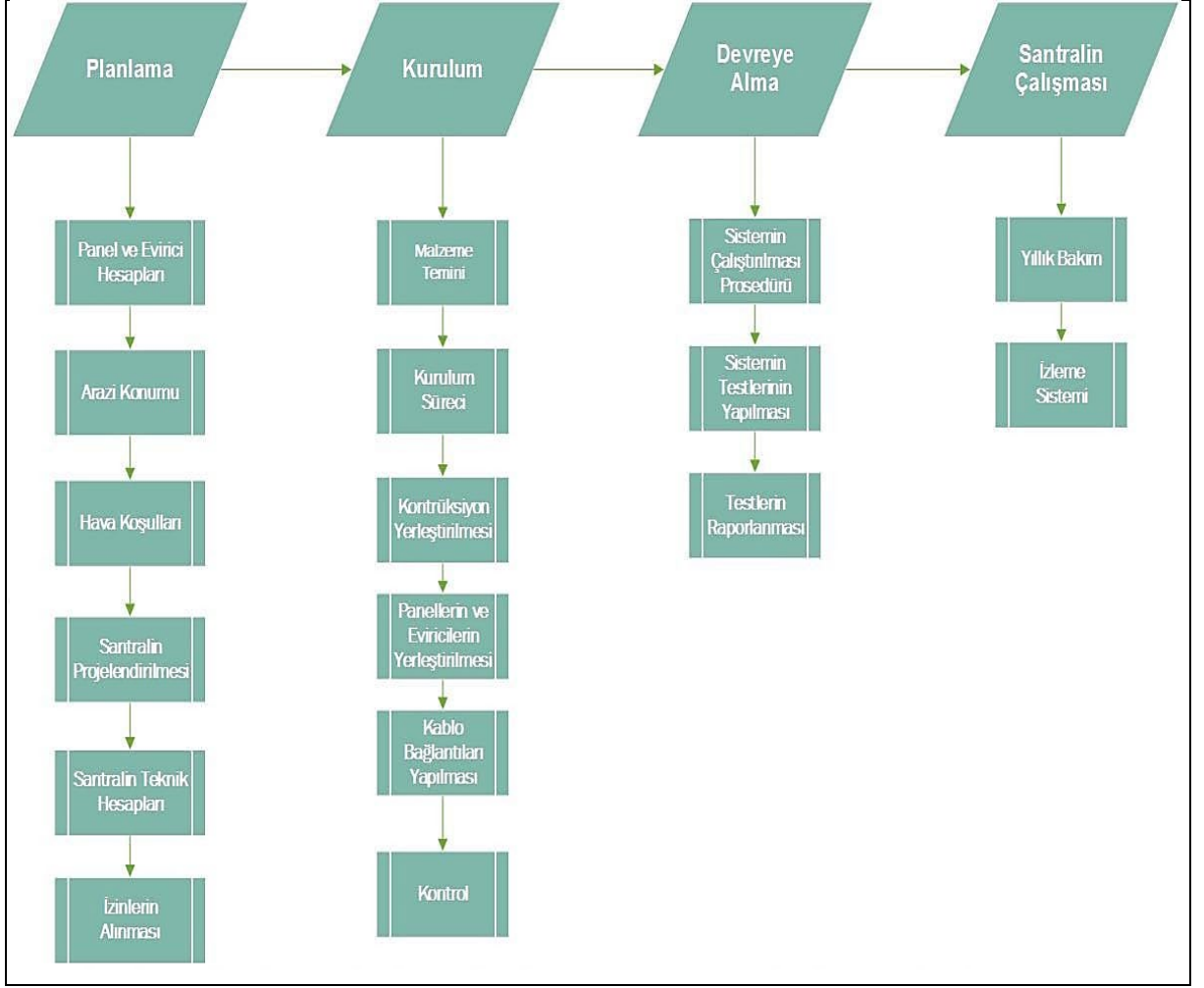
bağlamak için invertörler, kablolar ve konektörler gibi elektrikli bileşenler gerektirir. Bu bileşenler, sistemin boyutuna ve konumuna bağlı olarak değişebilir. Bakım ve izleme: Herhangi bir solar PV sistemi gibi, yüzer PV sistemleri de optimum performansı sağlamak için düzenli bakım ve izleme gerektirir. Bu, güneş panellerinin temizlenmesini, elektrikli bileşenlerin incelenmesini ve sistemin zaman içindeki performansının izlenmesini içerebilir. Genel olarak, yüzer PV sistemleri, belirli uygulamaya ve yere bağlı olarak teknik özelliklerinde değişiklik gösterebilir. Ancak, bu genel teknik veri noktaları, yüzer bir PV sisteminden ne bekleyeceğiniz konusunda size bir fikir verebilir. Örnek bir yüzer FV sistem Şekil 3.22’de verilmiştir.



Şekil 3.22. Yüzer fotovoltaik sistem örneği[49].

4. GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNDE TASARIM HATALARI

Güneş Enerjisi Santralleri, panellerinde yarı iletken malzemelerle donatılmış, güneşten gelen ışınları doğrudan elektriğe dönüştüren sistemlerdir. Tasarımlarında yapılan hatalar üretilen enerjinin miktarında kayıplara ve dolayısı ile maddi kayıplara neden olmaktadır. Kısaca tasarım aşamalarında yapılan hatalar geri dönüşü imkânsız kayıpları oluşturacak ve tesisin hedeflenen verimini düşürecektir. Tasarım evresi, projelendirme ve fizibilite analizi ile ilk olarak gerekli resmi izinlerin elde edilmesini gerektirir. Fizibilite aşaması santralin lokasyonuna göre senelik güneş alma durumu, yağış, sismik, kar, sıcaklık vb. verilerin kontrolü yapılarak santralin kurulum aşamasının ön çalışması yapılır. Tasarım evresinde kontrol edilen hususlarda, projesi ile, tesiste kullanılacak güneş paneli miktarı ve dönüştürücü modeli, ilk kurulum aşamasında yapılması gereken iş ve süreleri kapsamaktadır. Güneş Enerji Santralının bütün olağandışı olumsuz durumlarını da tasarlamak gerekecektir. Olağandışı olumsuzlukların arasında en fazla dikkat çeken olay evirici uyum ve güneş paneli problemidir. Bunun yanında dönüştürücülerin korunması ve güneş panelleri için, AC ve DC koruma sigortalarının tesis edilmesi, tesiste yıldırım korumasının ve topraklama sistemlerinin hesaplarının yapıldığına ilişkin ilk değerlendirme sağlanmalıdır. Bu aşamada Güneş Enerji Santrallerinin tasarım ve projelendirmesinde meydana gelebilecek hatalara yer verilmiştir. Aşağıda Şekil 4.1’de tasarım ve projelendirme aşamasından işletmeye kadar bütün adımları verilmiştir.



Şekil 4.1. Güneş Enerji Santralleri Kontrol Listesi ve Tasarım[50].

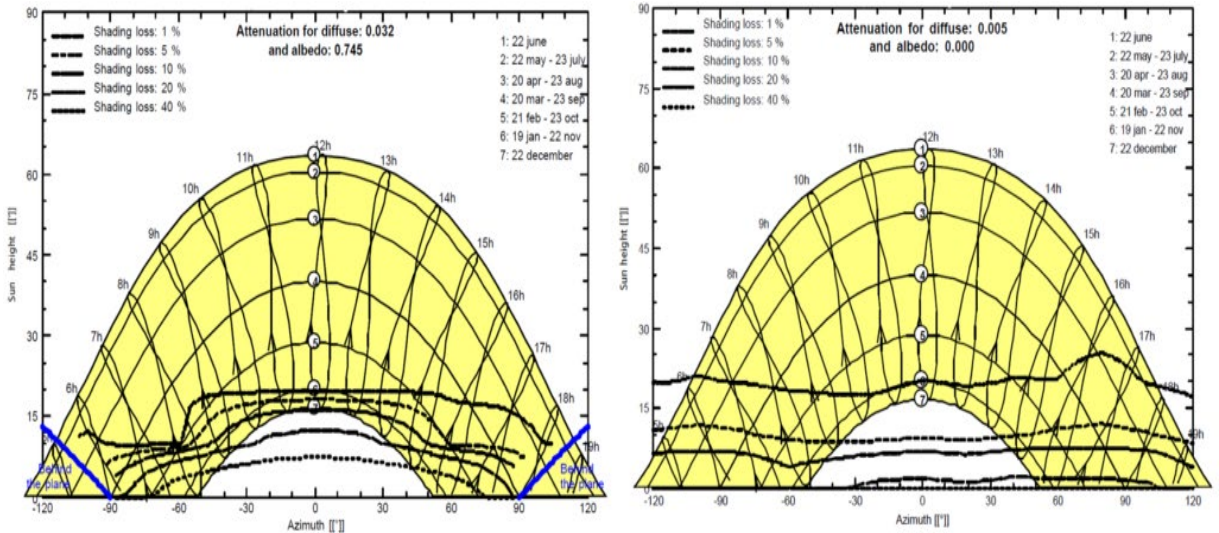
4.1. Fizibilite Analizi Hataları

Ülkemizde güneş enerjisine ilişkin sektörün önde gelenlerinin deneyimleri ve tesis edilen ekipmanların performans/fiyat durumları analizleri, güneş enerjisi yatırımlarının güvenli ve uygulanabilir bir enerji olduğu konusu ile değerlendirilmektedir. Hal böyle iken, yeni yapılacak olan yatırımlar için önemli bir fizibilite çalışmasının yapılması zorunlu hale gelmektedir, yapılacak ilk projesindeki minimum tasarım değişiklikleri de fizibilite için yapılan ön çalışmaları değiştirecektir. Güneş enerjisi santrallerine ilişkin bu sektördeki yatırımların bağlantı anlaşmalarındaki güçleri ile arazilerinin sınır koordinatları daha sonradan değiştirilemeyecek değerlerdir. Bu değerlerin hepsi projesinin üzerindeki tasarım değerlerini tayin ederek santrallerin şemasını ortaya koyacaktır. Bütün bu projelerin tasarlama aşamasında dikkat edilmesi gereken ve hata yapılmamasını gerektiren bir takım konular vardır. Teknoloji seçimi ve kurulabilir

kapasite çalışması hataları, iklim veri seti ve üretim profili oluşturulmaması hataları, kullanılabilirlik oranı için hesaplama hataları, performans oranındaki hesaplama değerleri üzerinde olmak üzere diğer fizibilite hataları bunlardan en önemlileridir. Bu bölümde güneş enerjisi tesislerinde karşılaşılan hatalar detaylı şekilde incelenmiştir.

4.1.1. Teknoloji Seçiminde ve Kurulabilir Kapasite Çalışması Hataları

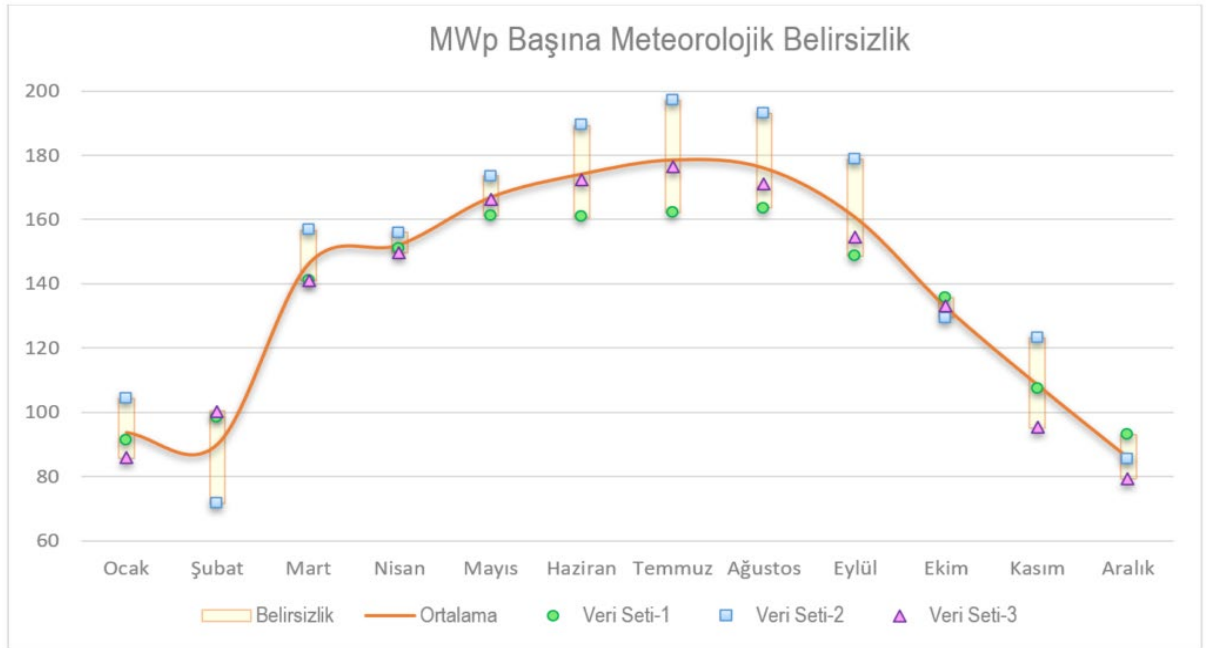
Bu aşamada güneş enerjisi santrallerine ilişkin, projelerinde kurulum sahası için maksimum tesis edilebilir kapasite çalışması yapılması amacı ile farklı teknolojiler kullanılır. Santral arazisindeki zeminin yüzeyi, zeminde yer alan tepelerin, etraf ve çevre ile güneş yolu çizgisinin kontrolü, panellere tesir edebilecek ve verimi düşürebilecek gölgelenme kontrolleri gibi çalışmalar bu aşamanın adımlarını meydana getirmektedir. Yapılan bu ön çalışmalar titizlikle yapılmalı ve santrallerin verimlilik hesaplamalarında en müsait teknolojilerin tercih edilmesi gerekir. Mesela; aşağıdaki örnekte yer alan sağdaki yer alan şekilde kuzey-güney eksenine sahip izleme sistemi, soldaki şekil sabit açılı konstrüksiyona sahip olup, örnek santralde eğim açısına ve gölgelenme mesafesine göre yıl içinde maruz kaldığı gölgelenme oranını saatlik dilimlerle göstermektedir. Şekilden de anlaşıldığı gibi sabit açılı izleme sisteminde günün doğuşu ve batışında kısa bir süre gölgelenmeye uğrasa da izlemeli sistemin yılın genelinde bu şekilde bir senaryo ile karşılaşmamaktadır. Bu şekildeki bir durum santralin üretim kayıplarına neden olacaktır. Aşağıda grafik Şekil 4.2’de sabit ve izlemeli konstrüksiyon sistem karşılaştırması adımları verilmiştir.



Şekil 4.2. Sabit ve İzlemeli Konstrüksiyon Sistem Karşılaştırması[51].

4.1.2. İklim Veri Seti ve Üretim Profili Oluşturulmaması Hataları

Santrallerin kendilerine özgü bir üretim analizi vardır. Bu analizi; yapılan teknik değerlendirmelerle beraber sıcaklık ve ışınım verilerinin dikkate alınarak detaylı analiz gerçekleştirilmesi oldukça önemlidir. Meteorolojik iklim verilerindeki herhangi bir değişiklik santral verimine etki edecektir. Bu nedenle projenin geri kazanımı etkilenecektir. Meteorolojik iklim verilerininin tayin ederken olası değişiklikleri sağlıklı bir şekilde yapmak projenin maliyet/kazanım esasını da oluşturacaktır. Mesela; aşağıda yer alan grafikte üç değişik meteorolojik data verisi ile hazırlanan ve santral aylık üretim değişiklik verilerini göstermektedir, santral üretimi verilerine ilişkin yıllık oranda %4,2'lik değişiklik oluşabileceğini göstermektedir. Burada santral üretim değerlendirmesi ile olası aylık değişikliklerinin farkı analiz edilerek maliyetlerin ödenmesine ilişkin süreçlerin planlaması sağlanmış olacaktır. Aşağıda Şekil 4.3'te güneş enerji santralleri meteorolojik veri seti değerleri verilmiştir.

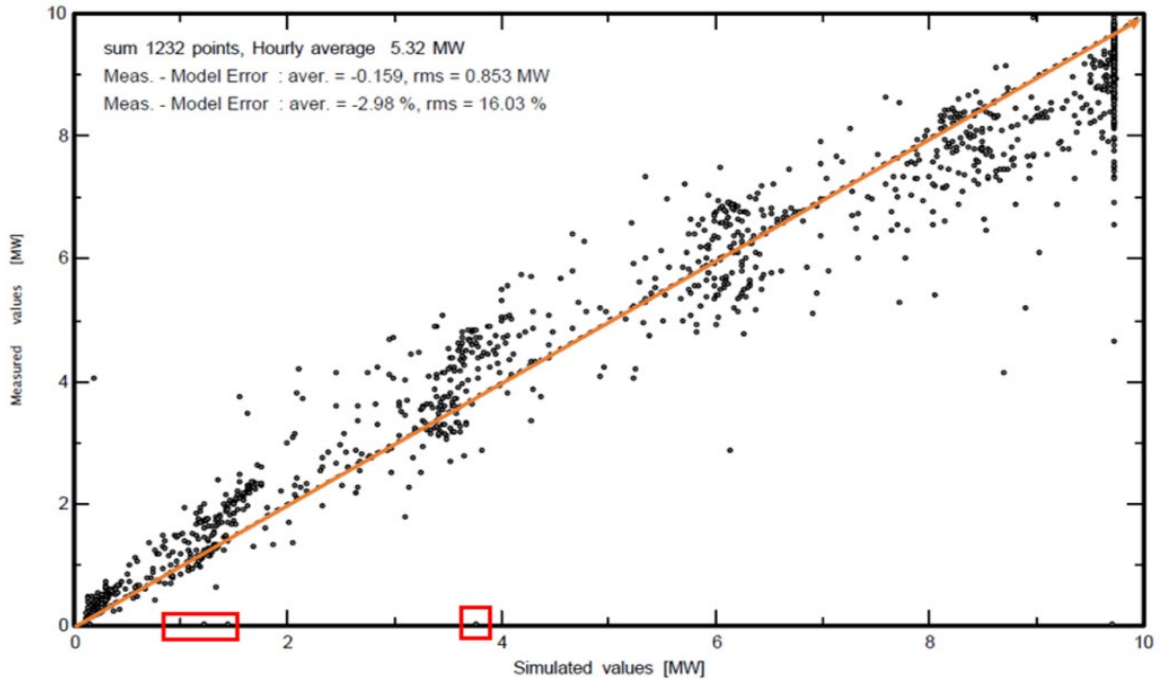


Şekil 4.3. Güneş Enerji Santralleri Meteorolojik Veri Seti Değerleri[52].

4.1.3. Kullanılabilirlik Oranı ve Performans Oranı Hesabı Hataları

Güneş enerjisi santralleri için genel olarak 25 yıllık bir süreç için yatırım yapıldığı hesap edilirse, işletme aşamasındaki kullanılabilirlik oranı ile performans oranı hesapları çok önemlidir ve bu analizlerinin belli aralıklarla yapılması mutlaka

sağlanmalıdır. Santral üretiminde hedeflenen amaçları ortaya koyamayan kısımlar ortaya konulur ve gereken reflekslerin alınması ile kayıpların daha fazla artmasının önüne geçilebilir. Santralleri işletme aşamasında belli performans oranını gerçekleştirmek şartı ile işletme-bakımını yapan şirketler devir alabilir. Bu evrede santral işletme-bakımının kalite seviyesi ile santralin üretim performansı hakkında bir yol haritası oluşturulması amacı ile santral performans oranının hesaplama yöntemlerini tatbik etmek gerekecektir. Aşağıda yer alan Şekil 4.4'teki çalışmada; işletmeye giren bir santralin belli bir sürede (3 aylık değerler) performans analiz çalışmasını ifade etmektedir. Rengi turuncu çizginin alt kısmında bulunan saatlerde amaçlanandan daha düşük seviye, çizgi üstünde yer alan saatlerde ise daha yüksek bir performansın olduğu görülmektedir. Rengi kırmızı olan geometrik şekillerin içinde bulunduğu saatlerin santralin işletme kullanılabilirliği konusunda gereken bilgiyi sağladığı görülmektedir.



Şekil 4.4. Güneş Enerji Santralleri PR Doğrulama 53].

4.2. Diğer Fizibilete Hataları

- Güneş enerjisi santrallerinde kurulumdan önce arazi kontrolünde geoteknik analizler ile sismik analiz yapılmaması.
- Jeoteknik analizden sonra sonucun getireceği verilere göre sismik analizler yapılarak kurulumun yapılmaması. Bu analizlerle kar yükü, rüzgâr hızı, deprem

gibi hesaplara dikkat edilerek tasarlanan santrallerin hasar alma risklerine karşı önlem alınmaması.

- Tesis edilecek Güneş panelleri ile Eviricilerin proje ve tasarımına uygun olacak şekilde belirlenmemesi
- Güneş panelleri ile Eviricilerin arasında yapılması gereken uyumluluk hesaplarının yanlış yapılması
- Güneş panelleri ile Eviriciler arasındaki uyumluluk hesabı çalışmalarının uygun modellerle yapılmaması
- DC kabloların toplanma panoları ile topraklama ve yıldırım koruma sisteminin hatalı tasarlanmış olması
- Panellerin konumlandırılmasında gölgelemeye dikkat edilmemesi
- Bölgenin konumuna göre güneş miktarı ölçülmemesi veya hatalı ölçüm yapılması
- Kurulum yapılacak arazinin detaylı haritasının çıkarılmaması
- Kurulum yapılacak arazinin jeoteknik analizi yapılmaması veya hatalı yapılması
- Jeoteknik analiz çalışmaları önerilerinin dikkate alınmaması
- Bölgenin konumuna göre hava koşulları ve meteorolojik verilerin incelenmemesi (Sıcaklık, Kar, Nem, Rüzgar Hızı, Dolu, Yağmur)
- Santralin kurulacağı arazide jeolojik yapının kontrol edilmemesi
- Santral arazisinde laboratuvar testlerinin neticelerine göre uygun olan toprak zemin özelliklerinin belirlenmemesi
- Statik analiz çalışmaları önerilerinin dikkate alınmaması
- Laboratuvarda yapılması gereken Jeoteknik analizlerin test sonuçlarına uygun olarak çelik konstrüksiyon ekipmanların yapısının hatalı olarak belirlenmesi veya belirlenmeden yapılması
- Temel atılacak betonun kimyasal özelliği belirlenmemesi veya hatalı belirlenmesi
- Yapılacak çalışmaların ve kullanılacak ekipmanın standartlara uygun olmaması
- Resmi Kurumlardan alınacak izinler hakkında yeterli araştırma yapılmaması
- Projenin bütün süreçlerinde mevzuatın hükmettiği sürelerinin hesaplanmaması
- Enerji üretim ve tüketim dengesinin gözetilmemesi
- Sistem kapasitesi dikkate alınmadan verilen çağrı mektuplarını ve bağlantı görüşlerinin hatalı olması

- Doğru fizibiliteye uygun proje hazırlanmaması
- Projesinin, uygun fizibiliteye ve santral sahasına göre hazırlanmaması
- Mali kaynakların ve proje bedellerinin doğru hesaplanmaması
- Tesisin kurulacağı alanın imar ve çevre mevzuatına uygun olmaması
- Santral alanının mevcut bağlantı noktasına olan mesafe kontrolünün yapılmaması
- Çevresel ve doğal alanlarla ilgili mevzuatın dikkate alınmaması
- Projesi ile saha uygulaması arasında metrajlarla ilgili çelişkiler olması
- Santrale ilişkin arazi/arsa edinimi ile kiralamak için gerekli külfet, santral için karar verilen yerin teknik uygunluk şartları (ulaşılabilirlik, zemin yapısı, güneş ışını alan yön, arazi eğimi, gölgelenme faktörleri vb.) ve resmi imar durumunun uygun olmaması,
- Çatılara montaj edilecek güneş enerji santralleri projelerinde yön ve gölgelenme durumları, evirici, transformatör, beton köşk, direk trafosu, dc, alçak gerilim ana dağıtımı için panonun konum durumlarının iyi analiz edilmemesi
- Dağıtım şirketinin bağlantı görüşünde ilave bedel gerektirecek teçhizata ilişkin hesap yapılmaması
- Çatı üzerindeki GES santrali kurulumlarında çatının üzerine yapılacak ekipman yerleşiminde çatı bacalarının, olası duman tahliyesi için bacaların, klima için motorların, çatı üzerinde oluşabilecek baca ve ağaç gölgelenmeleri vb. bir takım gölgelenmeye neden olabilecek faktörlerin konumlarına, yükseltilerine, boyutlarına dikkat edilmemesi
- Santralde solar panellerle ilgili yapılacak fizibilite analizleri için, DC gücün hesaplanmasında, tesis edilecek solar panellerin tekil güçleri ile hangi sayıda panel montajına ihtiyaç olduğunun, çatıya, araziye konumlandırılan solar panellerin toplam sayısı ile tekil gücünün çarpılmasıyla DC güç miktarının değişik senaryolardaki hesaplamaları ile tesise en ideal DC/AC güç oranının doğru olarak belirlenememesi
- Gerekli güç hesaplarının hatalı yapılması sonucu dönüştürülen gücün yanlış hesaplanması
- Hatalı fizibilite nedeni oluşabilecek durum ile tüketim fazlası üretilen gücün mevzuat kapsamında şebekenin ücretsiz kullanımına neden olması

- Mahsuplaşmaya konu enerji miktarının ve tüketimde kullanılacak enerji miktarlarının hatalı hesaplanması
- Elektrik Dağıtım kuruluşlarına ödenecek bedellerin dikkate alınmaması
- Proje kapsamında gerekli ve toplam yatırım tutarının hatalı hesaplanması
(Santraldeki toplam güneş paneli maliyetleri, tesisteki AC/DC kabloları, eviriciler ile santraldeki ekipmanların toplam maliyetleri, kurulum yapılacak santral planında yakın şebeke ağlarının dikkate alınmaması, santralin bağlantı hattının şebekeye bağlanma noktasına kadar mesafede tesis edilecek hattın tesis edilme maliyeti, arsa/arazi kiralama veya satın alma maliyetleri, tesisin inşaat, zemin ve arazi peyzajı, bina, ulaşım, konstrüksiyonları, taşıyıcı sistemleri, projesi, geçici kabulü, kabul onay için ilgili hizmet bedelleri ile diğer Resmi Kurumlardan lisans, izin işlemleri maliyetleri, işletme ve devreye alma maliyetleri, bakım maliyetleri (santral güneş panellerinin ve santralin temizlik işleri, tozlanma, kar yükü, önleyici bakımları, işletme arızaları için ek maliyetler, santral güvenliği için harcamalar ile amortismanlar vs.)
- Gölgeleme ve tozlanma gibi kayıpların hesap edilmemesi
- Geri ödeme ve kredilendirme maliyetlerinin hatalı hesaplanması
- Santralin genel yatırım maliyetinin geri dönüşüm süresinin, üretim tahminlemesinin ve maddi getirisinin hatalı hesaplanması
- Olağandışı durumlar ve teknik risklerin ele alınmaması
- İş sağlığı ve güvenliği konularına fizibilitede yer verilmemesi
- Tasarım aşamasında optimizasyon yapılmaması veya optimizasyon verilerine uygun hareket edilmemesi olarak tanımlanabilir.

5. GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNDE KURULUM HATALARI

Güneş santrallerinin tasarım aşaması sonrasında kurulumunun, mevcut mevzuata göre çıkarılan ve Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi'nin (TEDAŞ) yayımladığı Lisanssız Üretim Yönetmeliği (LÜY) Kapsamında 30 ve 50 kWe'ye kadar Güneş Enerjisine Dayalı Elektrik Üretim Tesislerinin Tip Şartnamesi bulunmaktadır. Bu şartnamelere göre güneş santrallerinin kurulumu gerçekleştirilmelidir. Güneş Enerji Santrallerinin kurulumunda yapılan hatalar işletme aşamasında çok ciddi sorunlara yol açmakta ve yatırım hedeflerinden uzaklaşılması ile sonuçlanmaktadır. Kurulum aşamasında kullanılması planlanan her ekipmanın sevk ve nakliyesinden tesis edilmesine kadar ayrı ayrı önem gösterilmeli ve dikkat edilmelidir. Fizibilitesi ve projelendirmesi doğru şekilde tasarlanmış ve oluşturulmuş santralin gerekli bütün İş sağlığı ve güvenliği kurallarına uygun halde kurulumuna başlanmalı ve bu kapsamda detaylıca inceleyeceğimiz kurulum hatalarından uzak durulması büyük bir önem arz etmektedir

5.1 Santral Arazisinde Kurulum Hataları

Santralde başlangıçta güneş santralinin kurulum yapılacağı zemin çok önemlidir. Zemin üstündeki bitki örtüsünün temizlenmemesi ve santraldeki güneş panellerinin montajlandığı betonarme yapının ve kazık çakma yöntemleri ile yapılacaksa, zeminin müsait duruma getirilmemesi. Kurulumu müsait olmayan zemine güneş panellerinin montaj edileceği profillerin oturtulması. Yapılan bu tür işler sırasında İSG tedbirlerinin ihmal edilmesi. Alanın çit ile çevrilmemesi ile olası yetkisiz kişilerin ve yaban hayvanlarının müdahalesine açık bırakılarak can ve mal güvenliği riski oluşturması. Santral sahasında gerekli güvenlik önlemleri kapsamında bekçi, görevli olmaması ve uzaktan izlemeye imkan sağlayan kamera vs. gibi önlem amaçlı ekipman kullanılmaması. Santral sahasını çevreleyen çitlere ve santral kapısına dışarıdan algılanacak şekilde gerekli bütün uyarı ve ikaz levhalarının montaj edilmemesi.

5.1.1 Güneş Panellerinin Kurulum Hataları

Pratikte güneş enerjisi santrallerinde elektrik üretilebilmesine imkân sağlayan ana sistemin oluşumu güneş panelleri ile mümkün olmaktadır. Güneş panellerinin boyutları ortalama olarak 60x50x2 cm veya 245x115x4 cm arasında, ağırlıkları 4-32 kg arasında, güçleri ise 50-600 Watt arasında olabilmektedir. Ölçüleri ve ağırlıkları düşünüldüğünde çalışan tek bir kişinin kaldırabileceği bir ağırlıktan daha fazla olduğu ortadadır. Santral

güneş panellerinin hücrelerine verilebilecek küçük te olsa bir hasar, çatlamanın oluşmasına sebep olur. Santral çalışanların panelleri konstruksiyona montaj etme sırasında gerekli olan eğitimlerin çalışanlara verilmemiş olması ile montaj için ideal ekipmanların bulunmaması. Ayrıca 24.07.2013 tarihli ve 28717 sayılı yazılı “Elle Taşıma İşleri Yönetmeliği’nin yeterli seviyede veya hiç uyulanmaması. Panellerin saha zemininin ideal montaj durumuna hazır olmadan zeminin üzerinde profillerin montaj edilmesi. Santral zemininin akıntı drenajı kontrolü yapılmadan profillerin montajının yapılması. Zemin drenajıyla santralin arazisi zemininde su birikmesine müsaade edilmesi, zemindeki suyun drenaj çalışması ile tayin edilecek bir tarafa doğru zemin alanından uzaklaştırılma çalışmasının yapılmaması neticesinde yine de drenajsız zeminin üzerinde taşıyıcı ekipmanların montaj edilmesi. Güneş panellerinin belirlenmiş açıyla montaj edilmemesi, kurulum aşamasında profillerin üzerine konulan panellerin üzerinin örtülü olmaması. Güneş panellerinin kablolarının proje tasarımına göre kesicilere bağlantısının sağlanmaması. Konstrüksiyon ve bağlı profil kenarlarının kesici ve kabloların izolasyonuna karşı törpülenmemesi, mekanik ve fiziksel bağlantılarının gevşek bırakılması, topraklama bağlantılarının yeterince sıkılmaması. Güneş santrallerinin panel kurulumunda başlangıçta güneş enerjisi santralindeki panellerin ayrı ayrı topraklanma yapılmaması veya dizelerin içinde grup halinde yer alan panellerin gruplar halinde topraklanmaması. Panellerin ve ayrı ayrı ve kuşaklama şeklinde topraklanmaması. Birbirine irtibatlanan topraklama iletkeninin ve panel bağlantılarında gevşeklik ve irtibatsızlık bırakılması. Konstrüksiyon ve profiller ile sehpa arasında mekaniksel ve fiziksel irtibatların sağlam olmaması, bu yapıların topraklamalarının uygun yapılmaması. DC ve AC kablolarlarında yeterli izolasyonun sağlanamaması ve irtibatların sağlam yapılmaması.

