

**T.C.  
ADYAMAN ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNİN  
TASARIMI, BAKIMI, ONARIMI VE İŞLETİLMESİ**

**CEBRAİL GÜNEŞ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ADYAMAN, 2021**

**T.C.  
ADYAMAN ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNİN TASARIMI, BAKIM  
ONARIMI VE İŞLETİLMESİ**

**Cebrail GÜNEŞ**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Bu tez 06/07/2021 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

**Prof. Dr. Abdulcelil BUĞUTEKİN  
Danışman**

**Prof. Dr. Mustafa Osman ISIKAN  
Üye**

**Dr. Öğr. Üyesi Yusuf BAŞOĞUL  
Üye**

**Prof. Dr. Tayfun SERVİ  
Enstitü Müdürü**

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'ndaki hükümlere tabidir.

## ÖZET

### Yüksek Lisans Tezi

# FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNİN TASARIMI, BAKIM ONARIMI VE İŞLETİLMESİ

## Cebrail GÜNEŞ

Adıyaman Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Abdulcelil BĞUTEKİN  
Yıl : 2021, Sayfa sayısı: 210

Jüri : Prof. Dr. Mustafa Osman ISIKAN  
Prof. Dr. Abdulcelil BUĞUTEKİN  
Dr. Öğr. Üyesi Yusuf BAŞOĞUL

Dünyada nüfusun artmasıyla birlikte enerjiye olan talep de her geçen gün artmaktadır. Bu enerji talebi ilk başta fosil yakıtlar kullanılarak karşılanmıştır. Fakat fosil yakıtların hem çevreye verdiği zarar hem de bir gün tükenecek olması insanları alternatif enerji kaynağı ( güneş rüzgâr, hidrolik, jeotermal, dalga, biyo kütle) arayışına yönlendirmiştir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte, son yıllarda alternatif enerji kaynakları içerisinde en çok göze çarpan enerji, güneş enerjisidir. Güneş enerjisinin, ısı ve elektrik elde edilmesi yönünden iki farklı kullanım alanı vardır. Güneş enerjisinden elektrik üretimi yöntemi, fotovoltaik enerji sistemleri ile yapılmaktadır.

Bu tezde, 1 MW fotovoltaik güneş enerji santrallerinde kullanılan donanımlar (güneş panelleri, inverterler, kablolar, konstrüksiyon sistemi, trafo, iletim hattı ve sistemi koruyan ekipmanlar) ile arazi yapısı, mevzuat ve santralin bulunduğu konum göz önünde bulundurularak sistemin tasarımı ve pvsyst modellemesi yapıp projelendirilmiştir. Ayrıca 1 MW fotovoltaik güneş enerji santralinin bakımı, onarımı, işletilmesi ve maliyeti hakkında detaylı bilgi verilmiştir. 1 MW fotovoltaik güneş enerji santralinin tasarımında, doğru donanımların seçilmesi, kaliteli işçilik ve montaj yapılması ve santralin işletilmesi esnasında bakım onarım faaliyetlerinin periyodik olarak yapılması, santralin enerji verimliliği açısından oldukça önem arz etmektedir. Yapılan hesaplamalarda, 1 MW fotovoltaik güneş enerjisi santrali, kendisini 5,27 yılda amorti etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Yenilenebilir Enerji; Enerji; Güneş Enerjisi Santrali, Fotovoltaik Güneş Enerji santralleri,

## ABSTRACT

MSc Thesis

### DESIGN, MAINTENANCE, REPAIR AND OPERATION OF PHOTOVOLTAIC SOLAR POWER PLANTS

**Cebrail GÜNEŞ**

Adiyaman University  
Graduate Education Institute  
Department of Mechanical Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Abdulcelil BUĞUTEKİN  
Year : 2021, Number of pages:210

Jury : Prof. Dr. Mustafa Osman ISIKAN  
Prof. Dr. Abdulcelil BUĞUTEKİN  
Dr. Öğr. Üyesi Yusuf BAŞOĞUL

With the increase in population in the world, the demand for energy is increasing day by day. This energy demand was initially met by using fossil fuels. However, both the environmental damage of fossil fuels and the fact that they will run out one day have led people to seek alternative energy sources (solar, wind, hydraulic, geothermal, wave, biomass). With the development of technology, the most outstanding energy among alternative energy sources in recent years is solar energy. Solar energy has two different uses in terms of obtaining heat and electricity. The method of electricity generation from solar energy is made with photovoltaic energy systems.