5.1.2 Eviricilerin kurulum hataları

Bir güneş enerji santralinde güneş panellerinde üretilen DC akımın, AC akıma dönüştürülmesi eviriciler ile mümkün olmaktadır. Eviriciler belli bir enerji olmaksızın çalışmayan, elektronik ve bir bakıma akıllı ekipmanlardır. Enerjinin eviriciye ulaşması sonrası yüksek bir potansiyel enerji ile yüksek bir akım seviyesine ulaşabilmektedirler. Dolayısı ile bu dönüştürücü ekipmanların üzerlerinde bir yüksek gerilimden uyarı ve ikaz levhasının olmaması bir hata olacaktır. Santral eviricilerinin sahada bulunan güneş enerji santralininin tasarımına ve mevzuata uygun olarak konumlandırılması gereken yerler dışındaki yerlerde tesis edilmesi. Eviricilerde bulunan

dc kablo girişi miktarı kullanılan evirici markasına göre değişiklik göstermektedir. Gerekli mevzuata göre oluşturulan santral projesine ve bu projeye göre en ideal konumda bulunmamaları eviricilerin kurulum hataları kapsamında yer alır. Ayrıca evirici koruma topraklamalarının yapılmaması, yeni bir tesiste montaj edilen eviricinin başka bir santralde kullanılmış olması ve mevzuata göre eviricinin ilgili üretim yılının üzerinden gerekli sürelerin geçmiş olabileceği ve projesine göre farklı güçte evirici kullanılması gibi kurulum hatalarına rastlanılmaktadır.

5.1.3 Beton Köşk ve Trafo kurulum hataları

Beton köşkün belirlenen koordinatlarda kurulmaması, projesine göre kullanılması gereken beton köşkün tesis edilmemesi, köşkün kurulumu esnasında fiziksel tahriplere maruz kalması ve yapısında bozulmalar, çatlaklıklar oluşması, kurulum ve yerleştirme işlemleri sırasında tavanda açıklıklarının bırakılması, temel betonu ve temel topraklama irtibatlarında yanlış iletken seçimleri ile Yg-Ag bağlantı terminallerine verilen zararlar. Transformator, tavan,metal muhafazalı hücrelerin, kapı ve pencerelerin koruma ve Ag pano ve transformator işletme topraklama irtibatlarının yapılmaması, bağlantıların mevzuata uygun olmayan hatalı iletken kesitleri ile yapılması veya irtibatlarının gevşek bırakılması.Transformator ile trafo koruma hücresi arasında, kullanılan kabloların ve transformator ile ag pano arasında kullanılan kabloların uygun kesitlerde olmaması. Köşk içinde izole halı, izole eldiven ve iş sağlığı ve güvenliği ne ilişkin manevra talimatları, hücre ve genel yerleşim planı, hücre isim plakaları ve çıkış etiketleri ile ilgili talimatlarının olmaması. Aynı köşk içinde farklı tip hücrelerin kullanılması. Kapı ve pencerelerde sineklik kullanılmaması. Ag pano ile inverterler arasında kullanılması gereken kablo ebatlarının hatalı tesis edilmesi. Köşke giriş çıkış yapan kabloları uygun açılar verilmemesi ve uygun açı ile dönüş sağlanmaması sonucu kabloları meydana gelen aşırı gerilmeler, kabloların köşke girişlerinde rakor kullanılmaması. Köşk içine tesis edilen ag pano içinde kullanılan ekipmanın projesine uygun olmaması ve akım trafolarının, parafudurların, ag devre kesicilerin, sigorta değerlerinin projesinden farklı olması. Ölçü devresinde projesine göre farklı malzeme kullanılması ve hatalı bağlantılar yapılması, otoproduktör hücresinin tesis edilmemesi. Çift yönlü enerji ölçümü için uygun tipte sayaç kullanılmaması, topraklamaların eş potansiyel bara bağlantılarının uygun yapılamaması ve köşk temelinde yapılması gereken topraklama irtibatlarının ayrı ayrı eş potansiyel barasına bağlantı yapılmaması. Topraklama ve gerekli bütün ölçüm sonuçlarının belirlenen mevzuat değerleri ile eşleşmemesi sayılabilir.

5.1.4 Güneş Santrallerinde Yıldırımdan Korunma ve Topraklama Hataları

Güneş enerji santrallerinde Tedaş şartnamesinde belirtilen 4 ana ve sisteme entegre edilmesi gereken korumanın önemine değinilmiştir. PV tesislerinin yıldırımdan ve aşırı gerilimlerden kaynaklanan zararlardan etkilenmemesi amacı ile aşağıda verilen 4 entegre sistemin entegrasyonu çok önemlidir. Bu sistem entegrasyonunda yapılacak hatalar can ve mal kaybına neden olabilecek olup, sistem için oldukça önemlidir.

5.1.4.1 Dış Yıldırımlık Sisteminde hatalar

İlgili şartnameye göre yuvarlanan küre metoduna pasif sistemler doğrultusunda ideal koruma açılarının oluşturulmaması. Sistem için yapılacak yanlış risk hesabının sonucunda tasarlanması gereken sistemin dışında saha ve PV sistemin malzemelerinin yıldırım darbelerinin direk olarak etkilerinden korunmaması. Güneş enerji santrallerinde örnek bir dış yıldırım koruma düzeneği Şekil 5.1’de verilmektedir.



Şekil 5.1. Güneş Enerji Santrallerinde Dış Yıldırım Koruma Düzeneği[54].

5.1.4.2. İç Yıldırımlık Sistemi hataları

DC - AC ile Koaksiyel Hatlar için iç yıldırımlık sisteminin kullanılmamasının bir sonucu olarak ilgili tesisin yıldırımdan, ani ve aşırı gerilimin neden olabileceği darbelerden dolayı sistemin hasar alması veya yanarak devre dışında kalmasına neden olabilir. Elektriksel sistemlerde meydana gelen yıldırım aşırı gerilimleri sistemde kalıcı ve anlık kesintilere sebep olduğu gibi sistem ekipmanlarının bozulmasına da neden olmaktadır. Aşağıdaki fotoğraflarda Yıldırımın bir PV santrale çapması ve paneller üzerindeki etkisi görülmektedir ve aşağıdaki şekillerde görülebileceği üzere bir PV

sisteminin ekonomik ömrü konusunda yıldırımdan korunma sistemlerinin bulunması çok önemlidir[13][55]. Aşağıdaki Şekil 5.2’de Yıldırımın PV santral üzerine çarpması ve Şekil 5.3’te Yıldırım darbesinin PV modül üzerinde oluşturduğu etki gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Yıldırımın PV santral üzerine çarpması ve Yıldırım darbesinin PV modül üzerindeki etkisi.

Bu kapsamda yapılan hata ve yanlışlardan biri de PV sistemlerinde yıldırım aşırı gerilimlerinin sönümlendirilmesi için uygun bir koruma aracı kullanılmadığı durumlarla, santralin boyutuna göre bir koruma aracı kullanım zorunluluğu gibi konulara açıklık getirmek, koruma elemanının santral açısından gerekliliğini araştırmak, bu korumanın PV santrallerdeki etkisini ve önemini ortaya koymak gerekmektedir. Dolayısı ile bu hatalarla ilgili olarak, tez konusuna ilave bir katkı sağlaması açısından yıldırım aşırı gerilimlerinin fotovoltaik sistemler üzerindeki etkisinin incelenmesi konusunda bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada özetle, 100 kWe gücünde bir PV sistem modellenmiş ve oluşturulan sistemin invertör çıkışına yıldırım düşmesi durumunda santraldeki geçici olayların incelenmesi amaçlanmıştır. Sistemin oluşturulmasında kullanılan parametreler Tablo-4’da gösterilmiştir.

Tablo 4. Sistem Parametreleri

| Sistem Bileşeni | Miktarı | Özellikleri |
|-----------------|---|--|
| Solar Modüller | 64 paralel 5 Seri string (100 kW) | PV panel gücü=315 W |
| | | PV string gerilimi (5 Seri panel)=323 V |
| | | Her bir dizenin akımı= 392 A |
| | | Tek PV hücrenin akımı=6,14 A |
| | | Tek PV hücrenin kısa devre gerilimi=64,6 V |
| İnvertör | 1 | AC güç 100 kW |
| Şebeke | 1 | Şebeke çıkış gücü =100 kW |

Çalışmada kullanılan yıldırım dalga formu Heidler fonksiyonu ile modellenmiş ve 1.2/50 µs'lik bir yıldırım darbesi oluşturulmuştur. Yıldırımdan koruma çalışmalarının yapılmasında, yıldırım akımını tanımlamada kullanılan eksponansiyel model, çift eksponansiyel model ve Heidler fonksiyonu gibi çeşitli matematiksel modeller geliştirilmiştir[56]. Oluşturulan modelde kullanılan yıldırım dalga formu Şekil 5.4'te gösterilmektedir[57][58].

Heidler fonksiyonu:

$$i(t) = I_m * (e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}) \quad (1)$$

Burada:

$i(t)$: Zamana bağlı akım (amper)

I_m : Maksimum akım (amper)

α : İlk zaman sabiti (µs)

β : İkinci zaman sabiti (µs)

1.2/50 µs'lik yıldırım darbesi:

Yükselme süresi (1.2 µs): Akımın maksimum değerinin %90'ına ulaştığı süre.

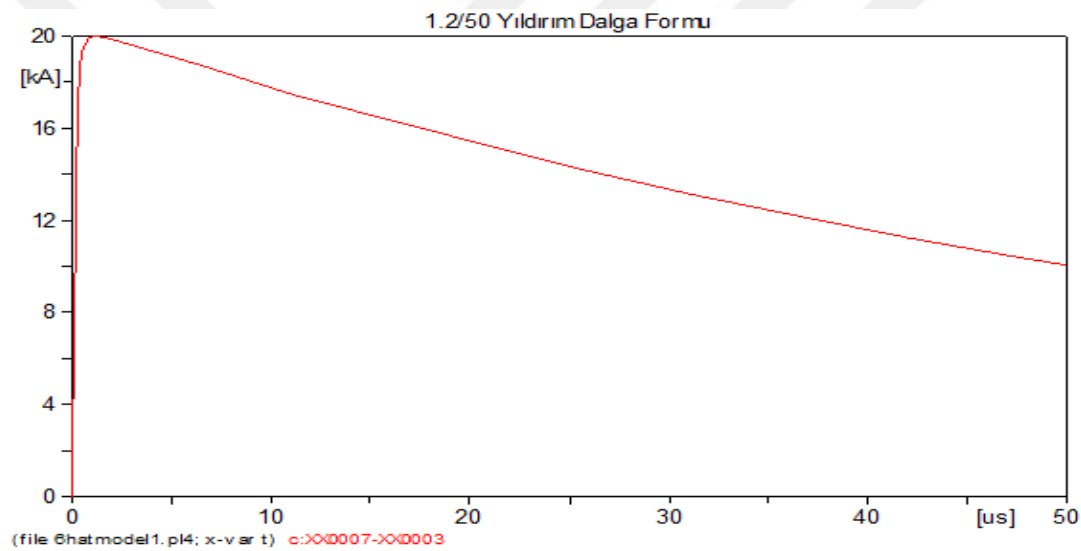
Yarılanma zamanı (50 µs): Akımın maksimum değerinin yarısına düştüğü süre.

Yatay eksen: Zaman (µs)

Dikey eksen: Akım (amper)

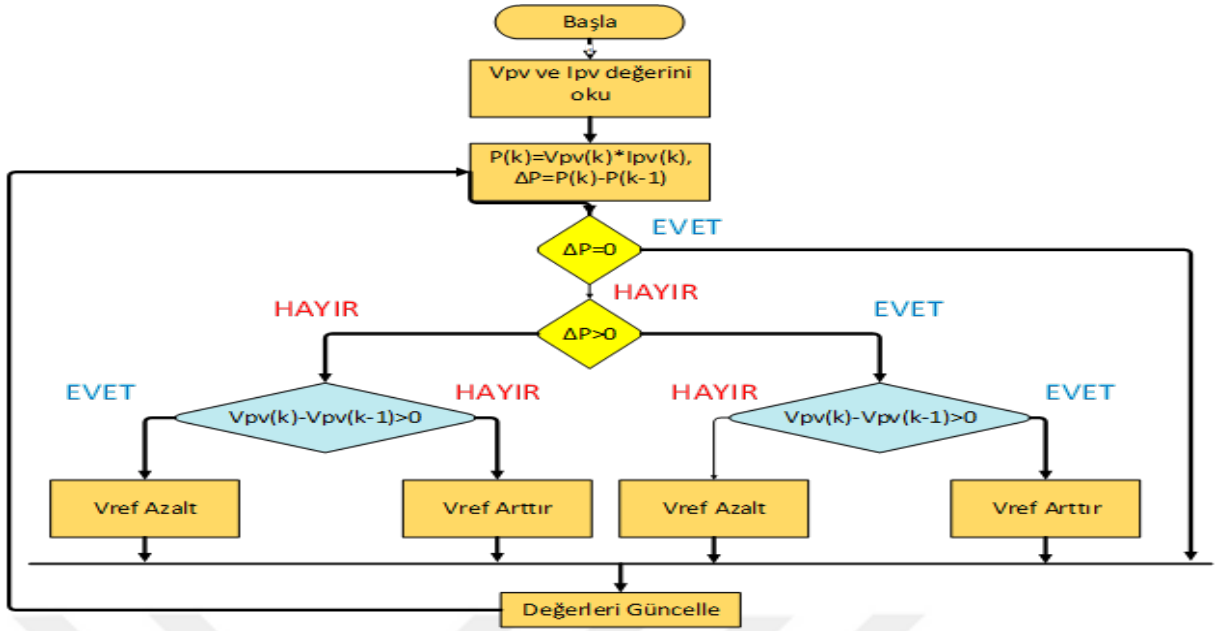
Grafik: Yıldırım akımının zamana bağlı değişimini gösterir.

Şekilde görüldüğü gibi darbe fonksiyonunda, akım, yükselme süresince hızla artar ve maksimum değerine ulaşır. Maksimum değere ulaştıktan sonra, akım yarılanma zamanına kadar eksponansiyel olarak azalır. Yarılanma zamanından sonra akım daha yavaş bir şekilde azalmaya devam eder. Fonksiyon, yıldırım darbesinin etkisini simüle etmek, elektrik tesisatlarının yıldırıma karşı dayanıklılığını test etmek için ve yıldırımdan korunma sistemlerinin tasarlanmasında kullanılır. Heidler fonksiyonunun kullanımı, yıldırım darbesinin şeklini ve genliğini modellemek için basit ve pratik bir yöntemdir ve farklı yükselme ve yarılanma sürelerine sahip yıldırım darbeleri oluşturmak için kullanılır. 1.2/50 μ s'lik bir yıldırım darbesini temsil etmektedir. Maksimum akım değeri 100 kA'dır. Yükselme süresi 1.2 μ s'dir. Yarılanma zamanı 50 μ s'dir.



Şekil 5.3. 8/20 μ s yıldırım akımı dalga formu

Sistemde maksimum güç noktasının belirlenmesinde Değişir& Gözlemle (Perturb& Observe) optimizasyon algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma, basit ve uygulaması kolay, gradyan hesaplamasına ihtiyaç duymaz, ayrıca kararlı ve sağlamdır. Uygulama, algoritma özel probleme göre uyarlanır. Değişir&Gözlemle algoritması, stokastik optimizasyon algoritmaları kategorisine girer. Bu algoritma, birçok farklı mühendislik ve bilim dalında optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılmaktadır. Şekil 5.5'te sistemde kullanılan algoritmanın genel bir akış diyagramı gösterilmiştir[58].



Şekil 5.4. Değişir ve Gözlemle algoritması akış şeması

Sistemde AC çıkışını elde etmek için iki aşamalı bir dönüşüm gerçekleştirilir:

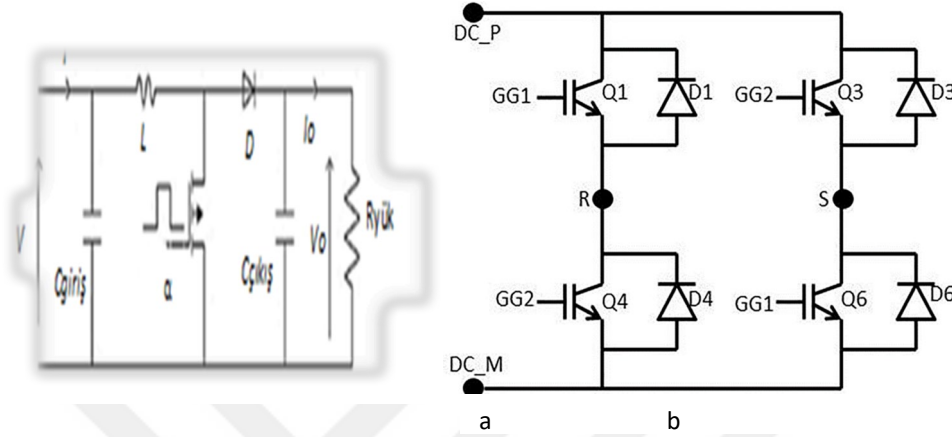
5.4.1.2.1 Boost Konvertör

DC-DC konvertör olarak boost konvertör yapısı tasarlanmıştır. Bu, DC giriş voltajını istenilen AC çıkış voltaj seviyesine yükseltmek için kullanılır. Şekil-5.6'da gösterilen boost konvertör devre yapısı, bir diyot, bir indüktör, bir anahtar (MOSFET) ve bir kapasitörden oluşur. Anahtar, belirli bir frekansta açılıp kapanarak, indüktörde DC giriş voltajından daha yüksek bir voltaj oluşturur. Kapasitör, bu voltajı düzelterek ve stabilize ederek, AC çıkış voltajı için gerekli olan DC voltajı sağlar[59].

5.4.1.2.2 Köprü Evirici İnvörtör

Boost konvertör tarafından sağlanan DC voltaj, köprü evirici invertör tarafından AC voltajına dönüştürülür. Şekil-5.7'de gösterilen köprü evirici invertör devre yapısı, dört anahtar (IGBT veya MOSFET) ve bir AC yükten oluşur. Anahtarlar, belirli bir anahtarlama sırası ile açılıp kapanarak, AC yükte istenilen frekansta ve genlikte bir sinüs dalgası oluşturur. Boost konvertör, yüksek verimlilik, geniş giriş voltaj aralığı, hızlı tepki süresi ve basit bir devre yapısına sahiptir. Köprü evirici invertör ise, yüksek bir verimliliğe, sinüs dalgası çıkışına, geniş bir çıkış voltaj aralığına ve kompakt bir tasarıma sahiptir. Boost konvertör ve köprü evirici invertörün birlikte kullanımı, DC giriş voltajını istenilen AC çıkış voltaj seviyesine ve frekansına dönüştürmek için etkili bir yöntemdir. Bu sistem, yüksek verimlilik, geniş voltaj aralığı ve hızlı tepki süresi gibi

birçok avantaja sahiptir. Sistemde AC çıkışının elde edilmesinde, DC-DC konvertör yapısı olarak boost konvertör yapısı tasarlanmış ve köprü evirici invertör ile sistemin AC çıkışı elde edilmiştir. Sistemde kullanılan boost konvertör devre yapısı ve köprü evirici invertör Şekil 5.5’ te gösterilmiştir [60].



Şekil 5.5. a-DC-DC Boost Dönüştürücü, b-Tek faz H köprü evirici

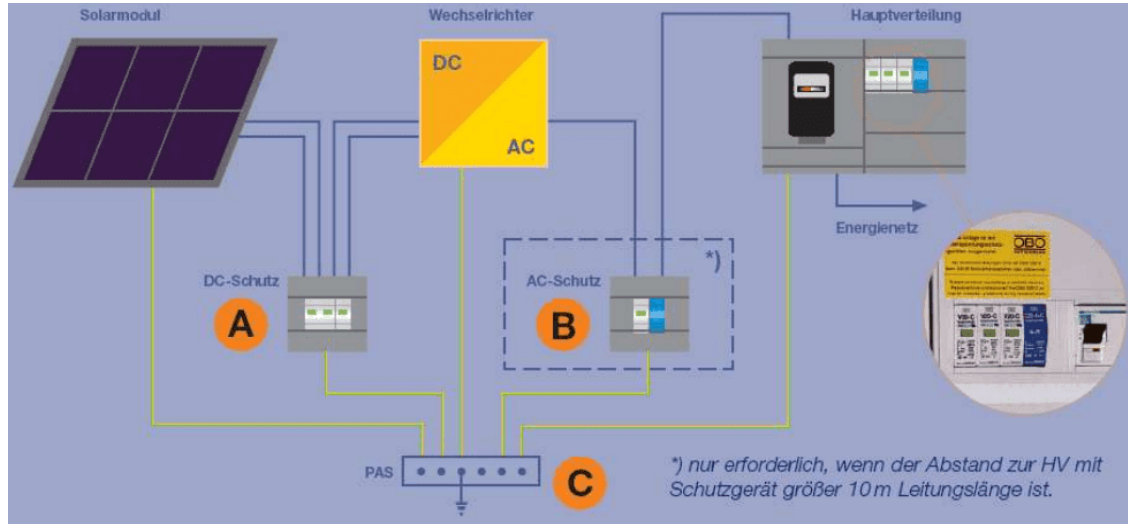
Çalışmamızın bu kısmında, daha önce açıkladığımız PV hücre modelini, DC-DC konvertör modeli ile değiştirilerek gözlemle optimizasyon algoritması ile tasarlayarak, maksimum güç takipçisi bulunan, 100 kW’lık evirici barındıran bir PV sistemi, Matlab/Simulink programı kullanılarak modellenmiştir. Modelde bulunan evirici çıkışında 1 kV parafudur tasarlanmış ve faz başına bu santralde, yıldırım aşırı gerilimlerinin olumsuz etkilerine karşı bir koruma yapması amaçlanmıştır. Yıldırım akımını simüle etmek için, standart dalga formunda 1.2/50 μ s’lik 10 kA genliğe sahip bir yıldırım akımı dalga formu tatbik edilmiştir. Bununla beraber, eviricinin çıkışına bir yıldırım darbesi çarpması halinde DC-DC konvertör çıkış kapasitöründe meydana gelen potansiyel fark verileri sistemde bulunan parafudurların sisteme dahil edildiği ve dahil edilmediği senaryolar için analiz edilmiş ve bu iki durumdaki değerler mukayese edilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda tasarlanan modele ilişkin şekillere ve çalışmanın sonuçlarına, tezimizin Bölüm 6.4.’te yer alan “Yıldırım aşırı gerilimlerinin fotovoltaik sistemler üzerindeki etkisinin incelenmesi” başlıklı kısmında yer verilmiştir.

5.1.4.3. Eş potansiyel Sistem hataları

Güneş Enerji santralinin bütününde eş potansiyel bara sistemin sağlanmaması sonucu oluşabilecek direnç farklılıklarının ortaya çıkması ile buna bağlı oluşacak kuplaj etkilerinin oluşması ilgili hataları beraberinde getirecektir.

5.1.4.4 Topraklama Sistemi hataları

Tesisin çevresinde, temelinde tesis edilmeyen temel fonksiyon ve topraklama sistemlerinin ilgili tesisin ekonomik ömrü boyunca olası elektriksel olarak sonucu büyük zararlara neden olabilecek etkilere karşı korunmasının sağlanamaması. Santrallerde genel olarak kullanılan tipik topraklama modellemesi aşağıdaki Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Güneş Enerji Santrallerinde Genel Topraklama Düzeni[62].

Santrallerde yapılan topraklama hataları ayrıca irdelenecek olursa;

Güneş enerji santrallerinde topraklamalar sisteminin, ülkemizdeki Elektrik Tesislerinde Topraklama Yönetmeliği'nde bulunan hesaplara ve TSE'nin yayınlamış olduğu standartlara uygun olarak yapılmaması. Güneş enerjisi santrallerinin topraklamalarında başlangıçta güneş enerjisi panellerinin ayrı ayrı topraklanmaması veya grup dize içerisindeki panel gruplarının blok olarak topraklanmaması. Santraldeki eviricilerin kendi bünyelerinde bir topraklama bulunmasına rağmen herhangi bir yardımcı topraklama yapılmaması. Santrale ait panellerin topraklanmasının sağlanması için kenarlarına topraklama hatlarının montaj edilmemesi. Topraklamaya ilişkin bu hatların ideal bağlantı temin etmek için ilgili hattın sahada bulunan toprak yapısına uygun topraklayıcılarla toprağa ulaşmasının sağlanmaması. Panel topraklaması esnasında gerekli olan kesici ile ayırıcı kullanılmaması. Santralde panellerin ve inverterin aşırı gerilimlerin etkisinde bulunması halinde, kesici ile ayırıcıların aktif hale gelerek evirici ve güneş enerjisi panellerinin bu etkilerden zarar görmemesi için kullanılması gereken devre kesicilerin kullanılmaması. Eviricilerin yardımcı topraklama sistemleri tesis

edilmeyerek aşırı gerilimler esnasında zarar ve hasar görmesinin engellenmemesi. Güneş enerjisi panelleri ile eviriciler, invertörler ile transformatörler arasındaki korumaya yardımcı algılayıcı cihazlar (toroid, mcb, kakr), kesici ve ayırıcılar kullanılmaması. Bütün santral sisteminin genel (kuşaklama) topraklamasının yapılmamış olması. Santral yıldırımdan korunma sistemlerinin yapılmaması veya hatalı yapılması. Veri, iletişim ve haberleşme hatları ile karakteristik yapılarına uygun bütün hatların ve kablolanın koruma dahiline alınmaması yapılan hatalardan sayılabilir.

5.1.5 Santral Kabloleme ve Numaralandırma Hataları

Güneş enerji santrallerine ilişkin olarak, güneş enerjisi panellerine irtibatlanan kabloların eviricilere, eviricilere irtibatlı kabloların ise güneş enerji santralindeki ilgili panolara irtibatlanmaması. DC ve AC şeklinde gruplandırılan ana hat kablolarının haricinde sistemin topraklanmasının yapılması amacıyla topraklama kablolarının tesis edilmemesi. Bu enerji santrallerinde tesis edilen DC, AC ile topraklamalara ait kabloların uygulanacağı yere ilişkin olarak kimi zaman kabloların spiralleri ile yapılmaması ile kimi zaman kullanılması gereken kablo saç tavaları ile yapılmaması. Santral sistemlerin mekanik güvenliği ile tesisin yapısının çatı geslerde bina estetiğinin bozulması, estetik olarak güzel görünmeyen, binanın estetiğini bozan bir kabloleme yapılması, santralin işletme ve bakım dönemlerinde daha kolay müdahale edilebilecek şekilde ve uzun ömürlü olacak şekilde kabloleme planı ve kabloleme işçiliği yapılmaması kabloleme hataları kapsamında olabilir. Aşağıdaki Şekil 5.11’de PV santrallere ilişkin bir DC kabloleme gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Güneş Enerji Santrallerinde DC Kabloleme[63].

Santral kablolamasında ayrıca olası hava değişimlerinde kablolarda ortaya çıkan genleşmelerin oluşturacağı olumsuz sonuçların hesap edilmemesidir. Bu genleşmeler, kabloların spiralleri ile tavalalarının içinde kabloların hareket halinde olmasına neden olmakta ve farklı kablo geçiş yollarında keskin yüzeylerin olması halinde ilgili kablolara zarar vermektedir. Bu durum uzun sürede olası ark ihtimallerini beraberinde getirmektedir. İşçilikten kaynaklanan ve ortaya çıkabilecek bu ve benzeri hataların önüne geçilmesi gerekir. Kablonun saç ve spiralle taşınması halinde geçiş yollarındaki keskin kenarların törpülenmemesi, kablo taşınırken birleşim yerlerinde oluşan yükselti farklılıklarının özel contalar, kroşeler veya uygun bantlar ile giderilmemesi. Güneş enerji santral sistemlerinde diğer bir önemli hatalardan biri de pano / evirici kablo girişlerinde ilgili kabloların spiral boru içine alınmamasıdır. Canlı hayvan erişiminin mümkün olduğu panellerden ziyade daha kolay olduğu bu kablo giriş noktalarına, bağlantı noktalarına ve kablolara erişmesinin kolay olması. Evirici kablo girişlerinde solar kabloların spiral boru içinden geçirilmemesi ve yalıtılmaması bu hatalar arasındadır. Santrallerde uzun süre işletmede olacak olan güneş enerjisi sisteminin periyodik bakımları için veya olası arıza durumlarına acil müdahalelerin olabilmesi için, kullanılacak kablolarda bulunması gereken silinmez ve kalıcı kablo numaralarının (etiket) bulunmaması sonucunda kabloların her iki tarafında yapılmayan numaralandırma işleminin kablonun başladığı nokta ile irtibat sonundaki noktasının tespit edilmesini zorlaştırması, kabloların kablo taşıma istikametine simetrik bir şekilde montaj edilmemesi, ilgili kablo klipslerinin kullanılmaması ile bir arada tutulmayan kabloların ihtiyaç halinde kolayca demontaj edilememesi kablolama hatalarındandır.

5.1.6 Santral Bağlantı Hattı Hataları

Ges Santrallerinin bağlantı hatları dağıtım şebekeleri ile Ges irtibatını sağlayan tesislerdir ve yeraltı kablolu veya havai olarak tesis edilirler. Bağlantı hatlarında yapılan hatalar bu çalışma dışında tutulmuştur, ayrı bir çalışma konusunda incelenecektir, çünkü her ne kadar santrallerin parçası olsalar da ilgili tesisler Dağıtım hattı niteliğinde olup, bir çok ayrı yapıda ve türde tesis edilerek santrale bağlandıklarından ayrı bir çalışma alanları olduğu düşünülmüştür.

6. GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNDE İŞLETME AŞAMASINDA YAŞANAN ARIZA DURUMLARI VE DEĞERLENDİRME

Yenilenebilir enerji sektörünün önemli bir hale gelmesi ve panellerle ilgili teknolojilerin geliştirilmesiyle, sektörün birim maliyetlerinde meydana gelen azalmayla beraber bina çatıları ve arazilerde güneş panellerine ait sistemlerin kullanılması bir hayli artmış durumdadır. Sektör bu yatırımcıların ve tüketicilerin iç ihtiyaçlarına cevap verirken, ürettikleri iç ihtiyaçlarından fazla kısmını sistem şebekesine vererek ilave kazanç sağlamaktadırlar. Yatırımcısını memnun eden bu durumla beraber güneş enerjisi sistemlerinde, bütün sistemlerde bulunabilen bazı hata, problemler ile arızalanma durumları meydana gelebilmektedir. Bu olumsuzların meydana gelebilmelerinde teknik açıdan veya teknik olaylar dışında hata ve arızalar neticesinde elektrik üretiminin kapasitesi düşebilir, kimi zamansa hiçbir şekilde üretimin yapılamayacağı durumlar oluşabilir. Arızaların büyüklüğüne, şekline ve sistemdeki farklı ekipmanların durumlarına, tasarım ve kurulum aşamasında yapılan hata ve olumsuzluklara, sistemin dışındaki durumlara bağlı bir şekilde farklılık oluşturacak ve bu hali ile arızaların maliyetlerinin durumu yapılan yatırımın amortisman süresi üzerinde olumsuz etkiler yaratacaktır. Bu nedenle Güneş Enerji Santrallerinde işletme aşamasında yaşanabilecek arızalara ve sonuçlarına (verimsizlik ve kayıplara) neden olacak birçok faktör vardır[64].

6.1. Güneş Enerjisi Santral Sistemlerinde Arızalar

Güneş enerjisi santralleri için hava şartlarına bağımlı olmadan üretimin, performansının ve zamanla veriminin düşmesine neden olabilecek bu fonksiyonel problemlerin bütününe güneş enerjisi santral arızaları adı verilir. Yaşanabilecek problemlerin, arızaların ortaya çıkabileceği santral ekipmanı ismiyle adlandırılabilirler: Santral güneş panelleri, evirici arızaları v.b. Güneş enerjisi santral sistemleri, çok farklı yapıda ve özelliklerde birim elemanını içinde bulunduran kompleks bir sistemdir. Güneş enerjisi santral sistemlerinin ekonomik ömrü 25 yıl gibi uzun bir süre olup, bir hayli fazla ve iyi bir dayanıma sahip olan teknolojik aletlerdir. Fakat, çevreye ve iklim şartlarına bağlı bazı faktörler, bakımlarının ve onarımlarının ihmal edilmesi gibi nedenlerle güneş enerjisi santral arızaları meydana gelebilmektedir. Güneş enerjisi santral sistemlerini meydana getiren sistem birim malzemelerinin herhangi birinde veya hepsinde

oluşabilecek arızalar, bu sistemlerin tamamen devreden çıkmasına neden olabilecektir, bu şekilde oluşan arızalar bütünü ges arızaları olarak bilinirler.

6.1.1. Güneş Enerji Santrallerinde Arıza Yönetimi

Güneş enerjisi santrallerindeki arızalar değişkenlik göstermektedir. Bir hayli karışık olan bu süreçte yapılacak verimli bir arıza yönetiminin, güneş enerji santrallerinde performansın artmasında olumlu yönde etkisi olacaktır. Her arızanın veya düşük performansın nedenleri ayrıntılı olarak araştırılmalıdır. Ayrıca benzer sorunların tekrar yaşanmaması için incelemeler yapılmalı ve mümkünse arızalar oluşmadan önlem alınmalıdır. Bu sebeplerden dolayı güneş enerjisi sistemlerinde kestirimci bakım yani arızaların oluşmadan önce tespit edilmesi, önlenmesi ve düzeltici bakım faaliyetleri profesyonel teknik servis ekipleri tarafından gerekli ekipmanlar kullanılarak yapılmalıdır. Bu vesile ile yedek parçaların iyi bir şekilde taşınması, sarf malzemelerinin kontrolü ve depolama koşulları GES teknik servis ekibinin sorumlulukları arasındadır.

6.1.2. GES Arıza ve Hasar Türleri

Sıklıkla meydana gelen güneş enerjine dayalı santral arızaları özetle aşağıdaki biçimde sıralanabilir:

Santralde yanlış ve hatalı bağlantılar, kablolamada kullanılan iletken kabloların aşınma, zarar görmesi vb.. nedenlerle meydana gelebilen izolasyonla ilgili arızalar.

Evirici ile ilgili arızalar.

Güneş enerjisi panelleri ile ilgili oluşabilecek arızalar ile hasar durumları (mikro çatlaklar, nakliyelerinde bazı kırılma, zarar görme durumları, normalden fazla ısınmaları, kirlilikleri, nemlenme durumları vb.)

Panel bağlantılarında konnektörlerle ilgili arızalar.

Yüksek gerilimli trafodan kaynaklı arızalar.

İletişim ve röle koordinasyonundan kaynaklanan arızalar.

Güneş enerjisi santral sistemlerini tesis eden firmalar, bu sistemlerle ilgili genelde 2 ve 10 yıl arasında servis garantileri vermektedir. O yüzden önemli olan, kurulumları sürecinde temin edilecek servis garantileri ile ilgili sürenin kontrol edilmesi, garantinin süresi içinde bulunan dönemlerde santral arızaları ile alakalı bildirimlerin tesis eden

firmalarca karşılanmasıdır. Bu sistemlerle ilgili teknik açıdan yeterliliği bulunmayan bireylerin müdahaleleri, arızaların boyutunu daha da artırabileceği gibi garanti süresinin bitmesine dahi neden olabilirler. Sistemde bulunan garanti süresi dolmuş olsa da sadece konusunda resmi ve teknik yeterliliği bulunan firmalardan destek almakta fayda olacaktır.

6.1.3. Güneş Enerji Santrali Arızalarının Tespiti

Güneş enerjisi sistemlerinde oluşabilecek arızalar sistemin hiç çalışmaması veya normalin altında enerji üretmesi durumunda anlaşılır. İnvörtörler gibi ekipmanlarda da hata mesajları görünebilir. Bazı durumlarda arızanın bu aşamada tespit edilememesi enerji üretiminde büyük sorunlara ve uzun süreli kesintilere yol açmaktadır. Güneşli günlerde meydana gelebilecek arızalar önemli üretim kayıplarına neden olur. Bu durum bulutlu havadan kaynaklanmayan üretim kaybı olarak tanımlanmaktadır. Böyle bir durumla karşılaşmamak için periyodik bakım oldukça önemlidir. Herhangi bir sorun olmasa dahi GES bakım ve onarımlarının düzenli aralıklarla yaptırılması tavsiye edilir. Güneş enerji santrallerinde arızaların çok çeşitli tespit yöntemlerinden bahsetmek mümkündür. Bunların başlıcaları gözle teşhis, ölçü aletleri yöntemi, termal kamera arıza tespit yöntemleri, akıllı algılayıcılar, izleme ve scada ile devre kesiciler ve ayırıcılarıdır. Ayrıca bu arızalar çalışmada ekipman başlığı altında değerlendirilecektir.

6.1.4. Güneş Paneli Arızaları

Zamanla paneller üzerinde biriken kir ve toz, hücrelere iletilen güneş ışınımının azalmasına neden olur. Bu düşüş verimde azalmaya ve üretimde kayıplara neden olur. Hava koşulları, çevresel etkiler ve yağış veya düşen ağaçlar, kaya düşmeleri, çığ, yıldırım ve yangın, kalitesi ne kadar iyi olursa olsun güneş panellerine zarar verebilir. Bakım ve temizlik yapılmaması, güneş paneli verimliliğinin azalmasına veya büyük güneş pili hasarına neden olur.

Çevresel olaylar dışında güneş enerjisi santrallerinde fazlaca ortaya çıkabilen güneş panelleri ile ilgili sorunlar aşağıda sıralanmaktadır:

Güneş panellerinde diyotlarla ilgili arızalar

Güneş enerjisi panellerinin inverterle ilgili arızaları

Güneş panelleri ile ilgili diyot arızaları

Güneş panellerinde diyotlarla ilgili arızalar, panel hatasının üretim aşamasında testinin yapılmaması, nakliyesi esnasında parçalarının hasar alması veya montajda yapılan hatalara ilave olarak fazlaca farklı arızaları oluşabilmektedir. Rutin bakımları ile testlerde tespiti yapılamayan, erken ve yerinde bir reaksiyon alınmayan diyotlarla ilgili arızalar santral veriminde olumsuz neticelere yol açarlar. Bu diyotlarla ilgili arızalar ise, ilgili parçaların değiştirildiği takdirde son bulabilirler.

6.1.4.1. Güneş Paneli Kırılması

Güneş panelleri için cam, sıradan camdan daha kalın ve daha dayanıklıdır. Ancak tek bir noktadan kuvvetli bir darbe güneş panelinin kırılmasına neden olabilir. Güneş panelinde temperli cam kullanıldığı için çok küçük parçalara kırılır. Fakat EVA hücreleri nedeni ile kırılmış olan camın parçaları dağılmayabilir ve bütün halinde bir arada bulunabilir.

6.1.4.2. Güneş Panellerinde İnverter Arızaları

Güneş enerjisi santral sistemlerinde DC formunda üretilmiş elektriği AC formuna çeviren ekipman olan inverterin, sistemin ana parçası olup önemi en çok ve fiyatı pahalı ekipmandır. İnverter arızalarının, bu sistemlerin hiç çalışmaması ile çok büyük miktarlarda meydana gelebilecek üretim kayıplarına neden olacaktırlar. Sistemde bulunan inverter arızalarının sebeplerine ilişkin ana faktörler ise; sistemin geriliminde ortaya çıkabilecek bir dalgalanma, kablolar ve iletkenler nedeni ile oluşabilecek izolasyon ve kısadevre durumu, inverter bağlantısı ile ilgili bağlantı kablolarında meydana gelebilecek hatalı veya gevşek bağlantılarla ilgili olabilirler. İnverterlerde arıza durumunda sistemde; kapalı (off) ya da hata modu (fault mode) ikazları görülebilir. Akıllı inverterlerde (tam otomatik) sistemde bulunan arıza çeşidi, ekranda bulunan arıza kodu ile belirlenebilir. Aşağıda örnek olarak akıllı bir inverterin arıza kodları ile bu arıza kodlarının ne anlama geldikleri verilmiştir:

01: fan arızası

02: aşırı ısınma

03: yüksek akü voltajı

04: düşük akü voltajı

05: çıkış kısa devre hatası

06: çıkış voltajı yüksek

07: aşırı yük, zaman aşımı

08: yüksek bara voltajı

09: baradan yumuşak çalıştırma başarısız

11: yüksek solar gerilim, ana röle başarısız

51: aşırı akım ya da dalgalanma

52: yüksek dc bara gerilimi

53: inverter yumuşak başlama hatası

6.1.4.3. Solar Panellerde Delaminasyonlar İle İç Korozyonlar

Delaminasyonla ilgili arıza, kapsülleyici malzemenin cam ya da hücreden ayrılması olayıdır. Bu olay üst tabakada, arka tabakada, enkapsülen yada enkapsülen ile hücrelerin arasında meydana gelebilir. Hücreden meydana gelen delaminasyon olayı çok büyük ihtimalle zayıf çapraz bağlanmalar yada hücre yüzeylerinin kirlenmesi ile oluşur. Delaminasyonun neticesinde ise meydana gelen korozyon olayı panelin performansını düşürecektir.

6.1.4.4. GES Ark Arızaları

İletkenlerin ve kabloların birbiri ile bağlantılarında bulunan ve genellikle gevşek bağlantılarla, aşırı yük akımları ile ısınma, yanma, patlama şeklinde ortaya çıkabilen arızalardır. Bu arızalar yangına neden olabilirler. Bu nedenle panellerde, redresörler ile elektrik kaçağı ile ark arızası durumlarını engel olmak için ekipmanlar yer alır. Ekipman, arıza ile alakalı bir durumda bilgiyi vererek işletmedeki akımı kesebilir.

6.1.4.5. Güneş Paneli Topraklama Arızaları

Güneş enerji santralinde entegre topraklamalarla ilgili bazı sıkıntılar yaşanır. Topraklamalarla ilgili arızalar, geçici nitelikte ya da dalgasız bulunan güç kaynaklarının dalgalanması, bağlantıların bulunduğu bölmede aşırı oranda nemin artış oranı, sisteme entegre bulunan kırık panellerle, çizilmiş, hasarlı ve yırtık kabloların, kemirgenlerin neden olduğu kablo hasarları, topraklamaların arızalarını engelleme sistemlerini aktif hale getirir. Bu şekilde elektrikle ilgili kazalar önlenir. Tamiratlarının teknik ve alanında uzman, yetkili ve eğitimli kişilerce yapılması şarttır.

6.1.5. Güneş Paneli Hasar Tespiti

Güneş panellerinde arızalar; konusunda ve alanında profesyonel kişilerce yapılması gereken bir takım testlerin neticelerinde belli olabilir. Testler, güneş enerji santrali denetimleriyle, test ve ölçümler şeklinde alanında çalışan çeşitli teknik firmalarca verilebilir. Aşağıda bulunan testler, güneş panelleri ile ilgili oluşabilecek bütün arızaların tespitinde kullanılabilir:

- Topraklamaların ve Süreklilikle İlgili Testler
- Polarite İle İlgili Testler
- Voc ve Isc İle İlgili Ölçümler
- Fonksiyon İle İlgili Testler
- İzolasyon İle İlgili Testler
- Termal Kamera İle İlgili Elektrik Tesisatı Kontrolleri
- PV Modüllerde Termal Kamera Kontrolleri
- PV Modüller ve Dizilerinde I-V Eğrisi İle İlgili Ölçümler
- Solar Panellerde Yangın Riski Kontrolleri

Güneş enerji santrali sistemlerinin, dünyada uluslararası protokollerle ve global standartlarla üretilerek yangın risklerini minimum seviyeye düşürecek tarzda tasarlanırlar. Fakat olası elektrik arızalarının bu sistemlerde oluşturabileceği bir takım problemler, bu santrallerde bir yangına neden olabilecektir. PV sistemlerinde panellerle ilgili bir yangın ihtimalinin engellenmesi amacıyla ilk olarak kablo bağlantıları dahil sistemin belli periyotlarla rutin bir şekilde termal ısı kameralarıyla test edilmesi ve gözlemlenmesi ile gerekli olan bütün testlerin yapılması gerekir. Güneş enerji santrali sistemleri ile ilgili arıza nedenleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Kuş yuvalarının neden olduğu arızalar
- Güneş panellerinde aşırı ısınma-Sıcak Bölgeler
- PID Etkileri
- Panellerde Salyangoz İzleri
- Delaminasyon ve İç Korozyon Etkisi
- Ters akımlar, arklar ile (elektrik atlaması), kısa devreler ve topraklama ile ilgili hatalar
- Kablo ve izolasyon arızaları (yanlış ya da gevşek bağlantılar)
- Kablolama arızaları

- Modül çatlama ları-Mikro Çatlaklar
- İ nverter'lerde yapılan kurulum hataları-İ nverter Arızaları

6.1.6. Güneş Enerjisi Santrali Arızasının Hukuki Tarafı

Ülkemizdeki Borçlar Kanunu bilgilerine göre ev ya da evde bulunan bir taşınmaz ile ilgili olarak oluşan arızalar, kiracıların kusurları bulunmadığı durumlarda maliyetleri ev sahipleri ödemek durumunda bulunuyor. Güneş enerjisi santral sistemlerinde oluşan arızalarla ilgili de kiracısının herhangi bir kusuru bulunmuyor ise, maliyeti sahip ödeyecektir şeklinde genel bir durum vardır.

6.1.7. Güneş Paneli Tamiri Gerektiren Durumlar

Güneş enerjisi santralinde bulunan panellerde oluşabilecek çeşitli arıza tipleri mevcuttur. Bu arızaların nedenleri farklı farklı olacağı gibi tamirat yolları ile meydana gelebilecek maliyetleri de değişik olacaktır. Ayrıca yedek parçanın gerekli olduğu panellerde camın kırılması hali, bu yedek parçaların kalite ve tamirat maliyetinde belirleyici olur. İşçilik ücretleri ise bölgeler arasında değişiklik gösterebilir. Bütün sistemin yapılacağı gibi güneş enerjisi panellerinde tamirat işlemleri konusunda teknik ve uzman bireylerce yapılmalıdır. Aşağıda güneş enerjisi panellerine ilişkin arızalar ile tamirat çeşitleri verilmiştir:

Cam kırılması: Güneş panellerinin üretiminde kullanılan cam oldukça dayanıklıdır. Ancak üzerine ağır bir cisim düşerse zarar görebilir. Hücrenin hasar ve zarar görmediği hallerde yalnızca camının değiştirilmesi gerekir.

Bağlantı kutusu arızası: Bu arızanın tespitinden sonra, bağlantı kutusunda yer alan arızalı diyotların değiştirilmesi ile problem çözülebilmektedir. Kutunun erimiş ve kullanılamaz durumda olması halinde tamamı değiştirilmektedir.

Çerçeve deformasyonu: Güneş panellerini çevreleyen alüminyum çerçevelerde hasar olması durumunda çerçeveler değiştirilmektedir.

Arka yüz deformasyonu: Panelleri fiziksel, çevresel ve iklimsel dış etkenlerden koruyan arka plakaların hasar alması zamanla panellerin zarar görmesine neden olabilir. Hasarlı destek plakaları değiştirilmelidir.

Temas hücreleri, kusurlu paneller: Üretimlerinde ya da montajlarında hata yapılması sonucu şeritler ve hücreler kendi aralarında temaslı bir hale gelebilir. Bu durumda temas yüzeyleri ayrılmalıdır.

Hücre bağlantı hataları, kısa devreler: Yangınların çıkmasına neden olabilen çok tehlikeli sonuçlara yol açan arızalardır. Hücrelerin ve bağlantı kutularının aralarındaki bütün bağlantılar, özel bir prosedüre, dikkatli ve özenli bir şekilde izolasyon malzemesi ile yapılmalıdır.

Panel bükülmeleri, mikro çatlaklar: Panellerin belli bir açıya kadar bükülmesi sonucu verimliliğin düşmesi gibi olumsuz bir durum ortaya çıkar. Bu durum mikro çatlaklar adı verilen küçük çatlaklara neden olarak verimliliği düşürür. Belli bir seviyedeki eğilmelere kadar mikro çatlaklar parça değiştirilmeden onarılabilir.

Güneş Enerji Santrali Üretim Sahasında Arızalar: Üretimlerine ilişkin kapasiteleri daha fazla olan santraller ile çatılara montaj GES sistemlerindeki gibi güneş panellerine ilişkin arızalar oluşmaktadır. Başka bir ifade ile büyük ölçekteki güneş enerji santrallerinde ortaya çıkabilecek küçük çaplı bir arızanın büyük maddi kaybı ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenlerle güneş enerjisi santrallerinde mutlaka üretim alanlarında periyodik ve rutin bakım planlamalarının yapılması gerekmektedir. Ayrıca, açık ve çatı alanlarındaki panellerin düzenli olarak temizlenmesi verimliliğin üst seviyede tutulmasını sağlarlar. Yine belirli aralıklarla yapılacak testler ile hata olasılığı engellenmektedir.

Güneş Paneli Ömrü: Güneş enerjisi santrallerinde bulunan panellerinin ortalama ekonomik işletme ömürleri 25 yıl olarak kabul edilir. Bakım ve onarım ile bu süre tabii ki 30-35 yıla kadar çıkabilmektedir. Ancak düzenli olarak bakımı, onarımı ve temizliği yapılmayan panellerin ömrü kısılacaktır. Yine ilk yıllarda yüzde 95 verimlilikle elektrik üreten güneş panellerinin verimi yıllar geçtikçe düşüyor. Her koşulda verimliliği etkileyen ve el altında olan en önemli faktör panoların bakım, onarım ve temizliğidir. Paneller periyodik bakımları ve onarımlarının yapılması ile çok uzun süreler kullanılabilir olup, verimlerinde çok büyük kayıp yaşanmaz[65].

6.2. Güneş Enerji Santrallerinde İşletme Aşaması Bakım Kapsamı

- Gelir-Gider analizleri yapılması
- Fatura Denetimleri
- Tutarlar ve Döviz Kuru denetimleri ile karşılaştırma
- Gider denetimleri ve minimalizasyon
- Sürdürülebilirlik ve Değerlendirme
- İzleme (Monitoring)

- Stok Yönetimi

Güneş enerjisi santrallerinde İşletme ve Bakım hizmeti, GES'lerin kullanım ömürleri süresince teknik açıdan, güvenilirlikleri ile ekonomik yönden performanslarını korumak ve geliştirme olanağı sağlar. İyi ve yüksek kalitede sunulan PV santralleri işletme-bakım hizmetleri olası olumsuz riskleri azaltarak, güneş enerjisi santralının elektrik üretim kapasitesini arttırarak santral işletme maliyetlerini düşürebilir, yatırımın geri dönüşüm süresini kısaltarak verimi arttırır. Güneş enerjisi santrallerinin yaşamsal döngüleri genellikle dört aşamada incelenebilir:

- Proje Geliştirme Aşaması: 1 – 3 Yıl
- Kurulum ve Montaj Aşaması: Birkaç ay
- İşletme ve Bakım Aşaması: En az 30 Yıl
- Söküm ve İmha Aşaması: Bir kaç ay

Anlaşılabacağı gibi, PV Santrali için işletme ve bakım aşaması oldukça uzun süreli bir dönemdir. Bundan dolayı, güneş enerji santralleri için işletme ile bakım hizmetinin kalitesinin artırması yatırımcı açısından çok önemli olup, aksine bir durumda, santralin işletme ve bakımında yapılan bir ihmal ise mevcut yatırımı olumsuz etkileyecek ve riske atacaktır.

6.2.1. Solar İşletme Bakım

Genellikle güneş enerjisine dayalı santrallerin işletme-bakımının minimum 25 yıl süresince santralin maksimum düzeyde enerji üretimi sağlayabilmesi için gerekli iş ve işlemlerin bütünüdür. Diğer bir ifade ile, santral işletme – bakımı, santralin amaçlanan kapasiteye ulaşması ile işletmenin ekonomik ömrü süresince bu kapasiteyi sağlamakta istikrarlı olabilmesi için teknik ve idari görevlerin tamamıdır. Güneş enerjisi santrallerinde işletme-bakım işlemlerinin üç belirgin ana amacı bulunur:

Santralle ilgili sorunların olağanca hızlı bir biçimde meydana çıkarılması,

Ortaya çıkan problemlerin hızlı bir şekilde yok edilmesi,

Arıza kaynaklı bütünsel veya kısmen meydana çıkabilecek uzun süreli kesintilerin sürelerini minimum düzeye indirilmesidir.

İşletme aşamasında yatırımcıların güveninin tesis edilmesi amacıyla ciddi, teknik ve kapsamlı bir raporlama ile şeffaflık gerekmektedir. PV santrallerinin işletme-bakımı konusu ile ilgili değişik fikirler vardır. Santrallerde önleyici bakım ile kestirimci bakım şeklindeki yöntem ile solar paneller, solar inverterler (solar evirici-dönüştürücü), transformatör, panolar ile benzer ekipmanların arızalarını önceden engellemek, ayrıca

üretilecek enerjinin kaybını engellemek amacı ile olası arızaların önceden ortaya çıkmalarını sağlamak amacı ile PV santralleri için periyodik ve rutin bakımlar gerçekleştirilmelidir. PV santrallerde düzeltici bakımlarla, santral ekipmanlarında olası arıza oluşması halinde arıza yönetimi yöntemi ile ilgili sıkıntılar engellenir. Diğer bir metotla şartlara dayanan bakımlarda ise, anlık ve gerçek zamanlı verilerde analiz yapılarak arızalar ve hataların gerçekleşmesinden önce tahmin edilmeleri ile periyodik olarak bir planlamaya bağımlı olmadan ilk olarak odaklanan arızanın olası unsurları incelenir. PV sistemi enerji santrallerinin işletme-bakımı konusundaki fikirlerin hepsi aşağıda bulunan hizmetleri kapsayabilir:

- Haberleşme, Uzaktan İzleme ve Kontrolleri (Performansın İzlenmesi - SCADA)
- Enerji Analizleri
- Garanti Yönetimleri
- Kestirimci Bakımlarla ve Denetlemeler
- Modüllerin ve Santralin Temizlik İşleri

Güneş enerji santral bakımının planlı ya da plansız bütün faaliyetleri kapsamı muhtemel olabilir. Bu santrallerde planlı bakımın ekipmanların üretici firma talimatlarının, standartlar ile en uygun faaliyetler konusu belirlenir, öncesinde planlanmadan yapılan bakım, arızaların meydana gelmesi sonucu ortadan kaldırılmalarını amaçlar. Programlanan bakım, istikrarla yapılan profesyonel güneş enerji santrali işletme bakımları, öncesinde planlanmayan çalışmaların sıklık periyotları ile maliyetlerini düşürecektir. İdeal şekilde sürekli yapılan uzaktan izlemelerle hızlı bir şekilde yapılan düzeltme amaçlı bakımlar neticesinde % 99,9 tesis amacına uygun oranda istikrarlı çalışan bir PV sistemi sağlanmış olur. PV işletme - bakım firmalarının santralin işletme-bakım sözleşmesinin yükümlülüklerini yerine getirme, daha iyi bir performans ve verim alınması için sözü edilen hizmetleri geliştirmeleri gerekmektedir. Bundan dolayı teknik niteliklerle yetkinlik düzeylerinin yeterli olması gerektiği tartışmasıdır. Bir firmanın PV santralleri işletme-bakım faaliyeti yapabilmesi için en düşük seviyede yetkinlik düzeyleri şunlar olmalıdır:

- Verileri Toplama Sistemleri – VTS
- Verileri Analiz Yeteneklerine Uygunluk
- Güneş Enerji Santrali Tecrübesine Sahip Saha Ekipleri Bulundurması
- Kontroller İçin Oda
- Güneş Enerji Santrali Tecrübeli Mühendislik Yeteneklerine Sahip Olmak

- Kalitenin Güvencesi ve Hesap Verebilir Olmak
- Süreçlerin Kontrolleri
- Problemlerin Çözümü İçin Bilgi Bankası
- Sahadaki Personelin İzleme Ölçüm Verileri

6.2.2. Denetleme

Güneş Enerjisi Santrallerinin ilk karar ve fizibilite aşamasından başlayarak işletilme ömürleri boyunca kontrollü bir şekilde denetim altına alınması şarttır. Güneş enerjisi santrallerinin sıkı mevzuat kuralları ile, düzenlemelere ve mevcuttaki standartlara uyması gereklidir. Güneş Enerjisi Santrallerinin tesis edilmesinin hemen ardından EK-1' deki kabul şartları ile denetlenmeleri, güneş enerji santrallerinin kurulumunun yönetmeliklere, standartlara, şartnamelere ve mevzuat gözetilerek yapılıp yapılmadığına ilişkin kontrollerini raporlanmalarını kapsayan olaylar bütünüdür. Güneş enerjisi santrali denetlemeleri kapsamında; tesisin kurulum aşamasından denetiminin yapıldığı tarihe kadar işletme - bakımının mevzuata uygunluğu doğrulanmış olur. Ayrıca tesisin çeşitli ve yetkili denetim firmalarınca IEC 62446 ve IEC 60364-7-712 gibi uluslararası standartlara uygun olup olmadığı kontrol edilir. Ayrıca güneş enerji santralinin şebeke işletmecisinin mevzuatına uygun olarak işletildiği kontrol edilir. Güneş enerjisi santrallerinde denetleme ve kontrol hizmetleri aşağıdakileri içerebilir:

- Sahadaki bütün dizilerin izolasyon - yalıtım testleri,
- Panellerin termal kamera görüntüleri ile analizleri,
- Kusurlu bulunan panellerin junction box ile bağlantı konektörlerinin termal görüntüleri ile analizleri,
- İnverterlerin, panoların termal kamera ile görüntüleri ve analizleri,
- Güneş enerjisi santral projeleri ile, üretim ve tüketim sayaç dökümlerinin, üretim için oluşturulmuş faturaların ve diğer dokümantasyon belgelerinin analizi,
- Solar panellerin konektörleri ile solar kablo bağlantılarının kontrolleri,
- Santral topraklamalarının kontrolleri,
- Güneş enerji santral panoları ile içinde bulunan şalt ekipmanlarının fonksiyonel testleri,
- Uzaktan izleme ve SCADA sisteminin kontrolleri,

- Konstrüksiyona ait yapılarla, PV sistemin modülleri, inverterleri, panoları, yüksek- orta gerilim teçhizatları, montajlarının, kabloları ile benzer faktörlerin bütünü fiziksel kontrolleri,
- Sahada bulunan köşkler, transformatörler, hücreler ile bütün yüksek-orta gerilim teçhizatına ilişkin kontroller,
- Sahadaki bütün dizelerin akım - gerilim ölçüm değerleri,
- Bütün dizelerin ürettiği ve üretmesi gerekli olan değerler arası farkları ortaya çıkarmak, olması muhtemel nedenlerin ortaya çıkarılmasıdır.

6.2.3 Termografik İnceleme

Güneş enerji santrallerinde termal kamera ile yapılan inceleme PV modüllerinin ve PV panel dizelerinin durumu konusunda keskin ve çok açık gösterge sağlayabilirler ve bu veriler ise solar PV santrallerinin kestirimci ve düzeltici bakımları için kullanılabilirler. Güneş enerjisi panellerinde herhangi bir arızalanma durumu veya problem oluşursa bunun sonucu direncin yükselmesi ile etkilenmiş olan solar PV modül ile solar hücrelerin sıcaklıklarında değişime yol açarlar. Solar PV modülün termal görüntüleri üzerinde görsel formları ile ölçülebilir sıcaklık farklılıklarına ilişkin sıcak noktalarla, aktif halde olmayan alt dizeler ya da aktif halde bulunmayan modüller şeklinde problemler belirlenir. Güneş enerji santrali termal görüntülemesi bazen arızalarının nedenleri ile etkilerine ilişkin kesin bir bilgiye ulaşmakta yeterli olmaz. Bundan dolayı, genelde I – V curve ölçümleri, elektrolüminesans (EL) incelemeler ile desteklenmelidir. Güneş panellerinin kaliteleri üreticileri ile ürünün bulunduğu gruplar arasında değişiklik gösterebilirler. Bununla beraber PV enerji santrallerinin kurulumlarındaki kaliteleri bu santrallerin tesis eden ekibin yeterliliğine bağlı olacaktır. Kısaca, güneş enerjisi santrallerinin kurulumunda hata yapılmaksızın işin sonuçlandırıldığı termal görüntüleme analizi ile bir delili olacaktır. Ges termal görüntüleme raporları, yatırımcıyı ve EPC'yi koruma amacı taşır. Ges mali hesaplamaları genelde 20 - 25 yıllık solar enerji üretimi öngörürler. Analizler aynı zamanda solar PV panellerinin ömürlerince kayıp olabilecek güç kayıplarını hesaba katarlar. Ama solar PV enerji santralleriyle alakalı hesaplamalarda, olası yıldırım fırtınalarının, panel hücrelerinde oluşacak aşırı ısınma ile diğer faktör arızalarının sebep olduğu sistemin bozulmasından kaynaklı üretim kayıplarını bu hesaplara katmazlar. GES'lerin maksimum verimle çalışması ile istikrarlı olarak enerji üretimini temin etmeleri için, önleyici, kestirimci bakımın ihtiyaçları konusunda analiz yapmak amacı ile düzenli periyotlarla solar termal

görüntüleme taraması yapılması gerekir. Bir örnekle, gölgeler nedeni ile, kusurlu solar hücrelerin ya da güç üretimi yerine güç tüketen alt solar hücre dizeleri nedeni ile güneş modülleri normalden aşırı ısındıklarında, her bir modül verimliliğinin her bir derece için % 0,5 oranında düşeceği varsayılır. Güneş panellerinde ortalama olarak sıcaklık karşılaştırılması yapıldığında 10°C'lik panel sıcaklık artışının üretilecek güç verimi seviyesini maksimum %5 oranında düşürebileceği düşünülür. Bu nedenle yatırımcılar, güneş enerji santrallerinde termografik inceleme yöntemlerini kalite güvencesi programına eklemelidirler. Termal kamera ile yapılan denetimler, ilgili santralde olası doğabilecek ani ve zamana bağlı sorunların önceden kestirilmelerine yardımcı olmaktadır. Genellikle santrallerde ilk termal görüntülemelerle denetleme, tesisin ilk kurulumunun bitirilmesi ile yapılmaktadır. PV santrallerinde termal görüntülemeler, tam kapasitede çalışan solar modüllerle ilgili bu güç çıkışlarını daha düşük seviyelerdeki çıkışlarıyla karşılaştırarak, aşırı ısı gösteren sisteme uyumsuz bulunan panellerin ortaya çıkarılmasını sağlarlar. Bu yüzden, kusuru bulunan solar panellerle ilgili garanti şartlarının geçerliliğini korumak ve garanti süreçleri ile ilgili problem yaşanmaması için santralde bu denetlemeler yapılmaktadır. Güneş enerji santralleri, çevresel ve iklim şartları nedeni ile UV radyasyonu sonucu çeşitli stersler altında olan atmosfere açık olan enerji üretim elemanlarıdır. Bu nedenlerle bu elemanlarda, çeşitli yıpranma ve korozyon oluşumunda hızlanmaya sebep olabilirler. Santral termal görüntülemeler, santralde termal düzensizliklerin belirlenmesinde kilit rol oynarlar. PV santrallerinde inverterler ile yüksek gerilim üreten elemanların, olası bir yangına neden olabilecek anormal ısınmalarını engellemek amacıyla arzu edilen soğutma sistemleri bulunmalıdır. EL görüntülemeleri, santraldeki aşırı ısıya maruz kalan birimleri, bileşenlerle kabloların tespit edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu kontroller ayrıca, termal kameraya sahip drone'lar kullanılarak santralin tamamında termografik bir inceleme yapılmasını ve yüksek çözünürlükte termal kameralar aracılığı ile bütün panellerin birer birer kontrol edilmesini sağlamaktadırlar. Sorunu bulunan solar PV modülleri bu şekilde belirlenerek sınıflandırılırlar. Ayrıca solar modüllerle beraber, bağlantı kutularının, bağlantı konnektörlerin, güç üretim, toplama ve dağıtım panolarının, santral inverterleri ile yüksek gerilim elemanlarının termal kontrolleri de bu kapsamda yapılabilmektedir.