In this thesis, the equipment used in 1 MW photovoltaic solar power plants (solar panels, inverters, cables, construction system, transformer, transmission line and equipment protecting the system) and the system's design and pvsyst modeling were made and projected by considering the land structure, legislation and the location of the power plant. In addition, detailed information is given about the maintenance, repair, operation and cost of 1 MW photovoltaic solar power plant. In the design of a 1 MW photovoltaic solar power plant, choosing the right equipment, quality workmanship and assembly, and periodic maintenance and repair activities during the operation of the plant are very important in terms of energy efficiency of the plant. In the calculations, 1 MW of photovoltaic solar power plant pays for itself in 5.27 years.

**Keywords:** Renewable Energy; Energy; Solar Power Plant, Photovoltaic Solar Power plants,

## BEYAN

“Fotovoltaik Güneş Enerji Santrallerinin Tasarımı, Bakımı ve İşletilmesi” başlıklı tezimde çalışmaların tamamen akademik kurallara ve etik değerlere sadık kalınarak yürütüldüğünü ve yazımda yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ayrıca alıntılardan bilimsel etiğe uygun atıf yaparak yararlanmış olduğumu beyan ederim.

Cebrail GÜNEŞ

imza

## **TEŞEKKÜR**

Yüksek lisans sürecim boyunca, bana karakteri ile örnek olan ve bilgisi ile her zaman yol gösteren, kendisini ile çalışmaktan onur duyduğum ve hakkımı ne yapsam da ödeyemeyeceğim çok değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Abdulcelil BUĞUTEKİN hocama çok teşekkür ederim. Daha sonra bana her zaman her konuda hep yanımda olan ve desteğini hep hissettiğim canım eşim Anıl Begüm'e teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
BEYAN.....	v
TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
GRAFİKLER DİZİNİ.....	v
TABLolar DİZİNİ.....	vi
RESİMLER DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Güneş ve Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları.....	6
1.1.1. Güneş Enerjisinden Isı Yönünden Faydalanma.....	7
1.1.1.1. Düzlemsel güneş kolektörleri.....	7
1.1.1.2. Güneş havuzları.....	8
1.1.1.3. Vakumlu güneş kolektörleri.....	9
1.1.1.4. Güneş mimarisi.....	9
1.1.1.5. Ürün kurutma ve seralar.....	9
1.1.2. Güneş Enerjisinden Elektrik Edilmesi Yöntemleri.....	10
1.1.2.1. Yoğunlaştırıcı Sistemlerle Elektrik Üretimi.....	10
1.1.2.2. Doğrusal Yoğunlaştırıcılar (Parabolik oluk kolektörler).....	11
1.1.2.3. Parabolik çanak sistemler.....	11
1.1.2.4. Merkezi alıcılı sistemler.....	12
1.1.2.5. Güneş bacaları.....	12
1.1.2.6. Fotovoltaik Enerji sistemleri.....	13
1.1.3. Dünyada ve Türkiye’de Fotovoltaik Enerjinin Genel Durumu.....	14
2. FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ.....	17
2.1. Güneş Pilleri ve Tarihçesi.....	17
2.2. Fotovoltaik Enerji Sistemi Çeşitleri.....	22
2.2.1. Şebekeye Bağlı (On-Grid) Fotovoltaik Sistemler.....	22
2.2.1.1. Zemine Monteli Şebekeye Bağlı Güneş Enerjisi Santralleri.....	23
2.2.1.2. Çatıya Monte, Şebekeye Bağlı Güneş Enerjisi Santralleri.....	24
2.2.1.3. Binaya entegre şebekeye bağlı fotovoltaik güneş enerjisi santralleri.....	24
2.2.2. Şebekeden Bağımsız (Off-Grid) Fotovoltaik Sistemler.....	25
2.2.2.1. Fotovoltaik Tarımsal Sulama Sistemleri.....	26
2.2.2.2. Fotovoltaik Ev Güç Sistemi.....	27
2.2.3. Fotovoltaik Hibrit Sistemler.....	27
3. FOTOVOLTAİK SİSTEM DONANIMLARI.....	29
3.1. Güneş Panelleri.....	29
3.1.1. Monokristal Paneller.....	30
3.1.2. Polikristal Paneller.....	31
3.1.3. İnce Film Paneller.....	33
3.2. İnverterler.....	35
3.2.1. Mikro inverter.....	36
3.2.2. Dizi inverter.....	37
3.2.3. Merkezi inverter.....	38
3.3. Konstrüksiyon Sistemi.....	39
3.3.1. Arazi Tipi Konstrüksiyon Sistemi.....	41
3.3.1.1. Arazi Tipi Konstrüksiyon Sisteminde Zemine Monte Yöntemleri.....	42
3.3.1.1.1. Kazık Çıkma Yöntemi.....	43
3.3.1.1.2. Betonlama Yöntemi.....	44
3.3.1.2. Sabit Açılı Konstrüksiyon Sistemleri.....	45

3.3.1.3. Güneş Takipli (Tracking) Konstrüksiyon Sistemleri .....	46
3.3.1.3.1. Tek Eksenli Güneş Takip sistemi .....	46
3.3.1.3.2. Çift Eksenli Güneş Takip sistemi .....	47
3.3.2. Çatı Tipi Konstrüksiyon Sistemleri .....	47
3.3.2. Konstrüksiyonda Kullanılan Bağlantı Elemanları .....	48
3.4. Kablolar .....	49
3.4.1. DC Kablolar.....	49
3.4.2. AC Kablolar.....	50
3.4.3. Topraklama Kablosu.....	51
3.4.4. Haberleşme ve Kontrol Kabloları .....	51
3.5. AC-DC Toplama Panoları .....	52
3.6. Trafo .....	53
3.6.1. Yağlı Tip Trafolar.....	54
3.6.2. Kuru Tip Trafolar .....	55
3.7. Scada Sistemi.....	56
3.8. Diğer Donanımlar .....	56
3.8.1. CCTV Sistemi.....	56
3.8.2. Sigortalar .....	57
3.8.3. Artık Akım Anahtarları.....	58
3.8.4. Parafudurlar .....	59
3.8.5. İkaz Etiketleri .....	59
3.8.6. Çift Yönlü Sayaç.....	60
3.8.7. Paratoner .....	61
3.8.8. Aydınlatma ve Güvenlik.....	61
4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	63
5. 1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMİNİN TASARIMI.....	89
5.1. Mevzuat .....	89
5.1.1. Lisanslı Santraller .....	90
5.1.2. Lisanssız Santraller.....	94
5.1.3. Geçici Kabul ve Faturalandırma .....	99
5.2. Yer Seçimi .....	101
5.2.1. Zemin Etüdü .....	105
5.2.2. Arazide Hafriyat Çalışmaları .....	105
5.2.3. Ulaşım Yolu.....	106
5.2.4. İletim hattı.....	107
5.3. Santralin Modellenmesi ve Tek Hat Şeması.....	108
5.4. Panel Seçimi, Hesabı ve Montajı.....	124
5.4.1. Panellerin Seçimi .....	126
5.4.2. Panellerin Hesabı .....	129
5.4.3. Panellerin Montajı .....	133
5.5. İnverter Seçimi Hesabı ve Montajı.....	136
5.5.1. İnverter Seçimi.....	136
5.5.2. İnverter Hesabı.....	138
5.5.3. İnverter Montajı .....	139
5.6. Kablo Seçimi Hesabı, Montajı ve Test Aşaması .....	143
5.6.1. Kablo Seçimi .....	143
5.6.2. Kablo Hesabı .....	143
5.6.3. DC Kablo Montajı .....	156
5.6.4. AC Kablo hesabı.....	158
5.7. Trafo ve Bara Seçimi ve Hesabı .....	159
5.7.1. Trafo Seçimi ve Hesabı .....	159
5.7.2. Bara Seçimi ve Hesabı.....	159
5.8. Topraklama Hesabı.....	161
5.8.1. Yıldırım Riski Hesaplaması.....	163



6. FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN BAKIM ONARIM ve İŞLETİLMESİ FAALİYETLERİ .....	167
6.1. Bakım-Onarımın .....	167
6.1.1. Planlı/ Önleyici Bakım Onarım .....	167
6.1.1.1. Panel Temizliği .....	168
6.1.1.2. Modül Bağlantı Bütünlüğü .....	176
6.1.1.3. Dize Birleştirici Kutusu .....	176
6.1.1.4. Sıcak Noktalar.....	177
6.1.1.5. İnverter Bakımı .....	177
6.1.1.6. Trafo Bakımı .....	178
6.1.1.7. Yapısal Bütünlük .....	179
6.1.1.8. Sistemin Genel Uyum Kontrolü.....	179
6.1.1.9. Bitki Örtüsü Kontrolü .....	179
6.1.2. Planlanmamış Bakım Onarım .....	179
6.1.2.1. Yedek Parçalar .....	180
6.1.2.2. Performans İzleme, Değerlendirme Ve Optimizasyon.....	181
6.1.3. Bakım Onarım Sözleşmeleri.....	181
6.2. Santralin İşletilmesi .....	191
6.3.Santralin Maliyet Analizi.....	192
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	195
KAYNAKLAR .....	201
KİŞİSEL BİLGİLER.....	214

## GRAFİKLER DİZİNİ

Grafik 1.1 Dünya yenilenebilir enerji kurulu gücü [4] .....	3
Grafik 1.2 Dünya güneş enerjisinden elektrik üretimi kurulu gücü [4] .....	4
Grafik 1.3 Güneş Enerjisi kurulu gücü bakımından dünyanın en büyük ilk on ülkesi [4] .....	4
Grafik 1.4 Türkiye'nin 2020 yılı yenilenebilir enerji gücü [4] .....	5
Grafik 1.5 Türkiye'nin güneş enerjisi kurulu gücü [4] .....	5
Grafik 3.1 Monokristal ve polikristal hücre kullanım yüzdeleri (2013-2018) [35] ...	33

## TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1 Yenilenebilir enerji kaynakları .....	3
Tablo 1.2 Dünyada bölgesel düzeyde indirgenmiş ülkelerin son 10 yıldaki kurulu solar gücü [18].....	15
Tablo 5.1 Multicontact Solar Kablo Kataloğundan Alınmıştır.....	144
Tablo 5.2 Elektrik Mühendisleri Odası Elektrik Tesisleri Genel Teknik Şartnamesi ve Uygulama Esasları kitabından alınmıştır. ....	145
Tablo 5.3 Multicontact Solar Kablo Kataloğundan Alınmıştır.....	145
Tablo 5.4 DC kablo tayini akım taşıma ve gerilim düşümü tablosu.....	146
Tablo 5.5 Yukarıdaki Tablo HES Kablo kataloğundan alınmıştır. Projede HES Kablo kullanılmıştır. ....	153
Tablo 5.6 Tablo Elektrik Mühendisleri Odası Elektrik Tesisleri Genel Teknik Şartnamesi ve Uygulama Esasları kitabından alınmıştır.....	153
Tablo 5.7 Elektrik Mühendisleri Odası Elektrik Tesisleri Genel Teknik Şartnamesi ve Uygulama Esasları kitabından alınmıştır. ....	154
Tablo 5.8 Elektrik Mühendisleri Odası Elektrik Tesisleri Genel Teknik Şartnamesi ve Uygulama Esasları kitabından alınmıştır. ....	154
Tablo 5.9 Elektrik Mühendisleri Odası Elektrik Tesisleri Genel Teknik Şartnamesi ve Uygulama Esasları kitabından alınmıştır. ....	154
Tablo 5.10 Elektrik Mühendisleri Odası Elektrik Tesisleri Genel Teknik Şartnamesi ve Uygulama Esasları kitabından alınmıştır. ....	154
Tablo 5.11 inverter sonrası AC kablo hesapları.....	155
Tablo 5.12 Elektrik Mühendisleri Odası Elektrik Tesisleri Genel Teknik Şartnamesi ve Uygulama Esasları kitabından alınmıştır. ....	160
Tablo 5.13 Yıldırım Risk Hesabı .....	165
Tablo 6.1 Her düzeltici teknik için olay-görev ilişkisi [120].....	168
Tablo 6.2 Temiz ve kirli panellerden güneş enerjisi ile üretilen güçler arasındaki fark [121].....	170
Tablo 6.3 1 MW fotovoltaik güneş enerji santralinin maliyet tablosu.....	193