6.2.4. El İnceleme

PV panellerin fabrikasındaki üretim bandından ayrılıp paketlenmeleri aşamada en iyi ve kalitede buldukları haldedirler. Daha sonraki aşamada ise, santralin kurulmasının yapılacağı alana nakledilir ve nakledildikleri araçtan alınarak, kurulmasının yapılacağı durumlarda konstrüksiyonların oluşturduğu sehpalara yakın alanlara forkliftle dağıtımları yapılmaktadır, montajın çatı üzerine yapılacağı durumlarda ise bir vinç ile çatının bulunduğu alana çıkarılmaktadırlar, burada paketleri açılarak konstrüksiyon üzerinde montaj edilerek işletme aşamasına alınırlar. PV panellerde ana bileşen durumunda bulunan güneş enerji hücre kalınlıklarının mikron mertebelerde oldukları bilinmektedir ve ayrıca çok hassas durumdadırlar, insan eliyle tutulamaz durumdadırlar ve mutlak kırılmaya müsaittirler. PV modül kalitesinin kontrolünün sağlanması için kullanılacak başka bir teknoloji ise, normalde insan gözü ile görülemeyen, genellikle de termal kamera ile kesin bir şekilde tanımlanamamış olan hücre çatlaklarını ve mikro çatlakları tam ayrıntıları ile tanımlanmasına olanak sağlayan görüntülemeye solar elektrolüminesans (EL) görüntüleme adı verilmektedir. Santralde elektrolüminesans (EL) yöntemi sürecinde malzeme, bir akımın geçişine cevap olarak bir ışık yaymaktadır. PV solar sistemlerde elektrolüminesans yöntemi güneş enerji modüllerinde homojen çalışma koşulları ve sistem bütünlük kontrolü nedeniyle kullanılmaktadır. Bu kapsamda, PV aktif malzemesinden bir elektrik akımı akarak yarı iletken üzerindeki elektronlar ile delikleri tekrardan birleştirir. Devamında uyarılmış haldeki elektronların oluşturduğu enerji bir ışık şeklinde serbest kalır. Elektrolüminesans (EL) görüntüleme yöntemleri yakın kızılötesi radyasyonunu, dolayısı ile 0,75-1,4 µm arasında bulunan dalga boylarını algırlarlar. Elektrolüminesans, taşınır ve harici bir güç kaynağının sağladığı DC akımıyla solar modüllerin yada dizilerin uyarılması yöntemi ile indüklenir. Daha sonra modüllerin NIR emisyonu kamera ile algılanmaktadır. Yöntem için genelde karanlık ortam tercih edilir, bunun nedeni PV modüllerinin yaydığı NIR seviyesi, güneşin yaydığı radyasyon ve arka plan ışığına nazaran daha düşük miktardadır. Bu nedenle sahadaki solar panellerde elektrolüminesans görüntülemelerinin, genelde gece ortamında yada modüllerin ışıktan arındığı durumda yapılması gerekmektedir. Genel olarak güneş enerjisi sistemlerinde elektrolüminesans (EL) yönteminde malzeme olarak, taşınır DC bir güç kaynağı ile bir tripod ve SLR (single-lens reflex) kamera ile gerekli olan uzatma kabloları kullanılmaktadır. Ayrıca bu malzemelere ek olarak, başka kaynaklar nedeni ile oluşan

parazit ışığını düşürmek amacıyla 0,85 µm seviyesinde yüksek geçiş kenar filtreleri kullanılabilir. PV modül güneş hücrelerinde parmakların kesin olarak taranabilmesi amacıyla kamera çözünürlüğünün yeterli seviyede olması gerekir. PV panellerde elektrolüminesans yöntemlerinde kullanılacak kamera çıktı gürültüsünün olabildiğince düşük seviyede olmaması (ISO standartlarında belirli en düşük) ile bu görüntülerde bulanıklık olmaması amacıyla kameranın yeterince sabit olması önemlidir. Solar paneller elektrolüminesans (EL) analizinde şu arızaların ve anormalliklerin tespiti yapılabilir:

6.2.5. Solar panellerdeki çatlaklar ve mikro çatlaklar

Güneş panellerindeki çatlaklar ve mikro çatlaklar, enerji çıkışının azalması, potansiyel güvenlik tehlikeleri ve panellerin uzun vadeli bozulması gibi çeşitli sorunlara yol açabilir. Bu çatlakların erken tespiti, güneş panellerinin optimum performansını ve uzun ömürlülüğünü sağlamak için zamanında onarım veya değiştirme için çok önemlidir. İşte bu çatlak ve mikro çatlakların neden olduğu sorunlar ve bunların nasıl tespit edilebileceği hakkında aşağıda bazı bilgiler bulunmaktadır.

- Azaltılmış enerji çıkışı: Çatlaklar ve mikro çatlaklar, güneş panelleri içindeki elektrik akışını bozarak enerji çıkışının azalmasına neden olabilir. Bu kusurlar, fotovoltaik hücreler tarafından üretilen elektriğin verimli transferini engelleyen yüksek dirençli alanlar oluşturur. Sonuç olarak, güneş paneli sisteminin genel güç üretimi düşebilir.
- Sıcak noktalar ve yangın riski: Çatlaklar ve mikro çatlaklar, güneş panellerinde bölgesel sıcak noktalara neden olabilir. Güneş ışığı hasarlı bölgelere çarptığında elektrik direnci artarak aşırı ısınmaya neden olur. Bu, potansiyel olarak yangın tehlikeleri oluşturabilir ve çevredeki hücrelere ve malzemelere zarar verebilir.
- Nem girişi ve korozyon: Çatlaklar, güneş paneli yapısına nem girişi için bir yol sağlar. Zamanla neme maruz kalmak, paneller içindeki iletken malzemelerin ve bileşenlerin aşınmasına neden olabilir. Korozyon, panellerin elektrik performansını daha da bozabilir ve potansiyel olarak elektrik kısa devrelerine neden olabilir.
- Uzun vadeli bozulma: Çatlaklar ve mikro çatlaklar, sıcaklık değişimleri, rüzgar ve mekanik stres gibi çevresel faktörlerin etkilerini şiddetlendirerek stres yoğunlaştırıcılar olarak işlev görebilir. Bu, yarı iletken katmanlar ve kapsülleyici

malzemeler dahil olmak üzere güneş paneli malzemelerinin bozulmasını hızlandırabilir ve genel ömürlerini tehlikeye atabilir.

Güneş panellerinde çatlak ve mikro çatlakların tespiti: Güneş panellerindeki çatlakları ve mikro çatlakları tespit etmek için aşağıdakiler dahil çeşitli yöntemler vardır:

- Görsel inceleme: Düzenli görsel incelemeler, güneş panellerinin yüzeyindeki görünür çatlakları veya hasar belirtilerini belirlemeye yardımcı olabilir. Ancak bu yöntem kolayca görülemeyen mikro çatlakları tespit edemeyebilir.
- Elektrolüminesans (EL) görüntüleme: EL görüntüleme, kontrollü aydınlatma koşulları altında güneş panellerinin görüntülerini yakalamayı içerir. Bu teknik, düşük veya anormal elektrik performansına sahip alanları vurgulayarak çatlakları ve mikro çatlakları daha görünür hale getirir.

Solar paneller elektrolüminesans (EL) analizinde şu arızaların ve anormalliklerin tespiti yapılabilir;

- Güneşe enerjisi panellerinde kristal ayrışıklığı (inhomogeneity)
- Arızalı kenar izolasyonu
- Solar hücre üzerindeki elektron iletim şebekesindeki kopukluklar
- Kızılötesi (IR) termografi: Kızılötesi termografi, güneş panellerinin yüzeyindeki sıcaklık değişikliklerini algılamak için termal görüntüleme kameraları kullanır. Çatlaklar ve mikro çatlaklar, anormal termal modellerle tanımlanabilen sıcak noktalar oluşturabilir.
- Ultrasonik test: Ultrasonik dalgalar, güneş paneli yapısındaki çatlakları tespit etmek için kullanılabilir. Bu tahribatsız test yöntemi, herhangi bir yapısal anormalliği belirlemek için panelden ultrasonik darbeler göndermeyi ve yansıyan dalgaları analiz etmeyi içerir.
- Elektrolüminesans (EL) testi: EL testi, güneş paneline bir voltaj uygulanmasını ve ortaya çıkan parlak görüntünün yakalanmasını içerir. Bu teknik, panellerin elektriksel performansını etkileyen çatlakları ve mikro çatlakları ortaya çıkarabilir.

Farklı algılama yöntemlerinin farklı düzeylerde etkililik ve maliyete sahip olabileceğini not etmek önemlidir. Düzenli bakım ve izleme ile birlikte bu tekniklerin bir kombinasyonunun kullanılması, güneş panellerindeki çatlakların ve mikro çatlakların erken tespit edilmesini sağlayarak enerji çıkışı ve genel sistem performansı üzerindeki etkilerini en aza indirebilir.

Solar hücreler, mikron düzeyinde inceliklerde bulunan ve çok hassasiyetli malzemelerdir, bu nedenle yapılarında bir kırılma yada çatlaklarının olması çok olasıdır. Solar panellerin içindeki hücrelerde değişik nedenlerle ortaya çıkan, insan gözüyle görülmeyecek derecede bir kırıklığa ve çatlak oluşumlarına mikro kırıklarla, mikro çatlaklar adı verilir. Modüllerin solar hücrelerindeki bu mikro çatlaklar konusu, PV modül üreticilerinin ve yatırımcılarının sıkça karşılaştığı çok karışık bir problemdir. Güneş panellerinin genel olarak verimlilik düzeyleri ile ekonomik ömürlerini etkileyen en büyük parametredir, arızalanan ve devre dışı kalan solar hücrelerin ana nedenidir. Bu nedenle, bu mikro çatlakları engellemek hemen hemen mümkün olmamakla beraber uzun sürede, modern ve kalitesi yüksek panelleri de etkileyebilecektir. Bir hayli zor iklim şartları ve çevresel etki altında çalışan bu panellere stres oluşturabilen mekaniksel ve kimyasal etkiler, çevresel faktörlerle tetiklenirler. Bu konuda başkaca stres faktörleri de vardır, bunlar panellerin metal kontaklarını, lehimleme ile iletken ara bağlantılarında büzülmeler, genişlemeler ile çeşitli esnemeler bulunan hücrelerde termal döngülerle alakalıdır.

6.2.5.1 Güneşe enerjisi panellerinde kristal ayrışıklığı (inhomogeneity):

EL görüntülemelerle tespiti yapılabilen kristalli silikon hücrelerde başka bir problem ise, EL görüntülemelerde granüler görüntüye hakim olan dağınık halde bulunan koyu renkli kısımlar ortaya çıkan kristal yapının homojen olamamasıdır. Bunun sebeplerine değinecek olursak, oluşumu sağlayacak olan katkı maddelerinin konsantrasyonlarında yada malzemenin kalınlığında süreçlerle alakalı değişiklikler, yapı formundaki kusurlar ile alakalı doğal homojensizlik ile ana malzemenin kendisi ile ilgili kalite vb. Hücrelerde kristal homojensizliklerin yine homojen yapıda bulunmayan bant aralıklarının genişliğine neden olarak hücrenin düşük seviyede verim vermesine neden olabilirler. Panellerdeki bu kusurlar elektrolüminesans görüntülemelerle kolay bir şekilde tespit edilebilirler.

6.2.5.2 Arızalı kenar izolasyonu:

PV hücrelerde kenar izolasyonu işlemleri sürecinde bazı kısadevre durumları meydana gelebilir. Hücrelerde pn yarı iletken kavşağında bulunan n ve p katkılı yarı iletken arasında voltajın düşüşü azalarak bunun sonucunda, ölçülen verilerle ilgili tespit edilen zayıf bir EL sinyali şeklinde neticelenir.

6.2.5.3 Solar hücre üzerindeki elektron iletim şebekesindeki kopukluklar:

Solar modül imalatında ve etkileşimleri sırasında çeşitli sorunlar sonucu, ön temas sağlayan özparmakların arasındaki bağlantılarda temassızlıklar veya iletimsizlikler ortaya çıkabilir. Ortaya çıkan bu tip sorunların yeri ve boyutlarına bağlı olarak, sorunun güneş modülünün güç çıkışları üzerindeki etkisi büyük bir değişikliğe neden olacaktır. Güneş modülü solar hücrelerinin kenarında bulunan temas parmaklarındaki bir kesintinin büyük bir olumsuz etkisi olabilir. Solar modül hücrelerinde bulunan bu parmakların bütününde akım bir adet baraya iletilir. Bundan dolayı, parmak diye tabir edilen solar hücreler üzerinde yer alan yatay konumlu iletkenlerde meydana gelebilecek bir kesintinin, yatay iletkenlerle hücrelerin kenarları arasında tam temasın kesintisilerine sebep olabilir. Elektrolüminesans görüntüleme kırılmaya uğrayan bu sorunlar, kesintinin olduğu parmak çevreleriyle hücrelerin kenarlarına kadar ulaşan karanlık kısımlar formunda tespiti yapılabilir. Bir uzman teknik ekip bu sorunu, modern elektrolüminesans cihazları ile güneş enerjisi santralinde bulunan panellere ait EL görüntülemeleri elde eder ve bu verileri fabrikanın çıkışından elde edilen EL görüntülemeleriyle karşılaştırıp raporlar ve bu şekilde arızaları kategorize ederler. Bir güneş pili içindeki elektron iletim ızgarasındaki bozulmaların çeşitli nedenleri ve sonuçları olabilir. Bunlardan bazılarına aşağıda değinilmiştir.

- Şebeke Hasarı: Kopmuş veya kopmuş teller gibi elektron iletim şebekesindeki fiziksel hasar, güneş pili içindeki elektron akışını bozabilir. Bu, hücrenin genel verimliliğinde bir azalmaya veya hatta hasar ciddiye güç üretiminin tamamen kaybolmasına neden olabilir.
- Kirlenme: Toz, kir veya nem gibi kirletici maddeler güneş pilinin yüzeyinde birikebilir ve elektron iletim ızgarasını engelleyebilir. Bu, elektronların hareketini engelleyen bariyerler oluşturarak hücrenin performansını azaltabilir.
- Korozyon: Zamanla, nem veya kimyasal maddeler gibi çevresel faktörlere maruz kalma nedeniyle elektron iletim ızgarası paslanabilir. Korozyon, ızgaranın bozulmasına neden olarak direncin artmasına ve elektron akışının azalmasına neden olabilir.
- Hatalı Bağlantılar: Güneş pilinin devresindeki zayıf veya hatalı bağlantılar, elektronların iletimini bozabilir. Gevşek veya yanlış lehimlenmiş bağlantılar direnç noktaları oluşturarak güç kayıplarına ve verimin düşmesine neden olabilir.

- Üretim Hataları: Bazı durumlarda, üretim sürecindeki hatalar elektron iletim ızgarasında bozulmalara neden olabilir. Örneğin, ızgara düzenindeki tutarsızlıklar veya hatalı malzeme birikimi elektron hareketini engelleyebilir ve hücrenin performansını bozabilir. Elektron iletim ızgarasındaki kesintileri azaltmak için güneş panellerinin düzenli bakımı ve temizliği kirlenmeyi önlemeye yardımcı olabilir. Ek olarak, üreticiler genellikle üretim kusurlarını en aza indirmek için kalite kontrol önlemleri uygular. Şebeke hasarı veya hatalı bağlantı durumunda, güneş pilinin düzgün çalışmasını sağlamak için onarımlar veya değiştirmeler gerekebilir.

6.2.6 Panel Kirliliği ve Çözüm

Solar paneller, bir güneş enerjisi santralının yapı taşıdır. Solar panellerin yapısı solar hücrelerden meydana gelir. Bu hücrelerin yapısında yer alan elektro-kimyasal malzeme nedeni ile güneş ışığının tetiklediği enerji aracılığı ile uyarılıp, yapısında yer alan elektronlar devreye aktararak elektrik akımını meydana getirirler. Yapısında bulunan elektro-kimyasal malzeme uzun sürede ve doğrudan güneş ışığını yakalayabilirse o kadar fazla bir üretim verimi ortaya koyabilirler. Işınımın süresi, gezegen ve güneşin etrafında dönüşe bağlı olduğundan değiştirilemeyecektir. Bundan dolayı günlük ışınım süresince tam kapasite enerji üretimi için, güneş panellerin fiziki durumu çok büyük bir öneme sahip olacaktır. Solar panellerde fiziki durum tabirinden panellerin yüzey alanının temizliği anlaşılmalıdır. Panel yüzeyindeki olası bir toz, kir ve leke panellerde gün ışığına solar hücrelerin erişimini engelleyecek ve enerji üretimini olumsuz yönde etkileyecektir. Bundan dolayı, güneş enerji santrallerinde panellerin yüzey alanları temizliği işletme sürecinin en önemli konusudur. Güneş enerji santrallerinde panel temizliğine ilişkin;

- Temizleme Sıklığı: Temizleme sıklığı coğrafi konum, hava koşulları ve toz, kir veya moloz varlığı gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Genel olarak güneş panelleri yılda en az bir veya iki kez temizlenmelidir. Ancak tozlu veya kirli alanlarda daha sık temizlik gerekebilir.

Temizleme Yöntemleri: Güneş panellerini temizlemek için aşağıdakiler dahil çeşitli yöntemler vardır:

- Manuel Temizleme: Bu, panellerin yüzeyindeki kiri ve kiri çıkarmak için su, yumuşak bir fırça veya sünger ve hafif bir deterjan kullanmayı içerir. Panellere

zarar verebilecek aşındırıcı malzemeler veya sert kimyasallar kullanmaktan kaçınmak önemlidir.

- Otomatik Temizleme: Bazı güneş enerjisi kurulumları, panelleri temizlemek için su jetleri veya fırçalar kullanan otomatik temizleme sistemleri içerir. Bu sistemler genellikle temizleme verimliliğini optimize etmek için sensörler ve zamanlayıcılarla donatılır.
- Kendi Kendini Temizleyen Paneller: Bazı üreticiler, kir ve toz oluşumunu en aza indirmek için özel bir kaplamaya sahip kendi kendini temizleyen paneller sunmaktadır. Bu paneller, birikintileri gidermek için yağmur suyunun doğal temizleme etkisine dayanır.
- Güvenlik Önlemleri: Güneş panellerini temizlerken, kazaları ve hasarları önlemek için güvenlik yönergelerine uymak çok önemlidir. Dikkate alınması gereken birkaç güvenlik önlemi:
 - Sistemin Kapatılması: Temizlik işlemine başlamadan önce elektrik çarpması riskini önlemek için güneş panellerinin kapalı olduğundan emin olunmalıdır.
 - Uygun Ekipman Kullanın: Panellere güvenli bir şekilde erişmek için sabit bir merdiven veya platform kullanın. Yüzeyi çizebilecek veya yüzeye zarar verebilecek basınçlı yıkayıcılar veya aşındırıcı malzemeler kullanmaktan kaçınılmalıdır.
 - Sıcak Panellere Dikkat Edilmesi: Güneş panelleri, özellikle doğrudan güneş ışığına maruz kalırsa, gün içinde ısınabilir. Dikkatli olunmalı ve yanıkları önlemek için sıcak panellere dokunmaktan kaçınılmalıdır.
 - Su Kalitesi: Güneş panellerini temizlerken mineral birikintilerini veya kalıntılarını en aza indirmek için temiz, yumuşak su kullanılması tavsiye edilir. Yüksek mineral içeriğine sahip sert su, panellerde lekeler veya çizgiler bırakabilir. Gerekirse deiyonize su veya filtrelenmiş su kullanmayı düşünülmalıdır.
- Bakım Kayıtları: Temizlik programının ve güneş panellerinde gerçekleştirilen bakım faaliyetlerinin kaydını tutun. Bu belgeler, performansın izlenmesine ve zaman içinde verimlilikteki tüm sorunların veya değişikliklerin belirlenmesine yardımcı olabilir. Temizlik ve bakım için ek bilgiler ve talimatlar sağlayabileceklerinden, güneş paneli sisteminize özel üretici yönergelerine ve önerilerine başvurmayı unutmamalıdır[66].47

6.2.7. Güneş Enerjisi Santralinde Bakım Kapsamı

- Arıza Önleyici Periyodik Bakımları ve Bakım Sınıfları
- Genel Arıza Bakımları
- Santral Arıza İzleme (Monitoring) Bakımları
- İşletmenin Değerlendirmesi

6.2.7.1 Periyodik Bakım Tanımı ve Bakım Periyodu

Her bakım şirketinin bakım periyotları farklı olabilir ancak mutlaka tesis bakımlarının periyodik olarak yapılması gerekmektedir. Yıllık olarak yapılması gereken örnek bir bakım tablosu aşağıda yer almaktadır;

- 1 I-V Curve Ölçümleri Yıllık 1 Defa 1-30 Nisan
- 2 Termal Kamera İle Dc Hotspot Kontrolleri ve Ölçümleri Yıllık 1 Defa 1-30 Nisan
- 3 Güneş Paneli Temizliği Yıllık 2 Defa 1-14 Nisan
- 4 Inverterler İçin Ölçümler Ve Denetimler Yıllık 1 Defa 1-30 Mart
- 5 Topraklamaların Ölçümleri Yıllık 1 Defa 1-30 Eylül
- 6 Yıldırımdan Korunma Sistemi Ölçümleri Yıllık 1 Defa 1-30 Eylül
- 7 Konstrüksiyon İçin Ölçümler Ve Denetimler Yıllık 1 Defa 1-30 Eylül
- 8 Alçak Gerilim Elektrik Tesisatı Ölçüm Ve Denetimleri Yıllık 1 Defa 1-30 Mart
- 9 Orta Gerilim Elektrik Tesisat Denetimleri - Yg İşletme Sorumluluğu ile Her Ay 20-25.Arası Pazartesi Günü
- 10 Trafo Bakımlarının Kontrolleri Yıllık 1 Defa 1-30 Mart
- 11 Yüksek Gerilim Hücre Bakımları 2 Yıllık 1 Defa 1-30 Mart
- 12 Kompanzasyon Denetimleri Her Ay 20-25.Arası Pazartesi Günü
- 13 Faturalama Denetimleri Her Ay 20-25.Arası Pazartesi Günü
- 14 Kameralı Sistem Bakımları Yıllık 1 Defa 1-30 Mayıs[67]. (48)

6.3.Güneş Enerji Santrallerinde Yaşanan Kayıplar

6.3.1 Solar Panellerle İlgili Kayıplar

Tesisat işlerinin oluşmasının fazla olması nedeniyle yatırım maliyetlerinin geri dönüş süresini azaltmak için panellerin en verimli şekilde çalışmasını sağlamalıdır. Güneş panellerinin üretim sürecinde olduğu gibi sahada montajı sırasında veya enerji üretimi

sırasında birçok nedenden dolayı arızalar olabilmektedir. Güneş panellerinin birçok yerinde karşımıza çıkan bağlantı kopması, korozyon, cam kırılması, hücre kırılması, kaplama hatası vb. bazı kusurları var. Üretim hataları da dahil olmak üzere çatlak, çatlak, kuş pisliği ve hücre gibi nedenlerle panellerde oluşan noktalara sıcak nokta denir. Bu ısılar üretim kapasitelerinin düşmesine neden olabileceği gibi yan hücreleri de etkileyerek enerji üretmelerini engelleyebilir. Güneş panellerinde en sık görülen arıza türleri hücrelerde kısa devre ve diyot kısa devresidir. Hücrelerde kısa devre, panoların kalitesi nedeniyle genellikle üretim aşamasında veya sahada montajından sonra meydana gelebilir. Bu arıza sonucunda güneş paneli enerji üretmek yerine onu ısıya çevirerek tüketir. Bu tür arızalar toplam enerji üretimini azaltır. Güneş panellerinin yapıları en basitinden diyot diyebileceğimiz bir PN bağlantısı gibidir. Diyot kısa devre arızaları güneş panellerinde de oluşabilmektedir. Bu güneş panellerindeki hücre kusurlarının tespiti için çeşitli testler yapılmaktadır. Güneş paneli üretiminin son aşamasında yapılan bu testlerden bazıları flaş (I-V Curve Test-IEC 60891) ve elektrolüminesans (IEC 61215-IEC 61646) testleridir. Panel yüzeyine güneş ışınımının simülasyonu olan flaş ışınımı uygulanarak fotovoltaik hücrelerdeki elektriksel değerler ölçülür. Elektrolüminesans test yönteminde panelin iç hücrelerine elektrik akımı verilerek ilgili bölgenin X-ışınları alınır.

6.3.1.1. Işınım Kayıpları

6.3.1.2. Modül Düzleminin Açısından Kaynaklı Kayıplar

Modüllerin düzlemdeki eğim açıları sebebi ile, yatayda düzleme nazaran ortaya çıkan kazancı veya kayıpları meydana gelir. Bu parametrelerin bu açıdan tesiri genelde olumludur.

6.3.1.3. Güneş Spektrum Kayıpları

Anlık ışınlarda AM 1.5'te standart güneş spektrumundan sapmalar olması durumunda, sistemdeki FV modüllerin alıcılardan gelen spektral tepkisinde kayıplar meydana gelir. Bir yıl boyunca güneş ve gökyüzü radyasyonu için gözlemlenen spektrumlar, açık gökyüzü için ideal spektrumu gösterir (AM 1.5). Bu önyargı tahmini, toplam yıllık gelen güneş radyasyonunu güneş pili teknolojisine bağlı bir faktörle çarparak bir dereceye kadar azaltılır. Dört farklı PV teknolojisinin normalleştirilmiş spektral tepkileri c-Si (Kristal Silikon) ve CIS (Bakır İndiyum Selenide) teknolojilerinin spektral tepki aralıkları diğer teknolojilerden farklıdır ve muadilinden daha geniştir, bu nedenle

spektral absorpsiyonu daha yüksektir. a-Si ve CdTe (Kadmiyum Tellür) kalıplı PV panel sistemleri ortalama 350 – 800 nm değerleri aralığında salınabilen dar spektral tepkiler alanına sahiplerdir. a-Si kafeslerden yapılan modüller, dağınık güneş radyasyonunda ve yüksek güneş yükseklik açılarında daha fazla enerji üretir.

6.3.1.4 Yansımadan Kaynaklanan Kayıplar

Modülün ulaştığı güneş ışınımının bir kısmı hücreler tarafından emilmez ve parçalar modüle geri yansıtılır. Radyasyonun yansıyan kısmından kaynaklanan kayıplara yansımaya kayıpları denir. Katı bir cisme ulaşan radyasyon genellikle aşağıdaki üç optik hareketi gerçekleştirir:

- Yansımaya: radyasyon, nesnenin ürünlerimize geri döner,
- İletim: radyasyon nesnesinin içeriğini verir,
- Absorpsiyon: radyasyon nesneye girer ve tutulur; enerji farklı bir forma dönüştürülür. Fotovoltaik malzemelerde, ışınım akısının bir kısmı emilir ve elektrik enerjisine dönüştürülür. Malzemenin kalitesi, optik yansımaya, düşük ışık kaybına ve emilen radyasyonun yoğunluğuna bağlıdır. Kristalin silikon, amorf silikondan daha fazla ışık emer. amaç; ışığı hapsedmek ve yansımaları olabildiğince azaltmak (hava ile temas halindeki ham silikon ışığın %33'ünü iter). Modüller, yansımaları ve yansımaların emilimini en üst düzeye çıkarmak için farklı katmanlardan üretilir. PV modüllerde yer alan yüzey kaplamalarının camları, emilimi maksimum seviyeye çıkarmak ve yansımaları minimum seviyeye düşürmek için temperlenmiş yapıya sahiptirler. Hücreler ayrıca ışık panellerini engelleyecek olan Anti-Reflektif Kaplama (Anti- reflektif kaplama) malzemesi ile kaplanmıştır. Yansıtılan güneş radyasyonunun kütlesi, güneş ile PV modülü arasındaki açıya ve modülün kırılma indeksine bağlıdır. Normal bir ışınımında, güneş modülleri gelen ışığın %4'ünü taşır.

6.3.1.5. Gölgelemeden Kaynaklanan Kayıpları

Bir PV dizisinin (dizi) gölgeli ve gölgesiz bölümleri arasındaki radyasyon farkları, gölgeleme kayıplarına neden olur. Gölgeleme kayıpları kaynağına göre ikiye ayrılır.

Doğal Ufuk gölgelemesi: Kurulum alanından görülebilen dağ ve tepe dizilerinin oluşturduğu gölgelemedir. Genel olarak, bu tür gölgeleme, kurulum sahasının tüm noktalarında tek tiptir.

Sıralı Modül Satırları Nedeniyle Gölgelemesi: Hizalanmış bir modül seti, aynı sistemdeki başka bir ön sıradaki modül tarafından gölgelenir. Bu tür gölgeleme ile ilgili hesaplamalar, yalnızca doğrudan radyasyonun bloke edilmesini değil, aynı zamanda dağınık radyasyonun azaltılmasını da hesaba katar. Gölgeleme, neredeyse tüm PV sistemlerinin performansını etkileyen önemli bir tasarım faktörüdür. Güneşin konumu yıl boyunca ve gün boyunca değiştiğçe gölgeler hareket ettiğinden, gölgelemenin güneş dizileri üzerindeki etkilerini ölçmek zordur. Gölgeye neden olan nesnelere yapılan değişiklikler durumu daha da karmaşık hale getirir; Örneğin, bir ağacın gölgesi rüzgar tarafından sürekli olarak yer değiştirir veya ağaçların dökülmesi ve yeniden yapraklanması, güneş lifi üzerindeki gölgelerin yoğunluğunu değiştirir. PV literatüründe gölgeleme analizine geniş bir alan ayrılmıştır. Bunun nedeni, bir güneş paneli veya dizisi üzerinde küçük bir alanın bile gölgelenmesinin, FV sistemin genel çıktısını önemli ölçüde etkileyebilmesidir. Her PV jeneratörünün, mümkün olan en yüksek miktarda enerji ürettiği Maksimum Güç Noktası (MPP) adı verilen bir çalışma noktası vardır. Üretilen enerji esas olarak güneş radyasyonuna bağlıdır. PV jeneratörünün içindeki dizideki PV modüllerinden herhangi biri gölgelenirse, modülün ve dizinin elektriksel özellikleri önemli ölçüde değişecektir; PV jeneratörü artık farklı çalışma koşullarına sahip birden fazla çalışma noktasına sahiptir. Yerel MPP (LMPP) noktasındaki güç, Global MPP'deki (GMPP) güçten çok daha düşüktür. Şebekeye bağlı her evirici, MPP noktasının izlenmesinden sorumlu MPPT modüllerine sahiptir. Bu modüllerin görevi, PV jeneratörünün optimum çalışma noktasında çalışmaya devam etmesini sağlamaktır. Bu şekilde kontrol edilen bir PV jeneratörü, anlık güneş radyasyonundan mümkün olan maksimum gücü alır. Bununla birlikte, yukarıda açıklandığı gibi, bir PV jeneratöründeki PV modüllerinin tek tek gölgelenmesi birden fazla MPP noktasının görünmesine neden olur. Bu şekilde jeneratöre bağlı olan eviriciler, bu MPP'lerden hangisinin LMPP'nin yada GMPP'nin gerçek maksimum noktasının olduğunu belirlemelidirler. Yerel MPP'nin gün içindeki hareketleri, eviricinin PV jeneratörünü Global MPP yerine yerel MPP'de çalıştırmasının bir sonucu olarak ekstra kayıptır.

6.3.1.6 Tozlanma ve Karlanma Nedeni İle Kayıplar

FV modüllerin yüzeylerinin kirlenmesi veya yüzeyde kar birikmesi nedeniyle modüllere ulaşan güneş ışınımı miktarının azalmasından kaynaklanan kayıplardır. Tozlaşma üzerine yapılan araştırmalar, aşırı durumlarda, özellikle az yağış alan bölgelerde bu

kayıpların %15'e kadar ulaştığını göstermiştir. Bu durumda modüller temizlenmelidir. Ancak, büyük güçlü GES'lerde, özellikle su sıkıntısı çeken bölgelerde, bu işlem maliyetlidir. Tozlanmaya bağlı güç kaybı, tozun türüne, son yağmurdan bu yana geçen süreye ve temizlik programına bağlıdır. Yatay ile eğim açısı 15 dereceden büyük ise yağmurun toz gidermede etkili olacağı varsayılır. Bu durumda tozlaşmadan kaynaklanan verim kaybı %0,5 ile sınırlı olacaktır. Açı 15 dereceden azsa veya çevredeki araziler, çok az veya hiç yağış olmaması, toz ve tarımsal veya endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan hava kirliliği gibi kurulum alanına özgü özelliklere sahipse bu değer artırılabilir. Ancak araştırmalar, tozlanmadan kaynaklanan kayıpların nadiren %4'ü aştığını göstermiştir. Kar yağışının sık olduğu bölgelerde FV jeneratör çıkışlarında kardan kaynaklanan kayıplar görülmektedir. Başta Almanya olmak üzere birçok Avrupa ülkesinde hazırlanan Kar Örtüsü Haritaları, kar nedeniyle oluşan kayıpların tahmin edilmesinde belirleyici rol oynamaktadır. Bu haritalar 2005 – 2008 yılları için hazırlanmıştır. Ancak olası kayıp oranları bu haritalardan ancak yatayla sıfır derece açı yapan FV modül sistemleri için bulunabilmektedir. Eğimli yüzeyler için varsayımlar yapılabilir. Kar yağışının yaygın olduğu bölgelerde, zemine dayalı sistemlerde %1, çatılı sistemlerde %2 kar kaybı varsayılabilir.