## RESİMLER DİZİNİ

Resim 1.1 Düzlemsel Güneş Kolektörleri [6] .....	7
Resim 1.2 Güneş havuzu [8] .....	8
Resim 1.3 Vakumlu güneş kolektörleri [10] .....	9
Resim 1.4 Pasif ısıtma örneği [12] .....	10
Resim 1.5 Parabolik Oluk Kolektörler [13] .....	11
Resim 1.6 Parabolik Çanak Sistem [13] .....	12
Resim 1.7 Merkez Alıcılı Sistemler [8] .....	12
Resim 1.8 Güneş bacası (Adıyaman Üniversitesi Kampüsü [15] .....	13
Resim 1.9 fotovoltaik diziyi meydana getiren parçalar [17] .....	14
Resim 2.1 Fotovoltaik (pv) hücrenin çalışma ilkesi [20] .....	18
Resim 2.2 Şebekeye bağlı fotovoltaik bir sisteminin şeması [22] .....	23
Resim 2.3 1MWzemine monteli güneş enerji santrali [24] .....	24
Resim 2.4 Çatı güneş enerji santrali [25] .....	24
Resim 2.5 Binaya entegre fotovoltaik güneş enerjisi sistemi 110 KW [26] .....	25
Resim 2.6 Şebekeden bağımsız pv sistem şeması [27] .....	26
Resim 2.7 Fotovoltaik tarımsal sulama sistemi [28] .....	26
Resim 2.8 Fotovoltaik ev sistemi [29] .....	27
Resim 2.9 Fotovoltaik hibrit sistemler .....	28
Resim 3.1 Farklı güneş paneli çeşitleri .....	29
Resim 3.2 Fotovoltaik panelin bileşenleri [32] .....	30
Resim 3.3 Kristal panel Üretim Yöntemi [31] .....	30
Resim 3.4 Monokristal Panel .....	31
Resim 3.5 polikristal panel .....	32
Resim 3.6 İnce film güneş paneli .....	34
Resim 3.7 Bağlantı Kutusu (junction box) .....	34
Resim 3.8 Erkek ve dişi konektörler .....	35
Resim 3.9 Mikro inverterlerin bağlantı şeması [37] .....	36
Resim 3.10 Dizi inverter bağlantı şeması [38] .....	37
Resim 3.11 Merkezi inverter bağlantı şeması [31] .....	38
Resim 3.12 Arazi tipi konstrüksiyon uygulamaları [42] .....	42
Resim 3.13 Zemine çakma yöntemi [43] .....	43
Resim 3.14 Zemine beton ile montaj yapılması [44] .....	43
Resim 3.15 Tezde tasarımı yapılan projede kullanılacak sehpa sistemi .....	44
Resim 3.16 Beton blok yöntemi .....	44
Resim 3.17 Yere monte sabit açılı konstrüksiyon sistemi [45] .....	45
Resim 3.18 Tek eksenli yere monteli sistem .....	46
Resim 3.19 Çift eksenli güneş takip sistemi [46] .....	47
Resim 3.20 2 Farklı tipte çatı montajı sistemi örneği .....	48
Resim 3.21 Fotovoltaik güneş enerji santrallerinde kullanılan montaj aparatları [47] .....	49
Resim 3.22 DC kablolar [48] .....	50
Resim 3.23 AC kablo [49] .....	50
Resim 3.24 Topraklama Kablosu .....	51
Resim 3.25 Haberleşme ve kontrol kabloları .....	52