6.3.2. Sistemin Kayıpları

Güneş enerjisi santrallerinde ana bileşenleri oluşturan ekipmanların teknik özellikleri ile ekipmanların konumlanma noktalarından ortaya çıkan kayıplara sistemin kayıpları denilmektedir. Kısaca, eviriciler, panellerle, sistemde kullanılan kablolarla özgü teknik özelliklerin, sistemde beraber çalışabilme uyumlarının ve konumlarının sonucu ortaya çıkan kayıplardır.

6.3.3 Modüllerin Teknik Özelliklerindeki Değişikliklerle İlgili Kayıplar

Solar modül katalog değerleri ile gerçek saha değerleri arasındaki farklılıklar modüllerin özelliklerinde sapmalara neden olmaktadır. PV modüllerinin güçleri, I-V karakteristik eğrilerindeki maksimum güç noktası ile STK cinsinden ifade edilir. Ayrıca güneş pilleri performanslarının verilerindeki değişiklikler ve üretim süreçlerindeki standart parametrelere de uyulmaması esas saha koşullarındaki güç parametrelerinde dalgalanmalara sebep olmaktadır. Bu durum saha şartlarında tahmin edilen enerji üretim rakamlarının daha düşük olmasına neden olmaktadır.

6.3.4 Düşük Seviye Işınlama İlgili Kayıplar

STK'dan farklı ışınlama değerlerinde düşük ısımdan dolayı PV odası güç çıkışlarındaki kayıplar. Yatırımcılar ve sistem koruyucuları kullanım modülün marka ve tipine karar verme kataloglarını inceleyerek edindiği özellikleri öğrenirler. Kataloglardaki önemli koruma muhafazaları: STK'da çıkış modül gücü (Watt Peak, Wp), güç sıcaklık değerleri (γ_{Pmp}), STK'da verim (η_{STC}) ve STK'dan daha düşük ışınlama değerlerine sahip modül bileşenleri. STK gerçek hayatta kalma nadir görülen bir olay olduğunda, "düşük radyasyon özellikleri" bir modülün veya sistem performansı için önemli bir parametredir. Hücre sıcaklığı ($T_{modül} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$) ve spektrum (AM 1.5) STK'da sabit tutulduğunda radyasyondan değiştirilerek normalleştirilmiş bağıl radyasyon yoluyla elde edilir.

6.3.5 Sıcaklıktan Kaynaklanan Kayıplar

PV modüllerin güç çıkışları ile bu modüllerin sıcaklıkları arasında ters bir orantı vardır. Modül sıcaklığı yükseldiğinde PV modüllerden elde edilen güç oranı azalır. Sıcaklık nedeni ile yaşanan kayıplar hücrelerin sıcaklıkları ile doğru orantılı olarak artar. Ortamda sıcaklık yükseldiğinde, hücrelerin sıcaklıkları da yükselir, sonuç olarak üretilecek enerji miktarında azalmaya sebep olur. Solar hücrelerin, 800 W/m^2 ışınlama değerinde, 1 m/s rüzgar ile 20 derecedeki ortamdaki sıcaklık koşullarında bulunan bu sıcaklıklarına hücrelerin nominal çalışma sıcaklığı denir. Tanımlı bu sıcaklık değerleri PV modüllerinin kataloglarında yer alır. Bu modüllerin sıcaklık katsayıları yaz mevsimleri ile sıcak aylarda ve yüksek sıcaklıklarda bu modülün güç üretim çıkışlarında STK'daki güç üretimi çıkışlarından %35 daha düşük olabilecektir.

6.3.6 Uyumsuzluklarla İlgili Kayıplar

PV modüllerin, inverterin girişlerinde ihtiyacı olan DC gerilimi ve akımı sağlayabilmeleri nedeni ile birbirleri arasında paralel ve seri olacak şekilde bağlanabilirler. Bu şekilde bağlı durumlarda toplam üretilen DC güç miktarı, panellerin tamamının üzerinde yazılı bulunan güçlerinin toplam miktarından daha azdır. Bunun nedenleri ise; çevresel gerilimler, statiksel uyumsuzluklar ve gölgelenmeye maruz kalma durumları ile açıklanmıştır. Statiksel uyumsuzlukların güç üretimi sırasındaki toleransları ile dize içerisinde bulunan modüllerin zamanla yaşlanma faktörleri olacaktır. Çevresel gerilimler ise, hava şartları ve mevsimsel olaylar nedeni ile modüllerin hasar ve zarar görmesi nedenleri ile alakalıdır. Örnek bir PV dizisinde yer

alan modüllerin birbirleri arasında çeşitli çalışma sıcaklıkları altında bulunmaları veya değişik ışınım değerleri ile farklı ışınım açısı durumunda kalmaları bu uyumsuzlukların kaynaklarıdır. Aynı PV dizisinde bulunan modüllerin DC kablolarının aralarındaki uzaklık ve kesit farklılıkları bu uyumsuzluk zararlarına sebep olacaktır. Ayrıca dinamik uyumsuzluklar bu modüllerin maksimum güç noktalarından daha uzak mesafede çalıştırılmalarından kaynaklanacaktır. Modüllerin paralel bağlanması ile gerilim, seri bağlanma durumunda akımın, dizide bulunan bağlı bütün modüllerde eşit olacağı için seri veya paralel biçimde birbirine bağlı PV modüller maksimum güç noktalarında üretime dahil olamayabilmektedirler. Sistemde bulunan modüllerin aralarındaki seri haldeki dizi ile paralel yapılan bu bağlantıların inverterlerde çok iyi yönetilmeleri gerekir. Modül dizelerinde yer alan ve bağlantı şekli seri olarak birbirleri ile bağlı modüllerin kendine has güç toleranslarının farklılıkları sebebi ile uyumsuzluk ve kayıp miktarları artacak veya azalacaktır. Bu konudaki bir çalışma için Almanya TÜV Rheinland PV Certification Laboratory'den Werner Herrmann uyumsuzluk kayıpları ile ilgili modüllerin toleransları ile bu modülleri ön sıralama işlemlerine (pre-sorting) maruz bırakmak sureti ile bağlantısını araştırmış ve sonuçta $\pm 5\%$ güç toleranslarına sahip olan modüllerde ön sıralama işlemleri öncesinde birbirine bağlandıklarında bu uyumsuzluk kayıplarının 1% seviyesinde gerçekleştiğini ortaya koymuştur. Ayrıca modüllerin akım seviyelerine göre sıralandığında ise uyumsuzluk kayıplarının $0,2\%$ seviyelerine düştüğünü tespit etmiştir.

6.4. Solar PV Modülü Kayıpları

Günümüzde güneş enerjisi PV ekipmanları, bu ürünlerin bütün ekonomik ömrü süresince güvenilir şekilde çalışma koşulları için tasarlanmaktadır. Üretimlerinde meydana gelebilecek hatalar olsa da, günümüzde halen bu ürünlerin performanslarını değiştirebilecek erken arızalar ortaya çıkabilmektedir. Güvenilirliği ve kaliteleri modern bir güneş enerjisi PV ekipmanı için tasarlanmaları ve üretilmelerinde ana koşullardır. Üretimlerinde genel bir kontrol veya kötü bir kalite kontrolü bulunsa dahi seri şekilde yapılan üretim tekniklerinin bu ürünlerde üretim kusurları oluşturabileceği, sistemin sahadaki montajının yanında nakliyelerinin neden olabileceği olumsuzlukların bütünü bu ürünlerin ekonomik ömürlerinde kısalmalara ve değişik hasarlara sebep olabilirler. PV sistemlerde maliyetleri düşürmenin ana parametrelerinden birisi, PV sistem modül güvenilirliklerini ve ekonomik ömürlerini uzatabilmektir. Günümüzde bu yöndeki istatistiklerde, kristal yapıli silikon PV sistem modüllerinde nominal gücün $0,8 / \text{yıl}$

seviyesinde bozulma değerlerine ulaştığını göstermektedir. Bu modern ürünlerin yüksek kalitede malzemeler ile seri imalat koşullarından yararlanmak nedeni ile tasarlanmakta olsalar bile fiyatlarda yaşanan rekabetler, bu panellerin üretimlerinde öncekinden daha ince ve daha az malzeme miktarının kullanılmasına sebep olmuştur. Buna ek olarak, kimi üreticiler ise fiyatları ve maliyetleri düşürebilmek amacıyla daha düşük kalitede malzeme kullanımına geri döndüklerine ilişkin görüşler de bulunmaktadır. Panellerde bu erken başarısızlıklar, temelinde bulunan yaşam döngüsü maliyetleri sermaye olduğu için PV sistem kurulumlarına çok ciddi bir finansal atıfta bulunabilirler. PV sistemlerde modül arızaları, normal çalışma süresince aksine evrilemeyen, PV modüllerin gücünü azaltan, güvenlikle ilgili bazı sorunları ortaya çıkaran sorunlardır. Sayılan bu olumsuzların dışında bulunan bütünü ile diğer kozmetik bir sorun, bu PV modüllerinin bir arızası olarak kabul görmez. PV sistem modüllerinde arıza, bu modüllerin normal şartlar altında çalıştıklarında karşılaştıkları koşullarda oluştuğlarında garantileri ile alakalı olacaktır.

Modüllerde bulunan ürün arızaları aşağıda bulunan üç şekilde incelenebilir:

- Modüllerde Bebek başarısızlığı,
- Modüllerde Orta yaş başarısızlığı,
- Modüllerde aşınma hataları.

PV sistem modüllerinde üç farklı şekilde arıza meydana gelmektedir. Bu modül arızalarının yanında, pek çok PV sistem modülünün kurulumunun ardından ışıınımdan dolayı bazı güç bozulmaları (LID) gösterirler. Işığa bağlı olarak oluşan LID bir şekilde ortaya çıkan bir arıza şeklidir. PV sistem modülünün etiketinde yer alan nominal güç faktörü genelde bu şekilde meydana gelen bir arıza nedeni ile arzu edilen standart doymuş güç kaybı ile hesap edilir.

- LID: Işık ve ışıınımlı kaynaklı bozulmalar,
- PID: Potansiyelden kaynaklı bozulmalar,
- EVA: Etilen vinil asetat,
- J-box: Bağlantı kutusu,
- Arızalar ve arızaların oluşumları.

Pek çok PV sistemin kurulumu son yıllarda yapıldığı ve tedarikçiler fiyatları serbest bırakmak için istemsiz oldukları için, PV sistemlerde bulunan panellerin ekonomik ömürleri süresince hizmet içi arızalarla ilgili detaylı çalışmalar bulunmamaktadır. Modüllerde bebek ölümleri için yapılan çalışma raporlarında, kurulumlarındaki

başarısızlıklarla ilgili, sistemde kurulumu yapılan bütün panel miktarının % 1'i ile 2'si arasında rakamlara yer verilmektedir. Yapılan çalışmalarda hızlandırılan yaşam ve çalışma süreleri ile belli bir sayıda panel özelinde değişik simülasyon çalışmaları vardır. Mesela Solarex kuruluşu c-Si panellerinde sekiz yıl süreli bir zaman içinde % 0,13 seviyesinde bir başarısızlık oranı bildirmiş olup, Sandia Ulusal Laboratuvarları ise saha verileri ile yıllık % 0,05 seviyesinde bir başarısızlık oranı varsaymaktadır. Bunun yanında, bu rakamlar kısa vadede yer alan erken yaşam olumsuzluk rakamları olup, daha büyük ölçekte sistemler için geç yaşam arızaları ile ilgili bir veri bulunmamaktadır.

6.4.1 Büyük kusurlar ve arızalar

Bu arızaları performanslarla ile güvenlikle alakalı arıza çeşitlerine göre ayrılabiliriz. Bunlardan güvenlikle alakalı olan arızalar sistemde bulunan mülke çeşitli ve fiziki bir takım zararlar verebileceği gibi personellerin yaralanması gibi can ve mal güvenliğini de tehdit edebilirler. Sistemin performansı ile alakalı arızalar ise, PV sistemin çıkış güçlerinde bir kayıba yada bir azalmaya sebep olurlar.

Aşağıda bulunan alanlarla ilgili bazı kusurlar ortaya çıkabilir:

- Kristal yapılı PV ürünlerinde bulunan gofret veya hücrelerde,
- Kapsüllemelerde,
- Cam tabanlarda,
- Dahili kablolamalarda,
- Çerçeveleme ve bağlantı parçalarında,
- Şekilsiz PV'deki şekilsiz katmanlarda.

6.4.2 Gofret Veya Hücre Hatalarından Kaynaklanan Kayıplar

Hücrelerin verimliliklerindeki bozulma bunların ekonomik ömürleri süresince normal karşılanabilir ve bu bozunma olaylarının hızı istenilen normal sınırlarda olduğu sürece olumsuz bir hata yada başarısızlık olarak nitelendirilmez. Hücre yada gofret arızalarında genellikle gofretlerde meydana gelen çatlamlar olup, bunların bağlantı ile iletkenlerde oluşturabileceği bir takım hasarlar olabilecektir. Bunun dışında daha küçük yapıda sayılabilecek arızalar ise, yansımaları önleyici kaplama (ARC) hasarları ile hücrelerin korozyonundan kaynaklanan arızalar olabilir. Amorf yapılı güneş sistemine dahil panellerde ışıktan kaynaklanan bozulma olarak bilinmekte olan bir etki olup, mutlak

başarısızlık olarak değerlendirilmez. Potansiyelden kaynaklanan bozulmalar ise, bu PV sistemleri ile ilgili ve yükselen gerilimlerin neticesinde meydana gelen bir parametredir.

a) Yansıma önleyici kaplama delaminasyonu

Yansımayı engelleyen kaplamalar (ARC) ışığın modül tarafından yakalanma seviyesini yükselteceği gibi bu nedenle de modülün güç evrimini arttıracaktır. Ayrıca ARC delaminasyonunu, bu anti-yansıtıcı kaplamalar hücrelerin silikon yapıları yüzeylerinden ayırdığında ortaya çıkarlar. Aşırı bir delaminasyonun olmadığı durumlarda çok önemli bir olumsuzluktan söz edilmez. Bu konuda yapılan araştırmalarda, ARC niteliklerinin PID'de nedensel bir parametre olduğu ortaya çıkmıştır.

b) Hücre çatlama

PV sistem modüllerinde bulunan çatlaklar bu yapının her alanında bulunabilirler. Modül ekonomik çalışma ömrünün değişik aşamalarında ortaya çıkabilirler. İmalat esnasındaki lehimlemeler, bu hücrelerde aşırı gerilimlerin indüklenmesine neden olabilirler. Panellerin nakliyesi aşamasında taşınmalarının ve yaşadıkları titreşimlerin bu çatlaklara sebep olabileceği yada çatlakları genişletebilecekleri ortadadır. Nitekim sahada montaj edilen bir modül için, rüzgarın oluşturabileceği basınç ve titreşimler ile kar yükünün neden olabileceği fiziki basınçlarla mekanik olarak bir takım yüklerin altında kalırlar. PV modüllerde bulunan mikro çatlaklar aşağıda yer alan aşama ve parametrelerde yer alabilir yada şiddetlenebilirler:

- Üretimlerinde,
- Ulaşım ve nakliyelerinde,
- Kurulumlarında ve montajlarında,
- Hizmet süresi içinde strese bağlı (ısı, termal ve diğer şekillerde).

Kristal yapıları gıfretler ile ilgili olarak, çalışma süreleri boyunca artan ve kalınlıklarının azalması ile kırılma ile çatlama olasılıklarının yükseldiği tespit edilmiştir. Bu çatlaklara engel olunabilmesinin olanaksız olması ve günümüze kadar, çalışma ve ekonomik yaşam sürelerince modüllerin verimlilikleri hakkındaki değişimleri ölçebilmek mümkün olmadığı için bu PV modüllerinin ciddi bir sorunu olmuştur. Bununla birlikte, bu mikro çatlaklar, hücrelerin değişik bölümlerinin devrede olduğu ve elektriksel olarak bağlı bulunduğu süre boyunca, daha yeni modüllerin güçleri ile ilgili ancak marjinal bir etki düzeyine sebep olabilirler. Modüller yaşlandıkça, ısı, mekanik ve termal gerilimlere uğradıkça bu çatlaklar ortaya çıkacaktır. Çatlakların hücrelerin parçalarının tekrar edilen göreceli hareketleri ile tam bir ayrılmaya ve dolayısı ile aktif olamayan hücre

parçalarının oluşumuna neden olacaklardır. Bu türde bir özel durum nedeni ile yaşanan güç kayıplarının sonuçları ile ilgili net bir değerlendirme mümkün olabilecektir. Mesela 230 W gücünde ve 60 hücreli bir PV modülü özelinde kaybedilen toplam kısmın hücre toplam alanının % 8'i seviyesinden daha az olacağı sürece kayıp hücre parçalarının kaybı kabul edilebilmektedir. Bir tanımlama ile mikro çatlaklar, PV modül hücrelerinin silikon yapıdaki substratında dışardan insan gözü ile görülemeyen çatlaklardır. Güneş pillerinde bu çatlaklar değişik yapılarda, yönlerde ve boyutlarda oluşabilirler. Burada ayrıca yonga dilimleme işlemleri, hücrelerde üretim iplikleri ile üretim işlemleri esnasında yapılan gömme işlemleri, PV modül hücrelerinde hücrelerde çatlaklara sebep olmaktadır. PV sistem güneş pillerinde kenetlenme işlemleri, çatlakların oluşmasında ciddi bir risk taşımaktadır. Üretimleri esnasında genel olarak üç farklı tipte mikro çatlaktan söz edebiliriz bu üç olumsuz faktörün de oluşma ihtimali vardır: bu hücrelerin ara bağlantılarında kullanılan şeritlerinden başlayan bu çatlaklara, lehimlenme işlemleri nedeniyle artık gerilimler sebep olmaktadır. Söz konusu çatlaklar genellikle konektörlerin ucunda yada başlangıç noktalarında bulunurlar, bu nedenle ciddi bir kalıntı stres meydana gelir. En fazla meydana gelen çatlaklar bu tipte olanlardır. Gofretlere baskı ve mekanik basınç uygulayan üretim makinelerinin neden olduğu çatlaklara ise çapraz çatlak adı verilir. Hücrelerin kenar kısımlarından başlayan çatlaklar ise, hücrelerin sert yapılı herhangi bir nesneye çarpması dolayısı ile oluşan çatlaklardır. Güneş modüllerinde herhangi bir hücre çatlağı varlığında, bu güneş modüllerinin çalışması süresince var olan bu kısa ve küçük boyutlu hücre çatlaklarının büyüyerek daha geniş ve büyük çatlaklara dönüşme olasılıkları bir hayli fazla olacaktır. Çünkü rüzgar basıncı yada kar yüklerinin neden olacağı mekaniksel gerilimler ile havada oluşan bulutlanmanın sebep olacağı sıcaklık farklılıkları, meteorolojik değişimlerin neden olacağı güneş modüllerinin üzerinde oluşabilecek termo mekanik gerilimler olacaktır. Bu mikro çatlaklar değişik kaynak ve kökenlere sahip olabileceği gibi etkilenmiş olan hücrelerin parçalarına ilişkin kısa devre akımlarının ve hücrelerde verim azalmasına neden olabilen ciddi neticeleri ile verimi düşüren parçalanma gibi sonuçlara yol açabilirler. Mikro çatlaklar bir görünüm olarak, hücre yapısında salyangoz izlerine benzer bir görüntüde olabilirler. Ayrıca bu salyangoz izlerinin uzun vadede hücrenin yüzeyinin değişmesine yada yüzeyde sıcak noktalara sebep olabilen kimyasal işlemler sonucunda meydana gelebilirler. Büyük çatlakların oluşması ile çatlak modeline bağlı olarakta, nem, termal, mekanik stres ile etkilenmiş olan PV hücrelerde güç çıkışlarında kayba sebep olabilen etkin olmayan yada ölü hücre parçalarının

oluşmasına neden olabilirler. Etkin olmayan yada ölü bir hücre parçalarının varlığı ise artık PV hücrelerin bu önemli bölümlerinin artık güneş enerjisi modülünde toplamda üretilen bütün güç çıkışlarına bir katkıda bulunamayacağı anlamı taşımaktadır. PV hücrelerin ölü yada aktif bulunmayan bu kısmının toplamda hücre alanının % 8 seviyesinden fazla olduğu durumda, aktif bulunmayan hücrelerin alanları doğrusal olarak yükselen güç kayıplarına neden olacaktır. Bu çatlaklar modüllerde uzun bir çalışma süresi boyunca büyüyerek PV modüllerin işlevleri ile performanslarındaki olumsuz etkileri büyütürken potansiyel bir şekilde sıcak noktaları tetiklerler. Tespiti olamayan mikro çatlaklar ise, öngörülenden düşük bir alanın ömrü ile neticelenebilirler. Hücre üzerindeki, boyutları, yeri ile etkisi yönleri ile değişiklik gösterebilirler. Bu mikro çatlakların tespiti noktasında (EL) Elektrolüminesans ya da (ELCD) elektrolüminesans çatlakların tespiti testleri fazlaca uygulamada olan yöntemler olarak bu mikro çatlakları tanımlamak için değişik kalitede test yöntemleri de bulunmaktadır. EL testinde, termal kameralar, kızılötesi (IR) görüntülemeler, VA karakteristikleri ile flash testi, diğer var olan test tipleri ile gözlenemeyen saklı kusurları ortaya çıkarabilirler. Kimi üreticiler de, sistemde kurulu bulunan panellerin çalışma ömürleri süresince düzenli periyotlarla kontrol edilmelerini tavsiye ederler.

6.4.3 Kapsüllemelerle İlgili Kayıplar

Güneş panelleri, değişik malzemelerin katmanları ile oluşturulan bir sandviç benzeri ekipmanlardır. Kapsülleyiciler aşağıdaki nedenlerle kullanılmaktadırlar:

- Isı ve nem olayları ile UV radyasyonu ile termal döngülere dayanıklılık,
- İyi bir yapışma sağlamak,
- Camları hücreler ile optik olarak birleştirebilir,
- Bileşenlerine elektriksel açıdan izolasyon sağlarlar,
- Nem girişlerini kontrol ederek, azaltabilir yada ortadan kaldırabilir.

Kapsüllemelerde kullanılabilen en tipik malzeme etalin vinil asetatıdır. Bu kapsüllerin arıza yapması PV sistem modüllerinin arızalanması ile yada bozulması ile sonuçlanabilir.

a) Yapışma Hatalarından Kaynaklanan Kayıplar

Kapsülleyicinin, cam ve aktif katmanlar ve arka katmanlar arasında bulunacak olan yapışmanın farklı nedenler ile yapılamaması sonucu risk oluşabilir. İnce filmli yapılar ile başkaca PV teknolojik ürünleri, birbirine yapışık cam bir tabakadan delaminasyon gösteren şeffaf iletken oksit yada buna benzeyen tabaka içerebilirler. Genel olarak,

yapışma kontaminasyonların yada çevresel olan nedenler ile bir tehlikeye girerse, delaminasyon ortaya çıkar, bununla birlikte nemin girişi ile korozyonlar oluşur. Bu durum optik yollarda ve arayüzlerdeki delaminasyona, optik yansımayla ilgili (Örnek olarak tek bir hava yada polimer arayüzünde oluşan % 4'e kadar güç kaybı) sonrasında ise modüllerde akımın kaybı ve dolayısıyla güç kaybı olarak neticelenektir.

b) Asetik asit üretiminden Kaynaklanan Kayıplar

PV modülünün bileşenlerinde iç bileşenin korozyon süresini hızlandıran asetik asit oluşturmak amacı ile EVA tabakaları nemle reaksiyona girerler. Bu durum ayrıca EVA yaşlılığından kaynaklanır ve gümüş temaslar ile bağlantılara saldırabilir ve ayrıca hücre üretimi etkilenebilir. Bu durum geçirgen yapılı arka tabakalarda bir problem olmaz ve asetik asitin kaçıışı gerçekleşebilir. Ayrıca, geçirgen olmayan arka tabakalarda bu kusurlar zamanla ciddi ölçüde güç kaybına sebep olurlar.

c) Enkapsülanın Renk Değişiminin Işınımı Engelemesi

Bu şekilde bir durum iletim kayıplarına ve bu nedenle de azaltılmış bir güç sonucunu doğuracaktır. Modülde renk solması olayı oksijenin ağartılması sonucu ortaya çıkar. Bunun sonucunda nefes alan bir arka tabakayla dıştaki halkalarda açıklık oluşurken hücrelerin merkezinde renk değişikliği ortaya çıkar. EVA formunda çapraz ve zayıf bağlanmalar yada katkı maddelerinin ilavesi sonucunda meydana gelebilirler. Konsantrasyonsuz renk bozunmasının görülebilmesi beş ve on yıl sürebilir ve bu durumda çıktı gücü ciddi miktarda düşmeye başlayabilir. Rengi değişen EVA'nın kendisi olmayacak ve formunda bulunan katkı maddeleri olacaktır. Sonuçta ışığın panele ulaşması engelleyen bir durum ortaya çıkacaktır.

d) Delaminasyon Sonucu Kayıplar

Bu delaminasyon faktörü, kapsülleyici yapının cam yada hücreden ayrılması olayıdır. Delaminasyonda üstteki tabakada (cam), substrat yapılı (arka tabaka) ve enkapsülan yada enkapsülan ile hücreler arasında meydana gelebilir. Fabrika sürecinde EVA yapışmanın zayıfca yapılması yada cam temizliği prosedürü nedeni ile ön camda delaminasyon olayı oluşabilir. Böylece, ışığın panele kadar ulaşmasına engel olacaktırlar. Nemin boşlukta birikmesi ile lehim kablolarının çevresinde bazı kısa devre olayları oluşursa bu sorun çok önemli bir hale gelir. Hücrelerden delaminasyonlar olayları büyük ihtimalle zayıf çapraz bağlanmalarla yada hücre yüzeylerinin kirlenmesinden kaynaklanacaktır. Kusur önemli olacaktır, bunun nedeni laminatta olası hava kabarcıkları meydana geldiğinde, nemin birikimiyle kısa devre ihtimalleri oluşabilecektir. Bu EVA'nın imalatı sürecinde kesici olan uca kaliteli bir yapışma

olmaz ise kesici bu uçtan delaminasyon oluşacaktır. Bu yeni yollarla oluşan delaminasyonun ardından oluşan korozyonun modül performansını düşürdüğü bilinmektedir, fakat devamlı bir güvenlik problemi oluşturmayacaktır. Ayrıca, arkadaki tabakada delaminasyonun, aktif ve elektrikli bileşenlere maruz kalma ihtimalini arttıracaktır. Modül bir ön cam ile arka tabakalarıyla oluştuğunda, katmanlarına ayrılma yada cam kırılmaları etkilerini hızlandıran ilave olumsuzlar getirebilir.

a) Modül Arka Yaprak Hatalarından Kaynaklanan Kayıplar

Modül yapısı arka sayfası, elektronik aksam bileşenlerini olası çevre etkilerine karşı koruyacak ayrıca yüksek DC gerilimler altında daha güvenli çalışmasını sağlayacaktır. Sistemin arka tabakası cam yada polimer malzemelerden teşkil edilir ve ayrıca bir de metal bir folyo içerebilirler. Genelde sistemin arka tabakası önemli derecede kararlı ve UV dirençli bir polimer malzeme, genellikle dışında floropolimer malzeme, direkt çevrenin etkisinde bulunan PET bir tabaka ile son olarak kapsülleyici tabakalarla beraber laminat yapıtlardan oluşurlar. Modüllerde bu arka sayfanın yerinde bir arka cam kullanılırsa bu cam kırılarak hasar alabilir. Modüllerin arka sayfada bir ince film cihazı olarak alt bir tabaka (CIGS) yapılmış ise, bu modüller açısından çok önemli yada ciddi oranda tam güç kayıpları ile ciddi bir güvenlik tehlikesleri yaratırlar. Bu çatlaklar boyunca minik bir boşluk oluşumu ile elektrik arkı üreten ve bunu devam ettiren belli bir miktar voltaj üreteceklerdir. Sonuçta bu bir bay-pas diyotun arızası ile beraber olur ise, boşluklar boyunca bütün sistemin gerilimi mevcut olacaktır ve büyük bir ihtimalle olası yangını başlatarak bu camı eritmesinin mümkün olabileceği büyük ve sürekli bir ark oluşturacaktırlar. EVA'dan ayrılmanın, EVA ve arka tabakası arasında zayıf yapışma sonucu yada arkadaki tabakanın yapışma tabakasına UV altında yada sıcaklık yükselmesi ile hasar aldığıında meydana gelebilecektir. Ön kısım sararması, spesifik olarak arka tabakanın kapsülleyiciye yapışmasını sağlamak için kullanılan polimer malzemenin bozulması sonucu oluşur. Sararma olayı genelde kötüleşen ve yaşlanan malzemenin mekanik özellikleri nedeniyle oluşur. Bununla beraber, arka tabakanın sonundaki delaminasyona yada çatlamaya sebep olur. Hava tarafında sararma olayı ise, yüksek sıcaklık değerlerinde hızlandırılan UV duyarlılığının delilidir. Kusur, termal ısı bozunmasının bir neticesinde arka sayfada da meydana gelebilir.

6.6.4 Sıcak Noktalarla İlgili Kayıplar

Bu sıcak noktaları ısıtma, çalışma akımı gölgeli yada hatalı hücrelerin yada hücre gruplarının düşürülmüş kısa devre akımlarının (I_{sc}) üstüne çıktığında bir modülde

gerçekleşebilirler. Bu şekilde bir olay ortaya çıktığında, etkilenmiş olan hücre yada hücre grubunu ters bir eğilime zorlar ve gücü dağıtmak zorundadır. Gücün bu kaybı yeterince fazla yada yeterli bir lokasyona sahip ise, bu ters eğilimdeki hücreler aşırı ısınarak lehim yada silikon malzemenin erimesi sonucu ile kapsülleyiciyle arka tabakanın bozulmasına sebep olacaktırlar.

6.4.5 İletken Şeritler ve Bağlantı Hatalarından Kaynaklanan Kayıplar

Güneş pillerinin yapısı ön ile arka kontaklar olarak iki temel malzeme ile tasarlanmıştır, bunun bir sonucu olarak dış devrelere akımın verilmesini sağlarlar. Bu akım, ön ile arka kontaklara lehimli ve entegre buss şeritleri ile iletilir. Dizelerde bu şeritlerin başarısızlığı, çıkıştaki gücün kaybı ile alakalıdır. Ara bağlantılardaki kopmalar termal genleşmeler ile büzölmelerin yada tekrarlı mekanik gerilimler neticesinde meydana gelir. Bununla beraber, şerit yapısında daha büyük şeritler yada bükölme, aradaki bağlantı kapukluklarına katkı sağlar. Bu şekilde durum kısa devre hücreleri ile açık devre hücrelerinin varlığıyla neticelenir. Modüllerin önemli bir parçası da lehim bağlantı ara bağlantılardır. Silikon gofret, lehim, şerit ve bara gibi birbirine bağlı bir takım malzemelerden meydana gelirler. Bir araya gelen malzemeler değişik termal ve mekanik özelliklere sahiptirler. Bu birleştirme işlemlerinde montajlama, bağlantılı bulunan malzemelerin termal genleşme katsayılarındaki değişikliklerden kaynaklı termik ve mekanik güvenilirlik problemleri oluşturur. Lehimler, şerit ve elektrot arasındaki bağlantıyı sağlarlar. PV sistem modülünün sıcaklıkları meteorolojik şartlar altında ve değişik lokasyonlarda değişecektir ve bu durum lehimlerin ara bağlantılardaki bozulma oranlarını etkileyecektir. Modüllerin ömürleri boyu tahmin modellemeleri analizlerinde, farklı hava şartlarında yer alan aynı tipte c-Si PV modülleri kapsamında, örnek bir çöldedi yaşam sürelerinin en kısa düzeyde oldukları, bunun ardından ise tropiklerde bu sürenin kısa olduğu bildirilmiştir. PVsistem modüllerinde bulunan güneş pillerinin montajlarında lehimleme işlemlerinin kullanılması, en düşük üretim maliyetinde bulunan ve yüksek güvenilirlik seviyesine sahip ürünlerin sağlanması avantajlarına dahil olsa da, teknolojik veriler silikon yapıllı gofrette kesme gerilimleri üretim potansiyeline sahip bulunan yüksek sıcaklıklarda meydana gelir. Lehimlerin derz bozulmaları ile bozulmaları seride bulunan direncin artmasıyla güç kaybına neden olur.

6.4.6 Modüllerin Ömrü İle İlgili Kayıplar

Yukarıda izahı edilen arızaların tamamı PV panellerinin bozulmalarına ve nihai arızalanmalarına neden olurlar. Sistemin PV modüllerinin çalışma ömürleri 20 yıl yada daha uzun sürelerde çalışabilecek şekilde tasarlanır ve bu modern modüllerde sıcaklık döngüsü, nem, ısı, UV radyasyonu ile başkaca parametrelerin etkilerini simüle edebilen hızlandırılmış bazı test programları bulunur. Örnek PV panel özelinde genelde 0,8 normal güç seviyesi kullanım ömrünün bitiminde öngörülür. Yapılan testler ve eğrileri ile, bu noktalardan sonra bu panellerin hızla bozulduğu görülür. Panellerin 1990'lı yılların başında, on yıl olan garanti süreleri vardı. Günümüzde, hemen hemen bütün üreticilerde bu garanti süreleri 20 ile 25 yıl arasındadır. Fakat 25 yıl yapılan garanti, projesinin korunduğu anlamını taşımayacaktır. Bu durumda aşağıda bulunan soruları sormak gerekecektir:

- Modüllerin tedarikçisinin sorunu 15 yıl içinde mi olacaktır?
- Tedarikçilerin, daha sonra projenin korunacağından emin olmak için bir emanet hesabı finanse edebiliyorlar mı?
- Tedarikçiler, uzun vadeli dayanıklılıklar hakkında iddialarda bulunmak için sadece IEC yeterlilik testlerine mi güveniyor?
- Tedarikçiler sadece beş yıl çalışmış, üretmişler ise ve işleri sona ererse, modüllerin 25 yıl çalışabileceğini kim garanti edebilecektir?
- Garanti sürelerinin uzunluğunun artması umut verici olsa da bir yatırımcı veya geliştirici bu süreyinin sağlayıcısını dikkatlice gözden geçirmelidir.

6.4.7 Kablolama Nedeni İle İlgili Kayıplar

PV sistemde bulunan diğer bir kayıp ise kablo kayıplarıdır, bu kayıplar PV sistem için tesis edilen AC ve DC kabloların oluşturduğu omik kayıplar nedeni ile ortaya çıkmaktadır. Sistemin tasarımında ve projesinde oluşturulan, sahada montajı yapılacak kabloların boyutları, PV sistemlerin önemli bir aşamasıdır. Birbirleri ile seri ve paralel bağlanacak PV modüllerin, DC kabloları sayesinde inverter girişine kadar bağlantısı olmalıdır. Kablolamada kullanılan iletkenlerin resmi kataloglarda belirlenen akım taşıma kapasiteleri ile montajı yapılan iletken kablo tesisatı boyunca ortaya çıkabilecek gerilim düşümleri, iletken kabloların kesitini ve uzunluğunun tayin edilmesini belirleyen faktörlerdir. Sistemde bulunan AC ve DC tarafın kablolama kesitleri, sistemde yaşanan gerilim düşümlerinin ve tesiste kullanılacak kablo maliyetlerinin

ortalaması ile tespit edilir. AC tarafta da en fazla %1, DC tarafta en fazla %2 gerilim düşümleri kabul edilebilir sınırlar dahilindedir.

6.4.8 İnverter Kayıpları

İnverter iç mekanizmasında yer alan koruma devrelerinin, elektronik aksam ve yardımcı ünitelerin, gerilim dalgalanmaları, harmonikler ve aşırı akımlar nedeni ile hasar görmesi sonucu devre dışı kalmalarından kaynaklanan kayıplardır. Aşağıda inverter kayıplarına ayrıntılı olarak değinilmiştir.

6.4.9 DC/AC Çevrimi Verim Kayıpları

Buradaki kayıpları, inverterlerin stand – by pozisyonunda kendi enerji tüketimlerini hesaba katarak, inverterlerin verim eğrilerinin analizleri ile hesaplama yapılır. Bu sistemlerle ilgili DC/AC güç çevriminin verimliliğinde, Avrupa verimliliği ile ağırlıklı verim parametreleri kullanılmaktadır. İnverterlerdeki DC/AC çevriminin kayıpları, güç katmanları metodolojisinin şekline, PV inverterlerde kullanılmakta olan yarı iletkenlere, manyetik elementlere, kapasitörlerin iletimlerine ve anahtarlama esas olan operasyonel karakteristiklere bağlıdır. Genelde her PV inverter verimi 150 V DC girişindeki geriliminin genliğinde %0,3 - %1 seviyelerinde azalmaktadır. Bununla beraber verimde, düşük seviye ışınım ile yüksek seviyede DC giriş gerilimleri için sistem kontrol ünitesinin kayıpları nedeni ile güç tüketimi ve sistemdeki anahtarlama elemanlarının kayıpları dolayısı ile kayıplar %5 seviyesine kadar iner. Çağımızda imal edilen ve trafosu bulunmayan şebekeye entegre inverterlerin nominal seviyede DC girişlerinde bulunan gerilimlerin Avrupa verimleri ile maksimum verimleri %98 seviyelerindedir.

6.4.10 Güç Sınırlamalarından Kaynaklanan Kayıplar

STK'da bulunan modülün nominal gücünün, nominal AC çıkış inverter gücüne oranı inverterlerin verimlerini etkilerler ve bununla beraber inverterden üretilen bu gücün hepsini şebekeye entegre etmesine mani olabilir. Sistemdeki PV modüllerin STK'da bulunan nominal gücün çıkışları ile bu seviyenin de üstüne çıkmalarının çok zor olduğu genel bir kanı olduğundan, sistemdeki PV inverter güçlerinin genellikle PV modül güç miktarından biraz daha aşağıda bir seviyede seçilirler. Bu durumlar özellikle CdTe ve a-Si ince film gibi daha düşük sıcaklık katsayılarına sahip teknolojilerin bulunduğu tesislerde çok fazla enerji kaybına neden olabilirler. Son zamanlarda tesis edilen inverterlerin maksimum verim kapasiteleri %98 seviyelerini bulmuştur. Tesis edilen

inverterlerin bu seviyelerdeki verimlere ortalama %30 – 50 oranında kısmi bazı yüklenmelerde ulaşabilmektedirler. Sistemde DC giriş gücü oranına nazaran daha küçük AC bir çıkış gücüne sahip olan inverterler bu nedenle maksimum kapasite ile çalışmalarının olasılığı daha yüksektir. Bu şekilde normalden daha küçük güç oranında tercih edilen inverterler büyük oranda tam kapasitede çalışmaları sebebi ile güç sınırlaması algoritmasını etkileyen ve inverter çıkış gücünün sınırlayan yüksek çalışma sıcaklıklarına daha erken ulaşabilirler. Sistemde yükleme fonksiyonu olarak rutin bir inverter gücü toplam verim eğrileri ile DC çalışma gerilimleri inverterlerin nominal güç oranının üstü nedeni ile güç kısıtı kayıplarına ortaya koyar. Fazla yükleme nedeni ile inverterlerin çıkış güçlerini kısıtlar, sınırlar ve nominal çıkış gücü değerine sabitlerler.

6.4.11 Maksimum Güç Noktası (MPPT) Kayıpları

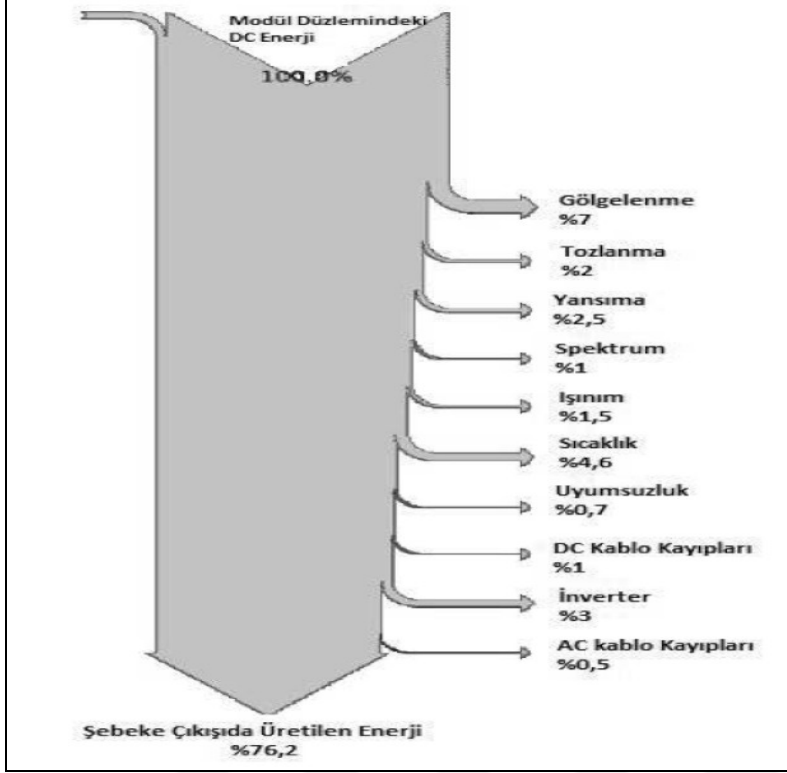
İnverterlerin verim seviyeleri genelde AC çıkış gücü ile DC giriş gücünün oranlanması ile bulunur. Verim oranı hesaplamaları esnasında inverterlerin üreticileri ile bu sistemlerin tasarımını yapanlar inverterlerde PV dizelerinin akım – gerilim (I-V) eğrilerinin maksimum güç noktalarında çalıştıklarını öngörürler. Sahada yapılan uygulamalarda farklı olarak daha önce öngörülen bu çalışma noktalarının maksimum güç noktalarından değişik değerler alınmasına neden olan değişik parametreler olduğu ortaya çıkmıştır. Mesela, MPP leri taranmasını sağlayan elektronik cihazların optimum noktaları seviyelerinde devamlı bir salınım uğradıkları, bunun da MPPT’lerde hata ve kayıpların oluşmasına neden olduğu bilinmektedir. Söz konusu MPPT’lerdeki bu kayıplar inverter çevrimleri veriminin azalmasına neden olurlar. Bu MPPT kayıpları iki farklı şekilde anlatılabilir.

6.4.11.1 Statik Maksimum Güç Noktası Kayıpları

Sistemde bulunan kararlı solar ışınım şartları altında bulunan MPPT devrelerinin verimleriyle alakalı olan kayıplardır.

6.4.11.2 Dinamik Maksimum Güç Noktası Kayıpları

İki değişik nedenle oluşabilen kayıplardır. Bunlardan biri; MPPT devre gerilimlerinin tanım kümelerini tarayan algoritma ile alakalı kayıplardır. Bir diğeri de devamlı ve hızlı değişikliğe uğrayan ışınım şartlarından dolayı ortaya çıkan kayıplardır. Genel olarak güneş enerjisi santrallerinde ortaya çıkabilecek kayıplar ile ilgili aşağıda yer alan Şekil 7.1’de görüleceği şekilde kayıp oranları ortaya çıkabilmektedir.

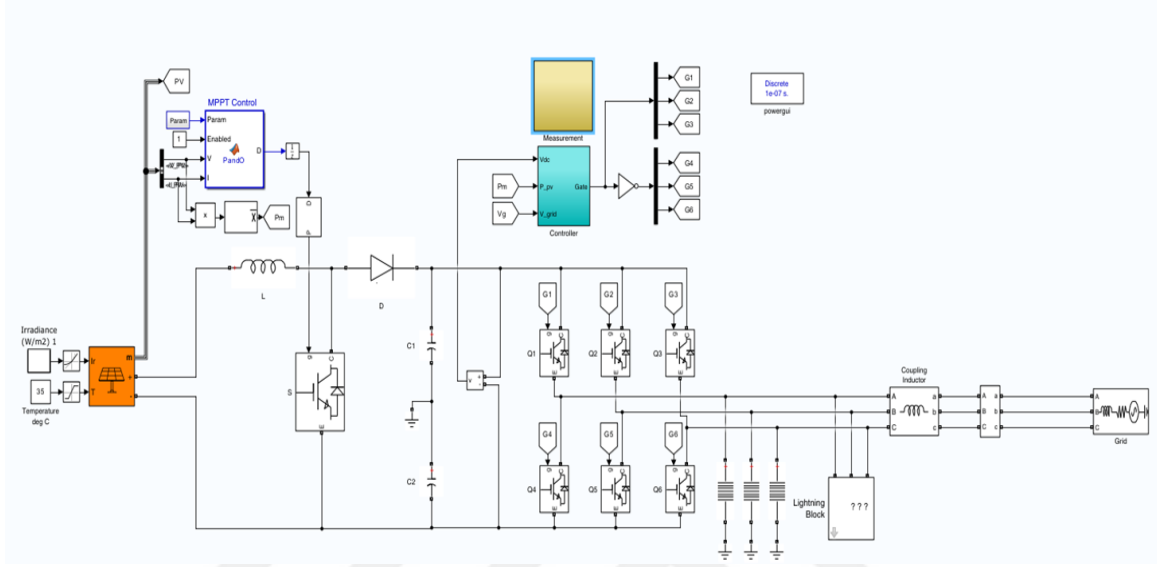


Şekil 6.1. Güneş enerjisi santrallerinde ortaya çıkabilecek kayıplar[68].

6.4. Yıldırım aşırı gerilimlerinin fotovoltaik sistemler üzerindeki etkisinin incelenmesi çalışması

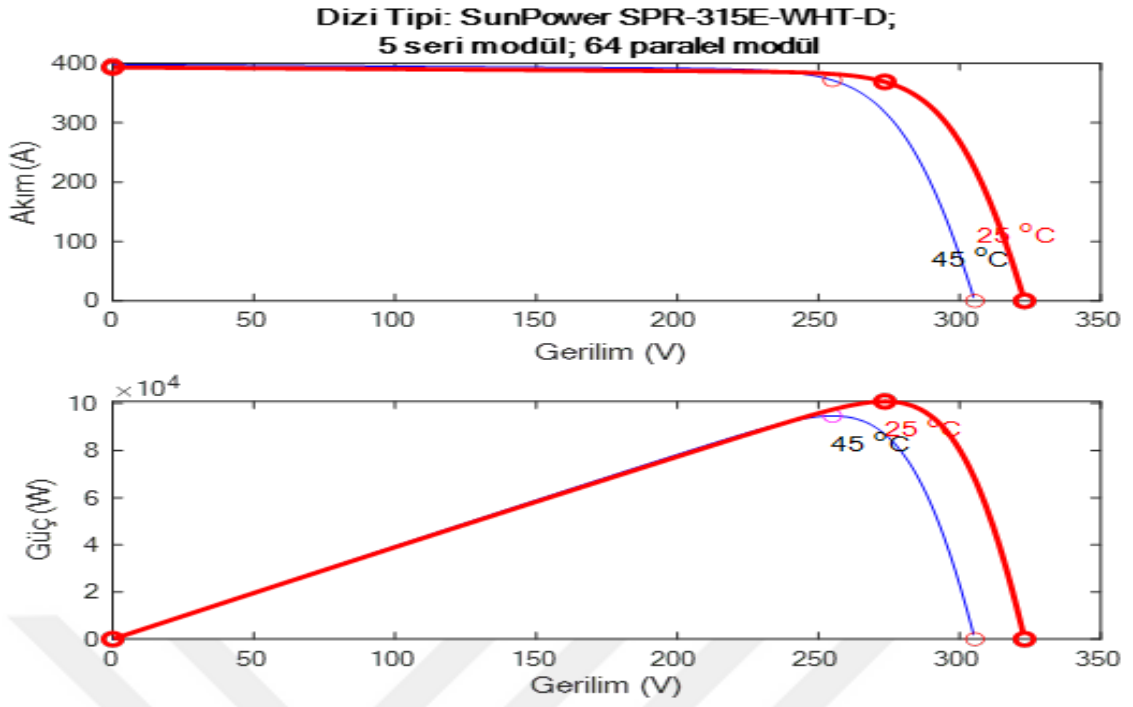
Çalışmamızın bu kısmında daha önce açıkladığımız gibi maksimum güç takipçisi bulunan, 100 kW'lık evirici barındıran bir PV sistemi, Matlab/Simulink programı kullanılarak modellenmiştir ve oluşturulan model Şekil 6.2'de gösterilmektedir. PV sistemin evirici çıkışlarında parafudur koruma elemanının dahil edilmediği ve dahil edildiği senaryolar sonucunda DC-DC konvertörün çıkışına bağlı kapasitörlerde meydana gelen potansiyel fark verisi grafiksel bir gösterimle Şekil 6.4'de görülmektedir. İnvertörlerin üretimine de bağlı olarak 1 kV 'dan fazla olan bu aşırı gerilimlerin santral sistemlerinde tesis edilecek bazı ekipmanlarda ve fotovoltaik güneş panellerinde fiziki ve mekanik hasarlara yol açtığı genel kabul gören bir olgudur. Parafudurların sisteme dahil edilmediği bir santralde, evirici çıkışlarında yer alan herhangi bir santral lokasyonunun yıldırımın darbesi ile aşırı bir gerilime maruz olması neticesinde PV panellerle diğer santral sistemi ekipmanlarının hasar alması kaçınılmaz olacaktır. Bu çalışma modelindeki parafudur karakteristikleri PV sistemin tasarlanmasında kullanılan ve 1 kV'luk maksimum gerilim değerini bastırabilecek biçimde modellenmiştir. Çalışmada, bu sisteme parafudur koruması dahil

edildiğinde, sistemin ekipmanlarının zarar görmesini engellediği ve aşırı gerilimi söndürdüğü görülmüştür. Aşağıdaki Şekil 6.4'ten anlaşılacağı üzere parafudr dahil edilmemiş ve dahil edilmiş bir santralin sisteminin aşırı gerilimlere maruz kaldığındaki gerilim davranışları gösterilmektedir. Çalışma sonuçlarına sonuçlar bölümünde yer verilmiştir.

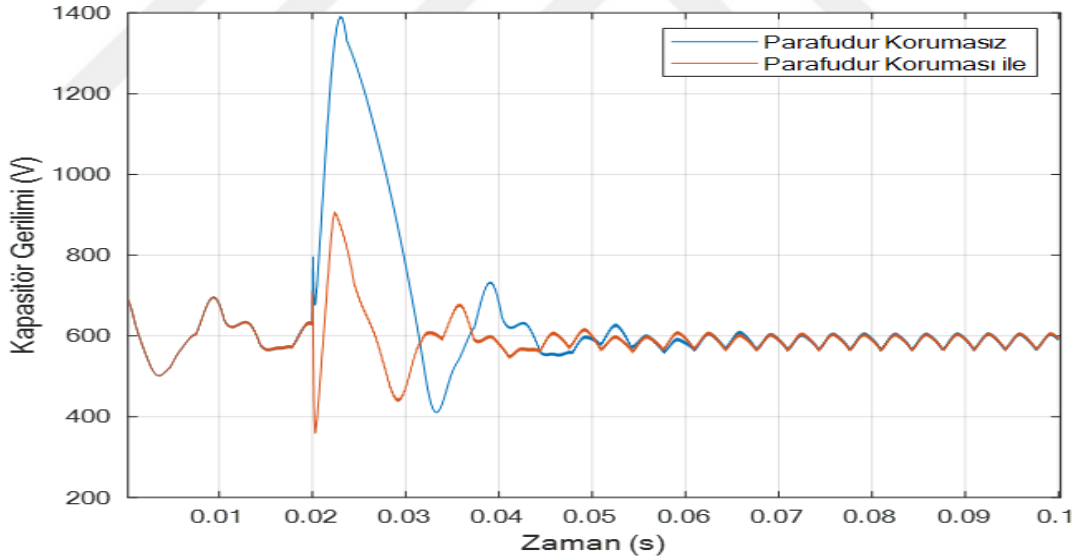


Şekil 6.2. Modellenen 100 kWp PV Sistem

Sistemde kullanılan solar modüller ve diğer sisteme ilişkin olarak gerekli parametreler daha önce Tablo 4'te sunulmuştu. Bu sistemde, diziler seri halde bağlı 5 adet ve paralel halde bağlı 64 modül yapısında olduğunda, bu modeldeki fotovoltaik panellere ilişkin akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) karakteristikleri aşağıda Şekil 6.3.'te gösterilmektedir.



Şekil 6.3. 64 paralel ve 5 seri dizi yapısında tasarlanması durumunda fotovoltaik panellerin akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) karakteristikleri.



Şekil 6.4. Yıldırım aşırı geriliminin korumalı ve korumasız olarak kapasitör üzerindeki potansiyel etkisi.

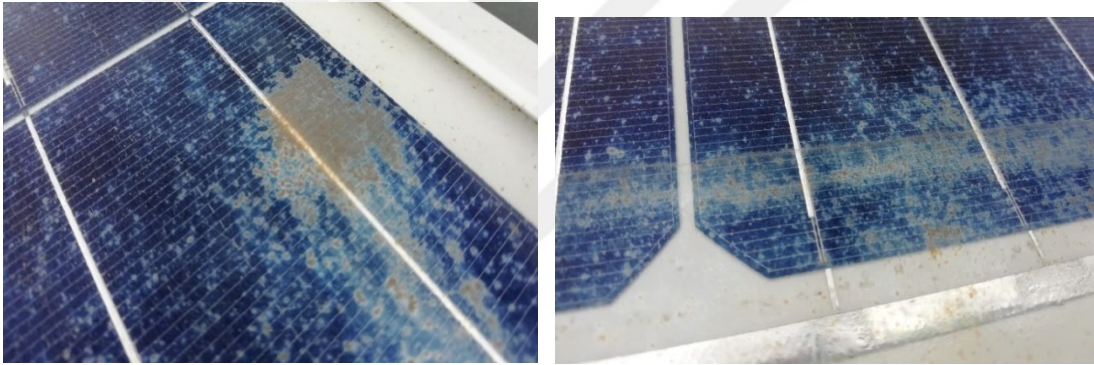
7. BULGULAR VE TARTIŞMA

7.1. 24/04/2020 - 08/01/2022 Yılları Arasında Güneş Enerji Santralinde İşletme Aşamasında Yaşanan Arızalar İle Bakım Kapsamında Tespit Edilen Bazı Arızaların Gerçek Ölçümlerle Yapılan Analizleri

7.1.1. Olaylar

7.1.1.1. Panel Üzerindeki Lekelenmeler

Olay 1: 24/04/2020 tarihinde bakım için santrale giden bakım ekibi panel üstünde oluşan lekelenmelerde incelemeler yapmıştır. Konuyla ilgili panel üretici firması ile görüşülüp, lekelenmelerin nedenleri hakkında bilgi edinilmiştir. Edinilen bilgiye göre panel camının üzerindeki kaplamanın yağmurdan veya rüzgarlardan gelebilecek bir kimyasalla tepkimeye girmesi sonucu oluşabileceğidir. Bu lekelenmeler seyretilmiş “tuz ruhu” ile giderilmiştir.



Şekil 7.1. Panel Üzerinde Lekelenmeler

Olay 2: Bakım ekibi 20/07/2020 tarihinde yaptığı kontrollerde panelin kirli olduğunu gözlemlemiştir. Bu kirlilik panelin üzerine düşen güneş ışınlarını kıracağı için verimi düşürmektedir. Ayrıca bu kirlilik panelin yüzey sıcaklığını daha fazla artıracak ve panel verimliliğinin daha fazla düşmesine sebep olacaktır. Bu hususta, santral veriminin düşmemesi için düzenli olarak panellerin temizlenmesi gerekmektedir.



Şekil 7.2. Panel Kirliliği

Olay 3: Bakım ekibi 07/10/2020 tarihinde yaptığı kontrollerde panellerin kirliliğini gözlemlemiştir. Panel yüzeyine biriken tozlar güneş ışığını kıracağından dolayı panelde verim kaybı yaşanmaktadır. Ayrıca panellerdeki bu kirlilik zamanla hücrelerde aşırı ısınmaya neden olabilmektedir bu ısınmalar panelin verimini düşürdüğü gibi panel ömrünü de kısaltmaktadır. Panellerin kirlilik durumuna göre verim kaybı yaşanmaması için panellerin düzenli olarak temizlenmesi gerekmektedir.

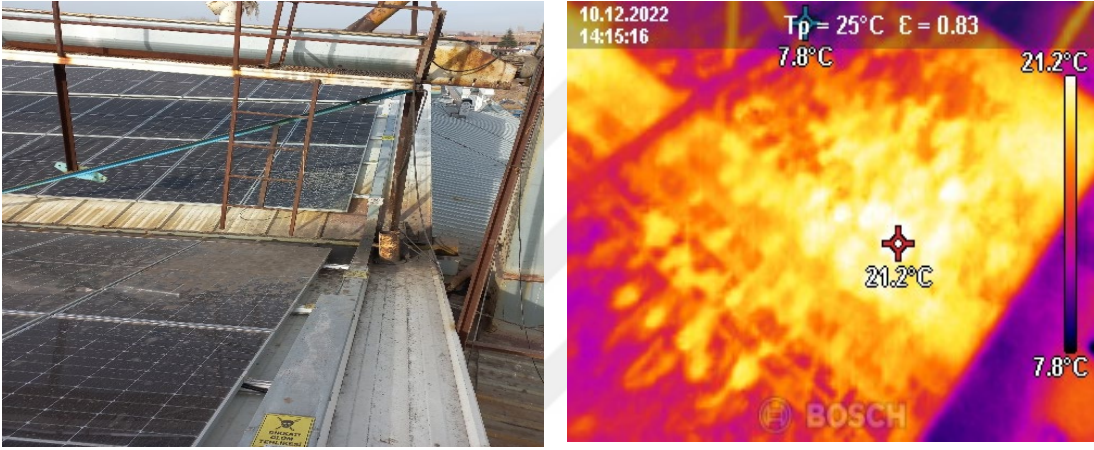


Şekil 7.3. Panel Kirliliği

Çözüm ve öneri olarak yıkama yapılırken ve yapıldıktan sonra dikkat edilmesi gereken hususlar;

- Paneller saf su ile yıkanmalıdır.(Saf su kullanımı mümkün olmayan yerlerde panel yüzeyi kireçlenmeyi önlemek amacı ile silinmelidir.)
- Paneli çizmeyecek ince ve yumuşak uçlu fırça kullanılmalıdır.
- Panelin yüzey sıcaklığı ve yıkama yapılan suyun sıcaklığı arasında fark olmamalıdır.

- Güneşin dik açıyla geldiği ve sıcak olduğu saatlerde yıkanmamalıdır.
- Yıkama esnasında veya sonrasında panelin üstüne basılmamalıdır.
- Yıkama esnasında kullanılan hortum panel üzerinden taşınmamalıdır.
- Sahada yürüyüş yolu olarak bırakılan boşluklardan hortum taşınmalıdır.
- Yıkama yapılırken fırça sert şekilde panel yüzeyine bastırılmamalıdır.
- Yıkama işlemi bittikten sonra panel yüzeyinde mercer etkisi oluşturabilecek su damlası bırakılmamalıdır.
- Yıkama işlemi bittikten sonra yıkama işleminde kullanılan ekipmanlar panel üzerine bırakılmamalıdır.



a

b

Şekil 7.4. a- Kirliliğin Tepit Edildiği Panel b- Panelin Termal Görüntüsü

7.1.1.2. İzolasyon Hatası

Olay 4: 22/12/2020 tarihinde bakım ekibi yaptığı kontrollerde inverterlerin log kayıtlarını almıştır. Bu log kayıtları incelendiğinde inverterlerin E018 kodlu izolasyon arızası verdiği ve zaman zaman bu arızadan dolayı birer dakikalık periyotlarla devreden çıktığı gözlemlenmiştir. Bu E018 kodlu arıza nedeni ile işletmedeki harmonik dalgalanmalar, inverterlerin izolasyon ölçümünü engellediğini log kayıtlarının incelemesiyle tespit edilmiştir. Bu arızayı gidermek amacı ile 25/12/2020 tarihinde santrale gidilerek DC kablolamada yapılan montaj hatası nedeni ile oluşan izolasyon kaçağı arızası giderilmiş ve uzaktan yazılım güncellemesi tekrar yapılmıştır. Bu yazılım güncellemesi ve santraldeki yalıtım arızası nedeni ile santral yaklaşık olarak 2 saat devre dışı kalmıştır. Bu arıza dolayısı ile santralin 10 MW seviyesinde olduğu

düşünülürse, yarım saatte yaklaşık olarak yatırımcının 20-40 bin TL maddi ve arıza giderimi için gerekli iş gücü kaybına neden olmuştur.

| | | | | | | |
|---|-------------------------------|----------------------------|------------------------|------------|----------------------------|----------------------------|
| ■ | Tanriover Ges | INVERTER-3 | GENFLT | 0d, 0h, 1m | 2020-12-23 08:28:10 EET | 2020-12-23 08:28:20 EET |
| ■ | Tanriover Ges | INVERTER-1 | GENFLT | 0d, 0h, 1m | 2020-12-23 08:27:06 EET | 2020-12-23 08:27:16 EET |
| ■ | Tanriover Ges | INVERTER-2 | | | | 2020-12-23 08:26:27 EET |
| ■ | Tanriover Ges | INVERTER-3 | | | | 2020-12-23 08:25:40 EET |
| ■ | Tanriover Ges | INVERTER-1 | | | | 2020-12-23 08:24:36 EET |
| ■ | Tanriover Ges | INVERTER-3 | | | | 2020-12-23 08:23:00 EET |
| ■ | Tanriover Ges | INVERTER-1 | | | | 2020-12-23 08:21:56 EET |
| ■ | Tanriover Ges | INVERTER-3 | | | | 2020-12-23 08:20:20 EET |
| ■ | Tanriover Ges | INVERTER-1 | | | | 2020-12-23 08:19:16 EET |
| ■ | Tanriover Ges | INVERTER-3 | GENFLT | 0d, 0h, 1m | 2020-12-23 08:17:25 EET | 2020-12-23 08:17:40 EET |
| ■ | Tanriover Ges | INVERTER-1 | GENFLT | 0d, 0h, 1m | 2020-12-23 08:16:21 EET | 2020-12-23 08:16:36 EET |
| ■ | Tanriover Ges | INVERTER-3 | GENFLT | 0d, 0h, 1m | 2020-12-23 08:14:45 EET | 2020-12-23 08:15:00 EET |

(GENFLT) General Device Fault
Protective function of the inverter if the leakage current is too high. Causes: isolation losses on DC side. What to check: isolation impedance of the PV generator.

Device Type: #ABB-Inverter
Device Event Code: #E018
Event Name: #Grounding fault
Event Description: #Protective function of the inverter if the leakage current is too high. Causes: isolation losses on DC side. What to check: isolation impedance of the PV generator.

Şekil 7.5. İzolasyon Hatası

7.1.1.3. Toroid Hatası

Olay 5: 22/12/2020 tarihinde bakım ekibi santrale bakım incelemesi için gitmiş ve yapılan incelemelerde GES panosunda bulunan ana giriş devre kesicisinin zaman zaman sistemi devre dışı bıraktığını inverterin arayüzünden görmüştür. Yanlış projelendirme neticesinde, sistemde bulunan panellerin sayısının fazla olmasından kaynaklanan harmoniklerin fazlalığı, kaçak akım izleme rölesinin devreye girmesine ve ana devre kesiciyi açtırmasına sebep olduğu tespit edilmiştir. Kaçak akım izleme rölesi B tipi röle ile değiştirilip, harmonik aralığı uygun hale getirilerek sorunun giderilmesi amaçlanmıştır. Santral bu arızadan dolayı devreden çıktığı için yatırımcının maddi kaybı söz konusu olmuştur..

7.1.1.3. Evirici Soğutma Kanalları ve Havalandırma Kanalları Kirliliği

Olay 6: 23/12/2020 tarihinde bakım ekibi bakım için santrale gitmiş ve yaptığı kontroller sırasında, aşırı toza maruz kalabilecek yanlış bir lokasyona montaj edilen

inverterin, bu nedenle üst yüzlerinin ve arka kısmında bulunan soğutma kanallarının aşırı kirlendiğini tespit etmiştir. Bakım ekibi soğutma kanallarını temizleyerek, soğutma kanallarının ve soğutma fanlarının yabancı cisimlerden dolayı tıkanmasının önüne geçmeyi ve verim kaybını engelleyebilmeyi amaçlamıştır.