Resim 3.26 Örnek AC ana toplama panosu [50].....	52
Resim 3.27 Örnek AC toplama panosu [51] .....	53
Resim 3.28 Örnek DC toplama panosu [52] .....	53
Resim 3.29 Örnek Trafo Köşkü [53] .....	54
Resim 3.30 Örnek hermetic yağlı trafo [54] .....	54
Resim 3.31 Örnek genleşme tanklı yağlı trafo [54]. .....	55
Resim 3.32 Örnek kuru tip trafo [55].....	55
Resim 3.33 Örnek pv modül koruma sigortaları [57] .....	57
Resim 3.34 Örnek toplama panosu sigortaları [57] .....	58
Resim 3.35 Artık akım anahtarı (Kaçak akım rölesi) [59].....	59
Resim 3.36 Örnek alçak gerilim parafudrları [61].....	59
Resim 3.37 Güneş Enerji Santrallerinde Uyarı Etiketleri .....	60
Resim 3.38 Çift yönlü sayaç .....	61
Resim 3.39 Aktif paratoner .....	61
Resim 3.40 Güneş enerji santrallerinde kamera sistemi .....	62
Resim 5.1 Rüzgâr/güneş lisanslandırma iş akışı şeması [102].....	93
Resim 5.2 Lisanssız elektrik üretim başvuru formu [102].....	97
Resim 5.3 Proje dosyasını hazırlanması süreci [104] .....	98
Resim 5.4 Dünya güneş atlası [105] .....	102
Resim 5.5 Ülkemizin güneş haritası [106].....	102
Resim 5.6 Adıyaman Güneş Atlası [106] .....	103
Resim 5.7 Yol yapım çalışması.....	106
Resim 5.8 Engebeli bir arazide kurulmuş güneş enerji santrali örneği.....	107
Resim 5.9 Enerji Nakil Hattı direği Dikme İşlemi [108].....	108
Resim 5.10 Enerji Nakil Hattı [109] .....	108
Resim 5.11 Tez için yapılan santralin Autocad programında panellerin yerleşimi .	109
Resim 5.12 Tez için yapılan santralin pvsyst programındaki tasarımı .....	109
Resim 5.13 Tek Hat şeması.....	123
Resim 5.14 Güneşin mevsimlere bağlı olarak geliş durumu [111].....	125
Resim 5.15 Gölgeleme açısı.....	126
Resim 5.16 Panel Datasheet [112] .....	130
Resim 5.17 400W Monokristal Solar Panel.....	131
Resim 5.18 Güneş panellerinin santral sahasında montaj yapılacak en yakın yere getirilmesi ile ilgili örnek resim [113] .....	134
Resim 5.19 Panel montajının özenle yapılması gerektiği ile ilgili örnek resim [114] .....	135
Resim 5.20 Panel montajının özenle yapılması gerektiği ile ilgili örnek resim [114] .....	135
Resim 5.21 Tez için seçilen invertere ait resim [115].....	137
Resim 5.22 Tez için seçilen invertere ait datasheet [115].....	138
Resim 5.23 Huawei Sun 2000 60 KTL- M0 serisi dizi inverter [116].....	140
Resim 5.24 Huawei Sun 2000 60 KTL- M0 serisi dizi inverterin alttan görünümü [116].....	140
Resim 5.25 Huawei Sun 2000 60 KTL- M0 serisi dizi inverterin yandan görünümü ve topraklanması [116].....	141

Resim 5.26 Huawei Sun 2000 60 KTL- M0 serisi dizi inverter için Tamamlanmış AC kablo bağlantısı [116].....	141
Resim 5.27 İnvertere DC kablo bağlantı Montajı .....	142
Resim 5.28 Dağıtım Şebekesi Kablo Montaj Usulü [117].....	157
Resim 5.29 Trafo (Köşk ) Binası .....	162
Resim 6.1 Farklı temizleme stratejileri [122] .....	170
Resim 6.2 Kuru temizleme robotu [62].....	172
Resim 6.3 Susuz servis ünitesi [62] .....	172
Resim 6.4 Kar temizleme teknikleri.....	173
Resim 6.5 Termal toplayıcı [136] .....	174
Resim 6.6 Vinç kullanılarak yapılan panel temizliği .....	175

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

<i>L</i>	:Mesafe
<i>G</i>	: Kayma modülü
<i>P</i>	: Güç
<i>I</i>	: Akım
<i>V</i>	: Volt
<i>d</i>	: Çap

### Kısaltmalar

<i>EPDK</i>	: Enerji Piyasası Düzenleme ve Denetleme Kurumu
<i>GES</i>	: Güneş Enerjisi Santrali
<i>PV</i>	: Fotovoltaik Panel
<i>MW</i>	: MegaWatt
<i>KW</i>	: KiloWatt
<i>TEDAŞ</i>	: Türkiye Elektrik Dağıtım AŞ.