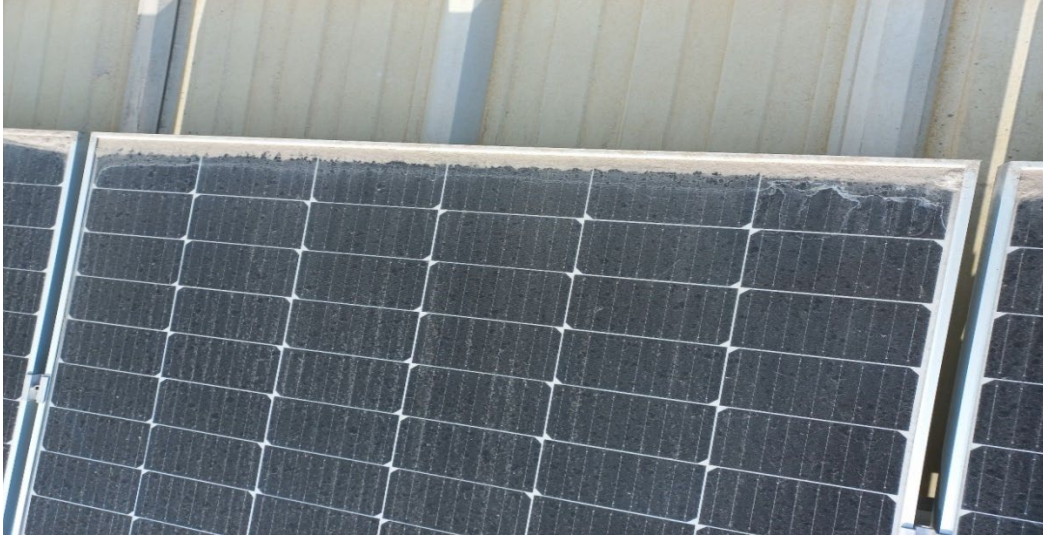
Şekil 7.6. Bakım Öncesi



Şekil 7.7. Bakım Sonrası

7.1.1.4. Panel Kirliliği

Olay 7: Bakım ekibi 20/03/2021 tarihinde yaptığı kontrollerde panellerin kirli olduğunu gözlemlemiştir. Panel yüzeyine biriken tozlar güneş ışığını kıracağından dolayı panelde verim kaybı yaşanmaktadır. Ayrıca panellerdeki bu kirlilik zamanla hücrelerde aşırı ısınmaya neden olabilmektedir bu ısınmalar panelin verimini düşürdüğü gibi panel ömrünü de kısaltmaktadır. Panellerin kirlilik durumuna göre verim kaybı yaşanmaması için panellerin düzenli olarak temizlenmesi gerekmektedir.



Şekil 7.8. Panel Kirliliği

7.1.1.5. İşletme Topraklaması Arızası

Olay 8: Bakım ekibi 15/06/2021 tarihinde santralde yaptığı kontroller ve ölçümlerde, işletme topraklaması değerinin çok yüksek olduğunu tespit etmiş işletme topraklamasının yüksekliğinin GES toplama panosunda bulunan kaçak akım koruma rölesinin devreyi açmasına sebebiyet verdiğini tespit etmiştir. Bakım ekibi işletme topraklamasını güçlendirmek için gerekli çalışmayı yapmıştır. Bu arızanın santral kurulumunda yapılan bir montaj hatası olduğu, topraklamanın mevzuattaki değerleri sağlanmadan tesis edildiği sonucuna varılmıştır.



Şekil 7.9. İşletme Topraklaması Hatası

7.1.1.6. Gerilim Düşümü

Olay 9: Bakım ekibi 23/09/2021 tarihinde bakım için santrale gitmiş ve yapılan kontrollerde inverterin çalışmadığını tespit etmiştir. Yapılan incelemelerde inverterin düşük gerilimden dolayı devre dışı kaldığı tespit edilmiştir. Bakım ekipleri ilgililere bilgi vererek santralin düşük gerilimi düzeltilene kadar kapalı kalmasını önermiş inverterin bu şekilde çalışmasının daha büyük sorunlar yaratabileceğini belirlemiştir. 23/09/2021 - 30/09/2021 tarihleri arasındaki alarm verilerinde santralin uzaktan izleme programında “426” defa düşük gerilim alarmı verdiği görülmüştür. Şebeke kaynaklı görülen arıza ilgili Şebeke İşletmecisine bildirilmiştir.

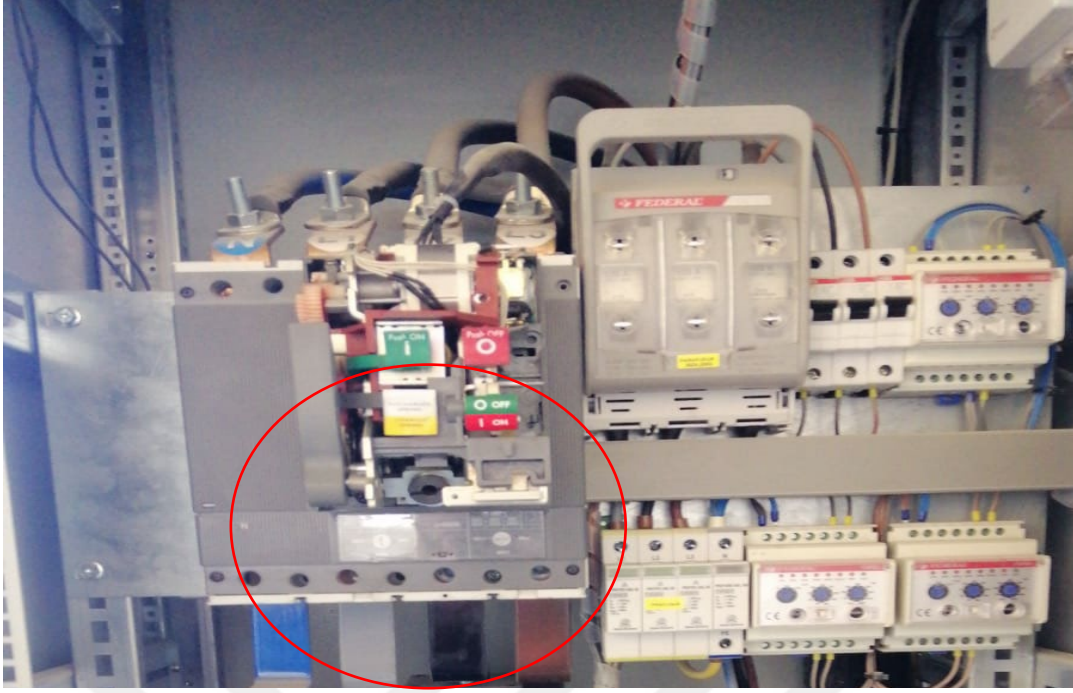
| | |
|-------------------------|------------------------------------|
| Alarm şiddeti: | ⚠ Ana |
| Alarm Kimliği: | 301 |
| Alarm adı: | Anormal Şebeke Gerilimi |
| Alarm seri No: | 328 |
| Alarm kaynağı: | 36KTL(COM1-1) |
| Şu tarihte oluşturuldu: | 2021-09-28 15:16:29 |
| Şu tarihte temizlendi: | 2021-09-28 15:16:37 |
| Konum bilgisi: | Neden Kimliği=4 |
| Tetikleyici neden: | Şebeke voltajı alt eşiğin altında. |

Şekil 7.10. Gerilim Düşümü Hatası

Çözüm/Öneri: İlgili dağıtım şebekesinde yaşanan gerilim düşüklüğünden (Faz-Nötr arası gerilim 196 V ölçülmüştür) kaynaklı olduğu için ilgili şebeke işletmecisine konunun çözümü için ihbar bırakılmıştır.

7.1.1.7. Ges Dağıtım Panosundaki Ana Devre Kesici

Olay 10: Bakım ekibi 23/09/2021 tarihinde santrale bakım için gitmiştir. Yaptığı kontroller sırasında GES toplama panosunda bulunan ana devre kesicinin motorunun elektrik kesintisi, gerilim dalgalanması vb. durumlarda devre kesicinin kurma yayının otomatik olarak kendini kurmadığını tespit etmiştir. Yapılan arıza tespit işlemlerinde ana devre kesici kurmaya yarayan kurma motorun arıza yaptığı tespit edilmiştir. Arızalı motor bakım ekiplerince değiştirilip santral devreye alınmıştır.

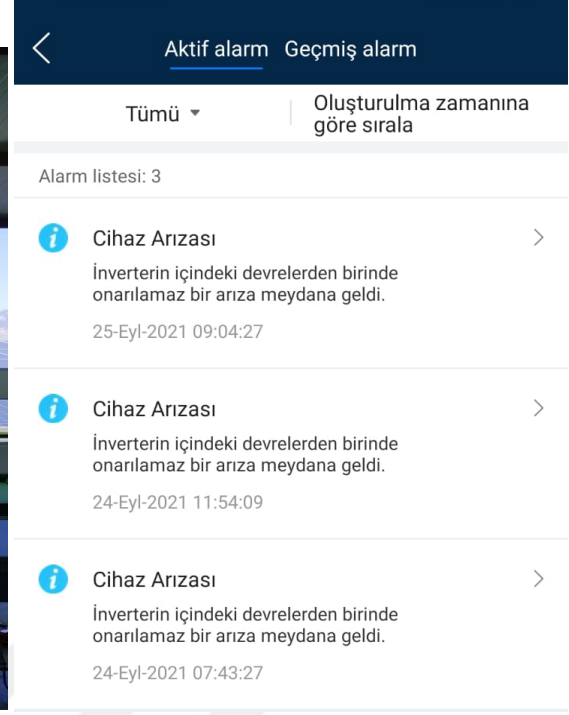


Şekil 7.11. Devre Kesici Kurma Motoru Arızası

7.1.1.8. Arızalı İnverter

Olay 11: 24.09.2021 tarihinde bakım ekibi bakım için santrale gitmiş ve 6 numaralı inverterin üretim yapmadığını, cihazın içerisindeki devrelerinden birinin yandığı yapılan incelemelerde tespit etmiştir. 6 numaralı inverterin arıza kaydı raporu oluşturulup teknik servise gönderilmiştir. Arızalı inverter yedek inverterle değiştirilerek, arızalı invertöre bağlı olan diziler üretime alınmıştır. Arıza sonucu santralde 1 gün süre ile üretim kaybı yaşanmıştır. Arızanın nedeninin evirici-panel uyumsuzluğu ile oluşan aşırı DC akım-gerilim girişi nedeni ile oluştuğu tespit edilmiştir.

Çözüm ve Öneri: Arızalı invertöre yeniden dizi dağılımı yapılarak fazla panele sahip dize akım-gerilim girişleri diğer dizelerle eşit dağıtma yoluna gidilmiştir. Yapılan işlemlerle yanlış tasarım sonucu bu durumun oluştuğu düşünülmektedir. Bunun sonucunda ilgili yatırımcının maddi zararları doğmuştur.



Şekil 7.12. Arızalı İnvörtör ve Hata Kodu

7.1.1.9. İnvörtör Odası ve Panel Temizliği

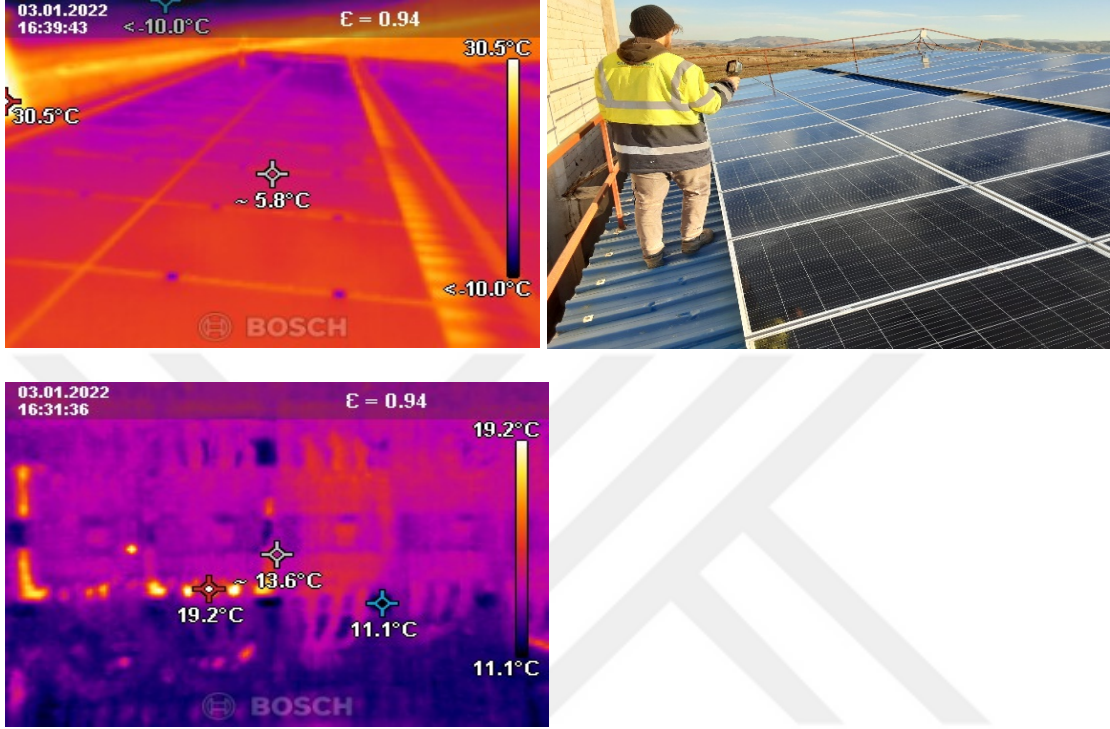
Olay 12: Bakım için 24.09.2021 tarihinde santrale giden bakım ekibi panellerin kirli olduğunu tespit etmiştir. Panellerin kirli olması güneş ışınlarını kıracağından dolayı verimi düşürecektir. Santralin verimli çalışması için panellerin kirlilik durumuna göre temizlenmesi gerekmiştir. Bu olumsuzlukla ilgili santralde bulunan işletme yetkilisine bilgi verilerek sorun giderilmiştir.



Şekil 7.13. Panel Kirliliği

7.1.1.10. Termal Ölçümler

Olay 13: 03/01/2022 tarihinde bakım işlemleri için santrale giden bakım ekibi termal ölçümleri gerçekleştirmiştir. Yapılan termal ölçümlerde herhangi bir sorunla karşılaşmamıştır.



Şekil 7.14. Termal Arıza ve Sıcak Nokta Taraması

7.1.1.11. Aşırı akım ve Sıcak Nokta Tespiti

Olay 14: Bakım ekibi 03/01/2022 tarihinde yaptığı kontroller ve ölçümler sırasında 2 nolu inverterin 7 numaralı dizede anormal bir aşırı akım tespit etmiştir. Yaptığı incelemelerde bu dizinin çatı tarafındaki konnektörün yandığını gözlemlemiştir. Konnektör değiştirilerek arıza giderilmiştir. Bu arızanın oluşmasında daha önce montaj sırasında yapılan gevşek bir bağlantının sebep olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 7.15. Konnektör Bağlantısı Gevşeklik Arızası

7.1.1.12. Konnektör Gevşek Bağlantı Arızası

Olay 15: Bakım ekibi, 05/01/2022 tarihinde yaptığı kontroller ve ölçümler sırasında 1. inverterin 4. dizisinde konnektörün gevşek olduğunu gözlemlemiştir. Bu gevşekliğin, montaj sırasında yapılan bir hata sonucu olduğu düşünülerek, ark oluşumuna sebep olabileceği gibi yangın çıkartma riski de doğurmaktadır. Olası bir yangını ve veri kaybını önlemek amacı ile bu gevşeklik giderilmiştir.

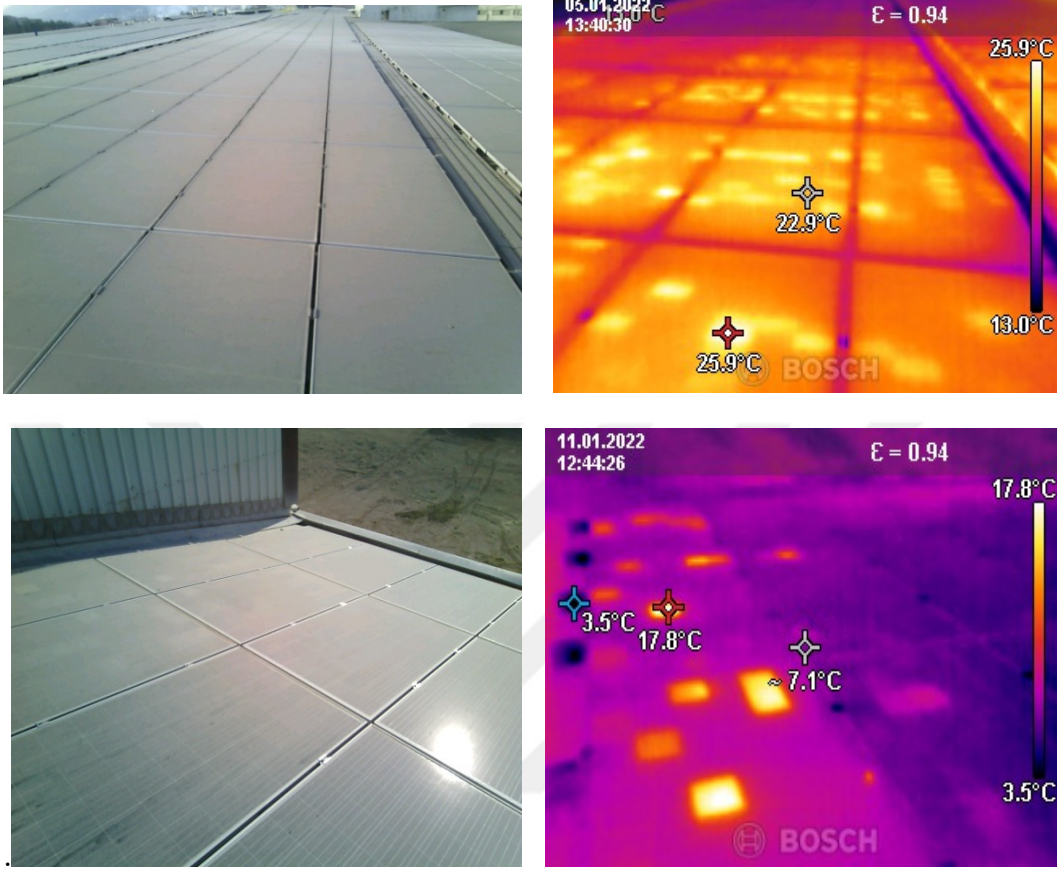


Şekil 7.16. Konnektör Arızası

7.1.1.13. Panel Kirliliği

Olay 16: 05/01/2022 tarihinde bakım ekibi yaptığı kontroller sırasında panellerin kirliliği tespit etmiştir. Bu kirlilik panellerin verimliliğini etkilemekte olup ayrıca noktasal kirlilikten kaynaklı olarak hücrelerde aşırı ısınma meydana gelerek panelin

verimliliğini ciddi oranda azaltmaktadır. Bundan dolayı panel temizliği önem arz etmektedir. İlgili İşletmeciye gerekli bilgi verilerek panellerin temizlenmesi ve üretim kaybı sona erdirilmiştir.



Şekil 7.17. Santral kirliliğininin termal analizi

7.1.1.14. Gevşeyen Tutucular

Olay 17: 08/01/2022 tarihinde bakım ekibi yaptığı kontroller sırasında 4 adet paneller arası bağlantıyı sağlayan mekanik tutucunun gevşek bırakıldığını tespit etmiştir. Bakım ekibi, tarafından gerekli olan sıkma ve tork uygulama işlemi gerçekleştirilmiştir. Arızanın, santral kurulumunda yapılan bir montaj hatası olduğu ve tutucuların gerekli torkla sıkılmadan gevşek bırakıldığı sonucuna varılmıştır.



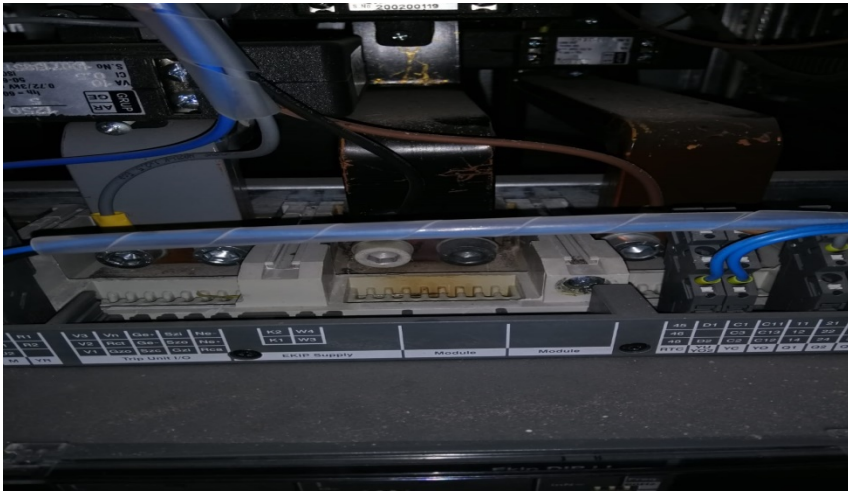
Şekil 7.18. Panel Tutucu Arızası

7.1.1.15. Rutin Bakım Kontrol

Olay 18: Bakım ekibi 05/01/2022 tarihinde kış bakımı için santrale gitmiştir. Bütün inverterler, güneş panelleri ve trafo normal işletme koşullarında çalışır durumdadır.

7.1.1.16. Ana Devre Kesici Arızası

Olay 19: Bakım ekibi, 05/01/2022 tarihinde yaptığı kontroller ve ölçümler sırasında ana devre kesiciye bağlantılı olan bakır baralarda gevşeklik ve ısınma tespit etmiştir. Bu gevşeklikten dolayı baralarda aşırı ısınma meydana gelmiş ve gerilim düşüklüğüne neden olarak santralin üretim kaybına sebep olmuştur. Bakım ekibi tespit etmiş olduğu gevşekliği gidererek olası daha büyük bir sorunu engellemiştir. Arızanın santral kurulumunda yapılan bir montaj hatasından dolayı bu arızanın yeterli torkla sıkılmayan bara bağlantısı sonucu meydana geldiği tespit edilmiştir.



Şekil 7.19. Baralarda Yetersiz Tork Arızası

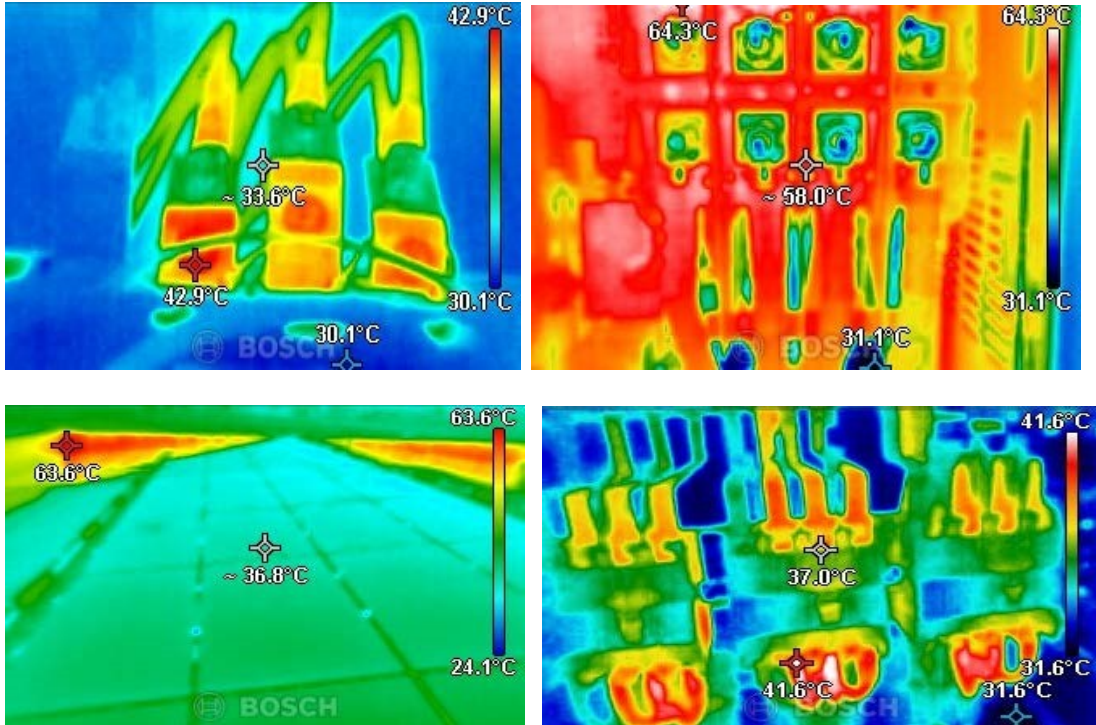
7.1.1.17. İnverter Devre Kesici Arızası

Olay 20: 05/01/2022 tarihinde bakım işlemleri için santrale giden bakım ekibi pano testleri sırasında 13-17-18 nolu inverterlerin şalterlerinin arızalı olduğu tespit etmiştir. Pano şirketi ile irtibata geçilip inverterlerin şalterleri yenileri ile değiştirilmiştir. Yaşanan arızanın malzeme kalitesi ile ilgili olabileceği düşünülmüştür.



Şekil 7.20. TMS Arızası

Bakım ekibi ayrıca panel, inverter, inverter bağlantıları ve pano bağlantılarını termal kamerayla kontrol etmiştir. Yapılan bu kontrollerde herhangi bir sorunla karşılaşılmamıştır.



Şekil 7.21. Santral Ekipmanlarının Termal Arıza Tarama Görüntüleri

7.1.1.18. Paneller Üzerinde Canlı Hayvan Kirliliği

Olay 21:15/04/2022 tarihinde bakım ekibi yaptığı kontroller sırasında panellerin kirli olduğu ve üzerinde yabancı cisimlerin olduğunu tespit etmiştir. Bu kirlilik panellerin verimliliğini olumsuz yönde etkilemekte olup, ayrıca noktasal kirlilikler, hücrelerde aşırı ısınma meydana getirerek panelin verimliliğini ciddi oranda azaltmaktadır. Bundan dolayı panellerin temizliği önem arz etmektedir.



Şekil 7.22. Canlı Hayvan Kirliliği

Çözüm/Öneri: İşletmeciye konu hakkında gerekli bilgiler verilmiş ve paneller temizlenmiş, canlı hayvan kirliliği için tedbir alınması uygun bulunmuştur. Panellerin temizliği yapılarak santral normal işletmeye alınmıştır.

7.2. Arıza Durumları İçin Yapılan Kontroller

Paneller

| | |
|---|---|
| Panellerin görsel denetlenmesi | √ |
| Panellerin Taşıyıcı sisteme bağlantılarının mekanik denetlenmesi | √ |
| Panellerin bağlantı kutuları ve kablolarının kontrolü | √ |
| Sapma tespit edilen dizilerin akım gerilim ölçümlerinin yapılması | √ |

Taşıyıcı Sistem

| | |
|---|---|
| Taşıyıcı sistemin hasar ve paslanmaya karşı görsel denetlenmesi | √ |
| Taşıyıcı sistemin mekanik kontrolü ve panel tutucularının | √ |
| Taşıyıcı sistemin geometrisinde oluşabilecek kaymaların giderilmesi | √ |

DC kablolama

| | |
|--|---|
| DC kabloların görsel denetlenmesi | √ |
| DC kablo kanallarının denetlenmesi | √ |
| Bağlantı konektörlerinin görsel denetlenmesi | √ |

İnverterler

| | |
|---|---|
| İnverterlerin görsel denetlenmesi | √ |
| Hava filtresinin temizlenmesi veya değiştirilmesi | √ |
| İnverterlerin temizlenmesi | √ |
| DC ve AC kablo bağlantılarının denetlenmesi | √ |
| Giriş-çıkış akım/voltaj/güç kontrolü | √ |

AC kablolama

| | |
|---|---|
| Olası hasarlara karşı görsel denetleme | √ |
| Elektrik bağlantı noktalarının denetlenmesi | √ |
| Parafudruların denetlenmesi | √ |
| Sigortaların ve kaçak akım rölelerinin denetlenmesi | √ |

Uzaktan izleme sistemi

| | |
|---|---|
| Uzaktan izleme panosu, izleme ekipmanları ve kablolanmanın görsel | √ |
| Sayaçların görsel denetlenmesi | √ |
| Haberleşme sistemi kablolarının denetlenmesi | √ |

Topraklama

| | |
|--|---|
| Topraklama ekipmanları bağlantı noktaları kontrolü | √ |
| Topraklama ölçümlerinin yapılması | √ |

AG Dağıtım Panoları

| | |
|--|---|
| Dağıtım panoları görsel denetimi | √ |
| Dağıtım panoları temizlenmesi | √ |
| Ölçü aletleri kontrolü | √ |
| Sigorta, şalter, kaçak akım vb. fonksiyon kontrolü | √ |

8. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Güneş enerjisi santralleri ve çeşitleri, tarihi süreçte nasıl geliştilikleri, avantajları, üretim kapasiteleri ile tasarım ve kurulum aşamalarında rastlanılan hataları, işletme aşamasında yaşanan hata ve arızaları anlatılmış ve santrallerin tasarım, montaj, kurulum hataları, işletme aşaması arızalarını, kayıpları, bakım ve kontrolleri ile yapılacak planlamaları ve buna bağlı olarak alınacak tedbirleri, güneş enerjisi santrallerinin üretim aşamasında yaşanabilecek arızalar, bu arızaların boyutları, bu arızalara neden olabilecek bütün nedenler ayrıntılı olarak incelenmiş ve hedeflenen verim düzeyini, üretilen enerji miktarını, kalitesini ve sürekliliğini nasıl etkilediği ortaya konulmuştur. Tasarım, kurulum ve işletme aşamasında belirlenen hata ve arızalar, bunlara karşı risklerin bağlı olduğu faktörlerin tamamen önüne geçilmesi için riskli durumlar ortaya konularak, hata ve arızaların minimum risk seviyesine indirilmesi için alınacak olan tedbirlerle doğru orantılı olduğu ortaya konulmuştur. Güneş enerji santrallerinde ayrıca yaşanan bu olumsuzlukların ortaya çıkmaması için bakım ve denetim konusuna değinilmiş, son olarak santrallerde yaşanan hata ve arızaların neden olduğu kayıplar da ele alınmıştır.

Çalışmada, bir PV Santralde ölçü aletleri, drone, termal kamera ve fiziksel gözlemlerle yapılan saha çalışmaları ve teknik veriler kullanılarak yapılan analizler sonucu, arıza müdahaleleri ve bakım kapsamında 2 yıllık süreç ele alınmış ve değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda, Güneş enerji santrallerinin tasarım ve kurulumunda yapılan hata ve yanlışların, keşif ve planlama hatalarının işletme aşamasında yaşanabilecek arızalara ve olumsuzluklara neden olduğu, yatırımcıyı tüm aşamalarda maddi olarak olumsuz etkilediği, üretim hedeflerinden uzaklaştırdığı, işletme arızalarını doğrudan arttırarak verimi düşürdüğü ve kayıpları arttırdığı sonuçları ortaya çıkmıştır. Çalışma sonuçlarından biri de, santrallerin yapılan montajlar ve tesis edilmeleri sırasında azami dikkat edilmesi gerektiği ve EK-1'de yer alan Kabul şartlarına uygun şekilde santrallerin tesis edilmesi ile denetim ve bakımlarının yapılması halinde bu tesislerin çok daha az hata ve arızaya uğradığını göstermiştir.

Ayrıca çalışmamızda yer alan, Yıldırım aşırı gerilimlerinin fotovoltaik sistemler üzerindeki etkisinin incelenmesi çalışmasının neticesinde, fotovoltaik santral sistemlerinin yıldırım darbelerinin aşırı gerilimine maruz kalması durumundaki etkileri incelenmiştir. Santrallerle ilgili sistemlerin, bir yıldırım darbesine maruz kalması

halinde kısmen veya tamamen kullanılmaz hale gelmesine neden olmaktadır. Yıldırımın etkisini değerlendirmede 1.2/50 μ s'lik yıldırım akımı dalga formu, Heidler fonksiyonu kullanılarak modellenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar, invertör çıkışından uygulanacak parafudur koruması ile invertör, maksimum g izleyici ve PV paneller gibi fotovoltatik sistemi oluşturan temel bileşenlerin uygun bir şekilde korunabileceğini göstermektedir. Benzetim sonuçları, yıldırım çarpmalarının PV sistemlerde kullanılan ekipmanlara çok ciddi mekanik ve fiziksel hasarlar verebileceğini göstermektedir. Günümüzde özellikle kk boyutlu çatı tipi PV uygulamalarında parafudur koruması zorunlu olarak kullanılmamaktadır. Önerilen yaklaşım büyük güçlü PV sistemlerinde kullanılmaktadır ancak üretim gücü ne olursa olsun sistemlerin devamlılığını sağlamak ve korumak adına PV ile üretim yapılan tüm tesislerde (zellikle çatı uygulamalarında) boyut fark etmeksizin parafudur korumasının bir zorunluluk haline getirilmesi önerilmektedir.

Santrallerle ilgili çalışmaların dünyada ve ülkemizde belirlenen hedefler doğrultusunda daha verimli çalışması, yapılan yatırımların yerindeliği açısından santrallerin giderek artan ve gelişmekte olan temiz bir enerji üretim alanı olduğunu göz önünde bulundurursak, santrallerin ortaya koyulan hata ve arıza durumlarının sonuçlarının bu alanda çalışan, yatırım yapan kesimler ile tüketiciler dahil tüm tarafları da etkileyeceği kaçınılmazdır. Çalışma alanının daha da genişleyeceğini düşündüğüm güneş enerjisi santrallerini etkileyen yukarıdaki çalışma konusunun ortaya koyduğu durumların alınacak tedbirleri ve yaşanabilecek olumsuzlukların önüne geçilebilmesi konusunda bir rehber olabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Francesco, L. C.** (2023). *International Renewable Energy Agency (IRENA)*, (2023) Renewable Capacity Statistics 2023, United Arab Emirates. (<https://www.irena.org/Publications/2023/Mar/Renewable-capacity-statistics-2023>), (https://mc-cd8320d4-36a140ac83cc3389cdnendpoint.azureedge.net//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2023.pdf?rev=d2949151ee6a4625b65c82881403c2a7), alındığı tarih: 07.07.2023
- [2] **Url-1**, < <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes> >, alındığı tarih: 27.07.2023
- [3] **S. Kurtz, J. Wohlgemuth, T. Sample, M. Yamamichi, M. Kondo ve G. Kelly**, "Fotovoltaik güvenilirlik için kapsamlı teknik standartlara giden üç uçlu yol", 2014 IEEE 40. *Fotovoltaik Uzman Konferansı (PVSC)*, Denver, CO, ABD, 2014, s. 0919-0924, doi: 10.1109/PVSC.2014.6925063.
- [4] **A. Woyte, S. Goy**, *11 - Large grid-connected photovoltaic power plants: Best practices for the design and operation of large photovoltaic power plants*, Editor(s): Nicola Pearsall, *The Performance of Photovoltaic (PV) Systems*, Woodhead Publishing, 2017, Pages 321-337, ISBN9781782423362, <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-336-2.00011-2>.
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781782423362000112>)
- [5] **Mete Cubukcu, Harun Gumus**, *Performance analysis of a grid-connected photovoltaic plant in eastern Turkey*, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Volume 39, 2020,
- [6] **Okedu KE ve Al Ghaithi**, ASS (2022) Şebekeye Bağlı Güneş PV'lerinin İç Dinamik Arızalarının Karşılaştırmalı Çalışması: Umman Güç Ağı Örneği. *Ön. Enerji Arş.* 10:858803. doi: 10.3389/fenrg.2022.858803,09 Mayıs 2022.
- [7] **Rahman T, Mansur AA, Hossain Lipu MS, Rahman MS, Ashique RH, Houran MA, Elavarasan RM, Hossain E.** (2023). Güneş Fotovoltaiklerinin Bozulmasının Araştırılması: Yaşlanma Faktörleri, Etkileri ve Sürdürülebilir Enerji Yönetimine Yönelik Gelecekteki Yönelimlerin İncelenmesi. *Energiler.* 16(9):3706. <https://doi.org/10.3390/en16093706>

- [8] **I. Naxakis, E. Pyrgioti, V. Perraki, and E. Tselepis**, “Studying the effect of the impulse voltage application on sc-Si PV modules,” *Sol. Energy*, vol. 144, pp. 721–728, 2017, doi: 10.1016/j.solener.2017.01.072.
- [9] **T. Jiang and S. Grzybowski**, “Influence of lightning impulse voltages on power output characteristics of Photovoltaic modules,” *ICHVE 2014 - 2014 Int. Conf. High Volt. Eng. Appl.*, no. 4, 2014, doi: 10.1109/ICHVE.2014.7035488.
- [10] **S. Sekioka**, “An experimental study of sparkover between a rod and a photovoltaic panel,” 2012 31st Int. Conf. Light. Prot. ICLP 2012, 2012, doi: 10.1109/ICLP.2012.6344268.
- [11] **M. Belik**, “PV panels under lightning conditions,” *Proc. 2014 15th Int. Sci. Conf. Electr. Power Eng. EPE 2014*, pp. 367–370, 2014, doi: 10.1109/EPE.2014.6839446.
- [12] **N. H. A. Rahim et al.**, “Investigation of wave propagation to PV-solar panel due to lightning induced overvoltage,” *Telkomnika (Telecommunication Comput. Electron. Control.*, vol. 12, no. 1, pp. 47–52, 2014, doi: 10.12928/TELKOMNIKA.v12i1.1976.
- [13] **Url-2**, < <https://dergipark.org.tr/tr/user/my-authorship-articles> >, alındığı tarih: 17.02.2024
- [14] **Url-3**, < <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes> >, alındığı tarih: 07.07.2023
- [15] **Richardson,L.** (2022). What is the history of solar energy and when were solar panels invented? Posted on May 3, 2022 By Luke Richardson.,Categories: Solar 101,Tags: Solar Tech (<https://news.energysage.com/the-history-and-invention-of-solar-panel-technology/>), alındığı tarih: 27.08.2023
- [16] **IEA.** Licence: CC BY 4.0 This data is subject to the IEA's terms and conditions: (https://www.iea.org/t_c/termsandconditions/Units:GW,Utility-scale,Commercial), and industrial, Residential, Off-grid, Solar PV total (<https://www.iea.org/reports/solar-pv>), alındığı tarih: 21.07.2023
- [17] **Url-4** < <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes> > alındığı tarih: 20.06.2023.

- [18] **Url-5**, < <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes> >, alındığı tarih: 20.07.2023.
- [19] **Url-6**, < <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes> >, alındığı tarih: 20.07.2023.
- [20] **Url-7**, < <https://www.gensed.org/basin/tei%CC%87as-2022-ocak-ayi-kurulu-guc-raporunu-yayinladi> >, alındığı tarih: 20.07.2023.
- [21] **Url-8**, < <https://www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri> >, alındığı tarih: 20.07.2023.
- [22] **Url-9**, < <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes> >, alındığı tarih: 20.07.2023.
- [23] **Kılıç, F. Ç.** (2015). *Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri*, Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 671, s. 28-40. (https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/09677e0899d72e8_ek%281%29.pdf) . alındığı tarih: 20.07.2023.
- [24][25][26] **Şençiçek, H.** (2017). *Yüzer Ve Arazi Kurulumu Fotovoltaik Sistemlerin Teknik Ve Ekonomik Açidan İncelenmesi*. İ.T.Ü. Enerji Enstitüsü, (Yüksek Lisans Tezi). 117s, İstanbul. (<https://polen.itu.edu.tr:8443/server/api/core/bitstreams/27d96f8e-d795-4f51-9819-ae0a5fc35e3e/content>), alındığı tarih: 20.07.2023.
- [27] **IEA** (2021). *World Energy Investment, Dünya Enerji Konseyi Türkiye 2021 Dünya Enerji Yatırımları Raporu Özeti Haziran 2021, Türkiye*. (<https://www.dunyaenerji.org.tr/2021-dunya-enerji-yatirimlari-raporu-ozeti/>), alındığı tarih: 20.07.2023.
- [28] **IRENA**,(2020).*Global Landscape of Renewable Energy Finance 2020*, **IRENA**, November 2020. (<https://www.irena.org/publications/2020/Nov/Global-Landscape-of-Renewable-Energy-Finance-2020>). alındığı tarih: 20.07.2023.
- [29] **Url-10**, < <https://www.enerjiportali.com/15-yillik-yenilenebilir-enerji-yatirim-tutari-43-trilyon-dolar/> >, alındığı tarih: 20.07.2023.
- [30][31] **Kandır, S. Y., Yakar, S.** (2017) S. Yenilenebilir Enerji Yatırımları için Yeni Bir Finansal Araç: *Yeşil Tahviller, Maliye Dergisi*, Ocak-Haziran 2017; 172: 85-

- 110 (<https://ms.hmb.gov.tr/uploads/2019/09/172-05.pdf>). alındığı tarih: 20.07.2023.
- [32] **Url-11**, < <https://www.greenmatch.co.uk/solar-energy/photovoltaics/photovoltaic-system> >, alındığı tarih: 20.07.2023.
- [33] **Url-12**, < https://tr.wikipedia.org/wiki/G%C3%BCne%C5%9F_H%C3%BCresi >, alındığı tarih: 20.07.2023.
- [34] **Kılıç, F. Ç.** (2015).Güneş Enerjisi, Türkiye’deki Son Durumu Ve Üretim Teknolojileri. *Mühendis ve Makina*, 56 (671), 28-40 . Retrieved from (<https://dergipark.org.tr/tr/pub/muhendismakina/issue/54341/736245>), alındığı tarih: 20.07.2023.
- [35] **Url-13**, < <https://primevolt.com.tw/en/primevolt-sets-a-shining-example-with-green-rooftop-solar-system-taichung-jianguo-market-grid-connection-on-march-6/> >, alındığı tarih: 20.07.2023.
- [36] **Misbrener, K.** (2019). What does a solar inverter do? , Solar Power World, Haziran.(<https://www.solarpowerworldonline.com/2019/06/what-does-a-solar-inverter-do/>), alındığı tarih:20.07.2023.
- [37] **By Solar Choice Staff.** (2022). *Solar inverter sizing to improve solar panel efficiency*, 6 Mayıs 2022. (<https://www.solarchoice.net.au/blog/optimizing-solar-panel-system-efficiency-through-inverter-sizing/>),alındığı tarih: 20.07.2023.
- [38] **Quesnel,N.** (2016). Industry Developments: Cooling Solar Power Inverters (<https://www.qats.com/cms/tag/solar-power-inverters/>), alındığı tarih: 20.07.2023.
- [39] **Url-14**, < <https://www.mathworks.com/solutions/electrification/mpptalgorithm.html> >, alındığı tarih: 20.07.2023.
- [40] **Svarc, J.**(2022). MPPT Solar Charge Controllers Explained, October 12, 2022 (<https://www.cleanenergyreviews.info/blog/mppt-solar-charge-controllers>), alındığı tarih: 20.07.2023.
- [41] **S. Saravanan, N. Ramesh Babu,** (2016). *Maximum power point tracking algorithms for photovoltaic system – A review, Renewable and Sustainable*

- Energy Reviews*, Volume 57, 2016, Pages 192-204,ISSN 1364-0321, (<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.105>), (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115014884>), alındığı tarih: 20.07.2023.
- [42] **Url-15**, < <https://www.rwe.com/en/press/rwe-renewables/2022-06-06-rwes-largest-battery-storage-project-goes-live-in-monaghan-ireland/> >, alındığı tarih: 20.07.2023.
- [43] **Url-16**, < http://www.normenerji.com.tr/menu_detay.asp?id=9135 >, alındığı tarih: 20.07.2023.
- [44] **Roderick, A.**, (2021). Understanding Solar Photovoltaic (PV) Power Generation, 05 Ağustos 2021. (<https://eepower.com/technical-articles/understanding-solar-photovoltaic-pv-power-generation/>). alındığı tarih: 20.07.2023.
- [45] **DeDoes, M.**, (2015), France Now Home To Europe's Largest Solar Plant, 21 Dec, 2015. (<https://www.yellowlite.com/blogs/france-now-home-to-europe-s-largest-solar-plant/>). alındığı tarih: 20.07.2023.
- [46] **Url-17**, < <https://www.altungroup.com/post/tokat-osb-3mw-gunes-santrali-kurulumu> >, alındığı tarih: 20.07.2023.
- [47] **Anadolu Ajansı Muhabir Aslan M. F.**, (2019). Sulama kanallarında güneş enerjisi dönemi, alındığı tarih: 29.09.2017. (<https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/sulama-kanallarinda-gunes-enerjisi-donemi/922492>). alındığı tarih: 20.07.2023.
- [48] **İlgin E. C.**,(2021). Solar Teknoloji Trendleri, 03/05/2021. (<https://entegro.com.tr/solar-teknoloji-trendleri/>). alındığı tarih: 20.07.2023.
- [49] **Url-18**, < <https://mc2haber.com/sunseap-johor-bogazina-acik-deniz-yuzer-pv-santrali-kurdu> >, alındığı tarih: 20.07.2023.
- [50] **Dündar, U.U., Alp, M.A. Ertem.**,(2017), Güneş Enerjisi Santrallerinin Kurulumu İçin Risk Değerlendirme Rehberi, alındığı tarih: 20.07.2023.
- [51][52][53] **Url-19**, < <https://www.solarian.com.tr/category/genel/> >, alındığı tarih: 20.07.2023.
- [54] **Url-20**, < <https://www.yilkomer.com/gunes-santrallerinde-yildirimdan-korunma-ve-topraklama-konusunda-onemli-noktalar/> >, alındığı tarih: 20.07.2023.

- [55] **Url-21**, < <https://dergipark.org.tr/tr/user/my-authorship-articles> >, alındığı tarih: 17.02.2024
- [56] **M. Şeker**, “Parameter estimation of positive lightning impulse using curve fitting-based optimization techniques and least squares algorithm,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 205, no. November 2021, 2022, doi: 10.1016/j.epsr.2021.107733.
- [57] **F. Heidler, J. M. Cvetić, and B. V. Stanić**, “Calculation of lightning current parameters,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 14, no. 2, pp. 399–404, Apr. 1999, doi: 10.1109/61.754080.
- [58] **F. Heidler and J. Cvetić**, “A class of analytical functions to study the lightning effects associated with the current front,” *Eur. Trans. Electr. Power*, vol. 12, no. 2, pp. 141–150, 2002, doi: 10.1002/etep.4450120209.
- [59] **Chalh, A., Motahhir, S., Ghzizal, AE ve diğerleri**. Kısmi gölgeleme koşulu altında tarama yöntemine dayalı fotovoltaik sistemin küresel MPPT'si. *SN Başvurusu Bilim.* **2** , 771 (2020). <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2580-z>
- [60] **J. Sastry, P. Bakas, H. Kim, L. Wang, and A. Marinopoulos**, “Evaluation of cascaded H-bridge inverter for utility-scale photovoltaic systems,” *Renew. Energy*, vol. 69, pp. 208–218, 2014, doi: 10.1016/j.renene.2014.03.049.
- [61] **Url-22**, < <https://dergipark.org.tr/tr/user/my-authorship-articles> >, alındığı tarih: 17.02.2024
- [62] **Url-23**, < <https://www.yilkomer.com/gunes-santrallerinde-yildirimdan-korunma-ve-topraklama-konusunda-onemli-noktalar/> >, alındığı tarih: 20.07.2023.
- [63] **Url-24**, < <https://solarcati.com/gunes-santrallerinde-kablolaninin-onemi/> > , alındığı tarih: 20.07.2023.
- [64] **Çevik, R.** (2022). Güneş Panellerinde En Sık Yaşanan 8 Sorun, 22.02.2022 tarihli yazı. (<https://www.elektrikport.com/makale-detay/gunes-panellerinde-en-sik-yasanan-8-sorun/23071#ad-image-0>), alındığı tarih: 20.07.2023.
- [65] **Ergun, T., Güneri, Y.**, (2023).Güneş Enerjisi Sistemi (GES) Arızaları,30.8.2022. (<https://www.piagrid.com/rehber/ges-arizasi>), alındığı tarih: 20.07.2023.

- [66] **Url-25**, < <https://fixente.com/services/isletme-bakim/> >, alındığı tarih: 20.07.2023.
- [67] **Ergin A.E.Güneş** Enerji Santrallerinde İşletme ve Bakım, TMOBB, Elektrik Mühendisleri Odası, Sunum.(https://www.emo.org.tr/ekler/1a039a2adc22875_ek.pdf), alındığı tarih: 20.07.2023.
- [68] **Url-26**, < <https://www.sevensensor.com/tr/gunes-enerji-santrallerine-etki-eden-faktorler> >, alındığı tarih : 20.07.2023.



EKLER

EK-1. Güneş Enerji Santrallerinin Geçici Kabullerinde Ve Denetimlerinde Dikkat Edilmesi Ve Kontrol Edilmesi Gerekenler

| FAT KAPSAMI | Evet | Hayır |
|--|------|-------|
| FV panel; sertifikasında beyan edilen gerilim, akım, sıcaklık değerlerini sağlıyor mu? (Test ortamında doğrulama testleri talep edilecektir. 5 adet farklı panel için testler tekrarlanacak olup, sonuçların ortalaması alınacaktır. Her panel test koşullarında 48 saat kesintisiz kararlılık testine tabi tutulacaktır.) | | |
| Evirici giriş-çıkış gerilim limitleri içerisinde çalışıyor mu? Ürün bilgi sayfasında bildirilen sıcaklık, nem ve IP sınıfı, toz ve diğer çevresel koşullarda çalışıyor mu? Garanti edilen kısa süreli ve uzun süreli çalışma akım/gerilim dayanım değerlerini sağlıyor mu? (2 farklı Evirici cihazı için testler tekrarlanacaktır.) | | |
| MCU(Merkezi kontrol ünitesi-kapsamda varsa) fonksiyonları test edilecektir. En az 5 adet Evirici ünitesi, 1adet MCU ünitesi, 1 adet Şİ SCADA simülasyon sisteminden oluşan test düzeneğinde; MCU üzerinden verilecek devreye alma, devreden çıkarma ve acil durum talepleri komutlarının gerçekleşme zamanları kayıt altına alınacaktır. MCU ünitesi hatası veya Şİ SCADA sistemi ile haberleşme hatası durumlarında sistem ada moduna geçiyor mu? | | |
| Giriş-Çıkış Kesici hücreleri garanti edilen kısa süreli ve uzun süreli çalışma akım/gerilim dayanım değerlerini sağlıyor mu? Beyan edilen süreler içerisinde açma-kapama işlemleri yapılabiliyor mu? | | |
| GES Trafosu beyan edilen G/Ç akım/gerilim limitleri içinde çalışıyor mu? Garanti edilen ortam sıcaklığı, nem ve diğer çevresel koşullarda çalışıyor mu? | | |
| AG Koruma, GES Trafo koruma, DM giriş koruma, varsa diğer koruma röleleri beyan edilen çalışma koşullarında emniyetli bir şekilde, güvenilir olarak çalışıyor mu? (Her bir test 5 kez tekrarlanacaktır.) | | |
| Otoproduktör hücresi kesici, akım ölçme, çift yönlü sayaç(wardsa) ve diğer ölçü-koruma donanımları fonksiyonları test edilecektir. | | |

| GENEL KONTROLLER | Evet | Hayır |
|--|------|-------|
| Tesis, projesine uygun olarak tesis edilmiş mi? | | |
| Fotovoltaik panellere ait teknik detay ve sertifikalar mevcut mu ? | | |
| Eviricilere ait teknik detay ve sertifikalar mevcut mu? | | |
| FV panellerin montajı sabitlenmiş olup, sağlam ve güvenli mi? | | |
| Yeraltı kablo tesisi, "Kablo Montaj Usul ve Esasları"na göre tesis edilmiş mi? | | |
| Kablo güzergâhında, işaret plakası (marker) var mı? | | |
| (Maksimum 50 mt. 'de bir olmak üzere, tüm dönüşlerde ve yol geçişlerinde olmalıdır.) | | |
| Yapı girişlerinde, kablolar boru içerisinde mi? Boru ile kablo arası, uygun izolasyon malzemesi ile doldurulmuş mu? | | |
| Elektrik tesislerinde iç aydınlatma var mı? | | |
| Havalandırmalarda sineklik var mı? | | |
| Hareketli kapıların tamamında "Ölüm Tehlikesi" uyarı levhası var mı? | | |
| Her transformatör merkezinin (trafo+hücre+pano) kapısında, "Trafo Adı" plakası var mı? | | |
| Tüm kapılar, mahal dışına açılacak yönde ve çelik sacdan yapılmış mı? | | |
| Transformatör merkezlerinde, her mahalde, otomatik devreye giren ve akülü acil durumlambası var mı? | | |
| Her transformatör merkezinin 25 mt. yakınında, ilk yardım çantası var mı? | | |
| İşletme ve koruma topraklama ölçümü yapıldı mı? | | |
| Değerleri limitler içerisinde mi? | | |
| GES tesisi girişi, tel çit, konstrüksiyon, beton köşk, çevirici, tava vs. üzerine gerekli uyarışaretleri kullanılmış mı? | | |
| Kablolar uygun malzeme ile projeye göre etiketlenmiş mi? | | |

| TRAFO BÖLMESİ | Evet | Hayır |
|--|------|-------|
| Trafo projeye uyumlu mu? | | |
| Trafonun kapakta ve tabanda olmak üzere 2 noktada gövde topraklaması var mı? | | |
| Trafo bölmesinin girişinde zincir ve "Ölüm Tehlikesi" levhası var mı? | | |
| AG bağlantı baralarında, dokunmaya karşı koruma için izolasyon var mı? | | |
| Trafonun OG kabloları bağlantı başlıkları uygun malzeme (plug-in) ile yapılmış mı? | | |
| Trafo tekerleri, takoz ile sabitlenmiş mi? | | |
| Trafo bölmesindeki bütün metal aksamın topraklaması yapılmış mı? | | |
| Trafo ile duvarlar arası, en az 60 cm mesafe var mı? | | |
| (Beton köşkler hariç.)OG kablo kesitleri ve tipleri projeye uygun mu? | | |

| OG KUMANDA BÖLMESİ | Evet | Hayır |
|---|------|-------|
| Hücrelerin montajı projesine uygun olarak yapılmış mı? | | |
| OG hücrelerinin gövde topraklaması var mı? | | |
| OG kumanda bölmesindeki bütün metal aksamın topraklaması yapılmış mı? | | |
| Hücreler ile arkadaki duvar arasındaki mesafe, 10 cm'ye eşit veya büyük mü? | | |
| OG eldiven, izole halı ve sehpa var mı? | | |
| Her OG kumanda bölümü için ayrı olmak üzere 24VDC akülü redresör ünitesi var mı? | | |
| Her OG kumanda bölümüne en fazla 25 mt. uzaklıkta, yangın söndürme tüpü (CO2) varmı? | | |
| Hücre bölmesindeki kablo kanalının üstü, galvanizli sacla kapatılmış mı? | | |
| OG kumanda bölümünde, tek hat şeması projesi var mı? | | |
| OG hücrelerinin üzerinde, giriş/çıkış ile ilgili bilgilerin yer aldığı plakalar var mı? | | |
| Elektrik kazalarına ait "İlk Yardım Yönergesi" var mı? | | |
| Enerji gittiğinde otoprodüktör kesicisi açıyor mu ? | | |
| Enerji geldiğinde otoprodüktör kesicisi kapatıyor mu? | | |
| Otoprodüktör kesicisini manuel açtığımızda tekrar kapama yapıyor mu? | | |
| Otoprodüktör hücresinde kullanılan röleler "Otop.Fider" kriterlerine uygun mu? | | |

| AG PANOSU VE SAHA TOPLAMA PANOSU | Evet | Hayır |
|--|------|-------|
| AG panosunun gövde topraklaması var mı ? | | |
| AG pano bölmesindeki bütün metal aksamın topraklaması yapılmış mı ? | | |
| Ag panoda yer alan TMS (Termik Manyetik Şalter) ve çıkış sigorta değerleri projesi ile uyumlu mu ? | | |
| AG panoda YG den enerji kesildiğinde motorlu TMS açıyor mu ? | | |
| AG panoda YG den enerji verildiğinde motorlu TMS kapatıyor mu ? (Kapamalıdır) | | |
| AG panoda elle manuel açma yaptığımızda motorlu TMS tekrar kapama yapıyor mu ? (Yapmamalı) | | |
| Motorlu TMS yi elle manuel açtığımızda TMS alt baralarında enerji var mı ? (Olmamalıdır) | | |
| Ölçü cihazlarının bağlantıları TMS'den önce mi? (TMS açık (0) iken enerjiyi ölçüyor mu?) | | |
| OG kablo kesitleri ve tipleri, projeye uygun mu? | | |
| Saha panosunda DC sigorta ve kaçak akım rölesi (RCD) değerleri doğru mu? | | |
| Kısa devrekesme kapasiteleri doğru mu? | | |
| AG panolarında, direkt olarak trafo koruma hücresini açtıran "Acil Açtırma Butonu" varmı? | | |
| AG panodaki rölenin enerjisi kesildiğinde motorlu TMS Off konumuna geçiyor mu ? (Geçmelidir) | | |

| EVİRİCİ VE GÜNEŞ PANELLERİ | Evet | Hayır |
|--|------|-------|
| Panellerin ve Eviricilerin üretim tarihi 5 yıldan fazla mı?(5 Yıdan fazla olmamalı,panellerin ve eviricilerin seri numaraları garanti takibi için önemlidir) | | |
| Evirici güçleri ve dizlimi projesine uygun mu ? | | |
| Şebekeden gelen enerji kesildiğinde eviriciler çalışıyor mu ? (Çalışmadığının testi yapılacaktır.Sadece LÜS Tesislerinde) | | |
| Eviricinin içerisinde bulunan DC sigorta ve parafudrlar proje ile uyumlu mu ? | | |
| Panellerin ön arka tarafı yüksekliği,açıları,paneller arası mesafeler proje ile uyumlu mu ? | | |
| Saha vaziyet planına uyuyor mu ? | | |
| Panel yerleşimleri ve sayıları doğru mu ? | | |
| Panel güçleri proje ile aynı mı ? | | |
| Sahanın muhtelif yerlerinde yangın söndürme tüpü var mı ? (Özellikle saha panoları civarında olmalı) | | |
| Beton köşklere araç ile ulaşımına uygun yol var mı?(mıcır,parke,asfalt,stablize yol vs..) | | |
| Evirici hava şartlarında korunaklı ve gerekli IP koruma sınıfına sahip mi ? | | |

| TOPRAKLAMA-YILDIRIMDAN KORUNMA-PARAFUDR | Evet | Hayır |
|--|------|-------|
| Onaylı topraklama projesine uygun topraklama yapılmış mı? | | |
| Topraklama yapılırken, Cu ve Al'ın kullanılması durumunda, bağlantı noktalarında bimetal kullanılmış mı? | | |
| Oksitlenmeye karşı tedbir alınmış mı? | | |
| Projede olmasa dahi, tesisteki bütün metal aksam (kapı, tel çit vs.) topraklanmış mı? | | |
| İşletme ve koruma topraklama ölçümü yapıldı mı ve uygun değerde mi? | | |
| Yetkili mühendis tarafından topraklama ölçümü yapıldığına dair rapor, yetki belgesi,kalibrasyon yapıldığına dair belge, geçici kabul tutanağının ekinde sunulmuş mu? | | |
| Tesiste AC ve DC Hatlarda B+C sınıfı parafudr ve haberleşme hatlarında D sınıfı parafudr kullanılmış mı? | | |
| Tesiste yıldırımdan korunma sistemi tesis edilmiş ise topraklama ağı ile irtibatı var mı ? (Olmamalı) | | |
| Tesiste eş potansiyel sağlandı mı? Tesis genelinde direnç farklılığı 0,1 ohm'u aşılıyor mu? | | |

| GES KABULÜNDE YAPILAN TESTLER | Evet | Hayır |
|--|------|-------|
| *Not: Aşağıdaki adımlar LÜS tesisi içindir.LiGES tesisleri için test kapsamı farklıdır. OTOPRODÜKTÖR : Şebeke tarafında enerji gittiğinde Otop. hücresi OFF olacaktır.Tekrar enerji geldiğinde Otop. hücresi ON olacaktır. * Otop. hücresini manuel olarak OFF yapıldığında, tekrar kendiliğinden ON olmayacak,otomatik olarak kendiliğinden geri ON olmayacak, manuel olarak ON yapılmayı bekleyecektir. * Otop. manuel olarak OFF yapılacak, ana motorlu TMS'nin de OFF olduğu görülecek.Sonra otop. ON yapılacak, motorlu TMS'inde kendini kurduğu görülecektir. | | |
| AG BÖLÜMÜ: Acil kapatma butonu denenecek, acil kapatma butonuna basınca kesici ve ana motorlu TMS OFF olacaktır. | | |
| Motorlu TMS manuel olarak OFF yapıldığı zaman yeniden kendiliğinden kurma yapmayacak, manuel olarak ON olmayı bekleyecektir. | | |
| Kaçak akım rölesinin test düğmesine basıldığında motorlu TMS OFF olacaktır. | | |
| AG panodaki ana TMS'nin kontrolünü sağlayan rölenin giriş gerilimi kesildiğinde ana motorlu TMS OFF olacaktır. | | |
| Motorlu TMS manuel olarak OFF yapıldığında TMS'nin alt kısmında enerji olmayacaktır.(GES santrali bütün teçhizatlar çalışırken devredeyken eviricilerin enerjisi kestiği bu şekilde anlaşılacaktır.) | | |

| ENH KONTROLÜ | Evet | Hayır |
|--|------|-------|
| ENH güzergahı ve arazi yapısı profil ve yan profilde gösterilen duruma uygun mu? | | |
| Yapılmış olan tesisin Nihayet ve Some (kırılma-dönüş) noktalarının koordinatları ve bütün direkler arasındaki açıklıklar projeye uygun mu? | | |
| Tesiste kullanılmış olan direk tipleri projeye uygun mu? | | |
| Hattın açığa girdiği Some noktalarında, mevcut tesis ile yeni tesis hat açısı proje ile aynı mı? Ölçüm yapılarak kontrol edilir. | | |
| Durdurucu direkler açığa çıkarmada istikametinde dikilmiş mi ? | | |
| Direk temellerinin kontrolü (Direkte herhangi bir yöne eğiklik var mı, temel ebatları ve beton özellikleri şartnamelere uyuyor mu ,direk temellerinde beton harici malzeme, taş v.b. kullanılmış mı ?) | | |
| Direk gövde ve travers topraklamalarının fiziki kontrolünün ve topraklama değerlerinin ölçülerek tespitinin yapılması.(Mevzuatta belirlenmiş sabit bir topraklama değeri olmayıp genel kabul görmüş uygulamada işletme topraklamasının 2 ohm, koruma topraklamasının 4 ohm değerini aşmaması istenir.) | | |
| İzolatör tiplerinin projeye uygunluğunun ve sağlamlığının, temizliğinin kontrolü, haberleşme hatlarının,karayolu ve demiryolu üzerinden geçişlerde çift askı ve çift gergili izolatör takımının kullanıldığı kontrolü yapılır. | | |
| Enh üzerinde bulunan üç iletkenin sehimleri de aynı mı ? İletken sehimleri projeye uygun mu ? (Mevsim şartlarına göre değerlendirme yapılır.) | | |
| Hat boyunca ENH güzergahında ; altından, üstünden veya yanından geçen tesislere olan yatay ve düşey emniyet mesafeleri uygun mu? (Ölçülerek tespiti yapılır) | | |
| Durdurucu direklerde atlama (jumper) bağlantıları ve nihayet direklerinde iletken ile kablo bağlantıları uygun izolatör ve klemenslerle sağlam ve doğru yapılmış mı ?(ENH tesislerinde işletme aşamasında en çok arızaya neden olan unsurlardan birisi atlamalar ve bağlantı elemanlarıdır) | | |
| Nihayet direklerinde XLPE kablo ile geçiş yapılan yerlerde kablo tavası uygun şekilde yapılmış mı ? Kablonun zamanla hasar görmemesi için direğe uygun şekilde sabitlenmiş mi ? (Kablo tavası ayrıca direğin gövde topraklamasına irtibat yapılmış mı ?) | | |
| Demir direkli tesislerde "Ölüm Tehlikesi" levhası,ve korkuluk,beton direkli tesislerde ise "Ölüm Tehlikesi "levhası uygun yapılmış mı ? | | |
| ENH iletkenlerinde ekler (varsa) şartnameye uygun olarak ek maşonu ile yapılmış mı ? | | |
| Galveniz cıvatalı hatlarda bütün bağlantılar sağlam yapılmış mı ? Cıvataların noktalamaları (kilitleme somunu ile) yapılmış mı ? | | |
| Hat başında seksiyoner kullanılması durumunda; seksiyoner bacalarının ayarları yapılmış , seksiyoner kolu topraklanarak kilitlenmiş mi ? | | |
| Mesnet izolatörlü olarak tesis edilen hatlarda, açığa giren direklerde iletken sıkıbağ ile izolatörün doğru tarafına bağlanmış mı ? | | |
| Askı tipi hatlarda kuşkonmazlar tesis edilmiş mi ? | | |
| Askı tipi hatlarda ag-aw hesabından veya iletken çekiminde yapılan hatadan kaynaklanan direklerin yukarı çekme (up-lift) durumu var mı ? | | |