## 1. GİRİŞ

Enerji, fizikte, iş yapabilme yeteneği demektir. Hangi durumda olursa olsun, girdiği alanı mutlaka etkilemektedir. İnsanlık tarihinden daha eskilere dayanan enerji, zaman içinde sayısal olarak tanımlanabilir hale gelerek, günümüzde, su veya hava gibi insanlığın en temel ihtiyaçlarının başında gelmektedir. İnsanlığın ve dünyanın devam edebilmesi için enerji olmazsa olmazdır. Bu kadar önemli bir konunun insanlık içinde sürekli bir ihtiyaç haline gelmesi, enerji talebinin karşılanması bağlamında, dünya için en büyük sorunların başında gelmektedir. Bu sorunun büyüklüğünü, ticareti esnasında harcanan astronomik ücretlerden tutun, ülkeler arası savaşların nedenlerine veya ülkelerarası sömürge yarışının nedenlerine baktığımızda anlamamız zor olmayacaktır. Bir ülkede enerji kaynaklarının çokluğu, o ülkenin ekonomik gücüne doğrudan etki edip, diğer ülkeler ile daha rekabet eder bir duruma gelmesine neden olur. Bu bakımdan, ülke sınırlarındaki enerji kaynaklarının en verimli şekilde kullanılması gerekir. Dolayısıyla her ülkedeki enerji miktarı birbirinden farklı olduğu için ülkeler, günümüzde kendi ihtiyaçları doğrultusunda yer altı kaynaklarından özellikle fosil yakıtlardan istifade etmektedir.

Fosil yakıtlar içindeki karbon, havadaki oksijen ile birleşerek tam yanma halinde CO<sub>2</sub> veya yarım yanma halinde CO gazlarını ortaya çıkarmaktadır. Yine yakıt içerisinde az miktarda bulunan kurşun, kükürt gibi elementler yanma sıcaklığında oksijen ile birleşerek insan sağlığı açısından önemli tehdit oluşturan bileşikler (SO<sub>x</sub>, PbO, NO<sub>x</sub>...) oluşturmaktadır. Bu yanma ürünleri, atmosfere bırakılmakta ve atmosfer içerisinde birikmektedir. Fotosentez, çürüme gibi tabii dönüşümler bu birikime engel olabilse de, aşırı yakıt tüketimi birikim miktarının artmasına neden olmaktadır. Atmosfer içinde biriken yanma gazları güneş ve yer arasında tabii olmayan katman meydana getirmekte, insan ve bitki hayatı üzerinde negatif etkiye neden olmaktadır. Sera Etkisi (Isı enerjisinin karbondioksit gibi gazlar tarafından emilip atmosferde alıkonmasıyla ortaya çıkan ısı artışı) olarak da bilinen bu etki ve insan sağlığı bugün önemle üzerinde durulan olgulardır [2].

Sera etkisini azaltmak için Kyoto Protokolü adı verilen, sera etkisi yaratan gazların salınımını sınırlamayı ve azaltmayı hedefleyen uluslararası bir anlaşma



hazırlanmıştır. Bu protokol, 11 Aralık 1997 tarihinde Japonya'nın Kyoto kentinde düzenlenen bir zirvede oluşturulmuş olup 9 Mayıs 1992'de New York 'da kabul edilen, "İklim Değişikliğine Yönelik Birleşmiş Milletler Çerçeve Sözleşmesi'nin belirlediği ilkelere dayanmaktadır. Protokolü imzalayan devletler ulusal ekonomilerinin ilgili sektörlerinde enerji etkinliğini iyileştirmeye ve sera etkisi yapan gazların salınımını sınırlamaya ve azaltmaya yönelik önlemler almakla yükümlü olduklarını kabul etmişlerdir. Ayrıca karbondioksit ve metan gibi sera gazı etkisi yapan gazlarının salınımında 2012 yılına kadar 1990 yılındaki düzeyinden toplam %5,2 oranında bir azaltma sağlamakla yükümlü olduklarını kabul etmiş olurlar [3].

2009 yılının Aralık ortalarında Kopenhag'da yapılan ve 193 ülkenin katıldığı iklim zirvesinin sonucunda ise, Kyoto kıstaslarını daha da ileri götürmek üzere iyi niyet sözleşmeleri yapılmıştır. Kyoto Protokolü 2008-2012 ve 2012-2020 yıllarını kapsayan iki yükümlülük dönemi vardır.

Yenilenebilir enerji, ham madde olarak tükenmeyen hep kendini yenileyen ya da doğada hep var olan enerji demektir. Yani yenilenebilir enerji kaynaklarının kalıcı olarak tükenmesi, olağanüstü bir durum olmadıkça, mümkün değildir. Bu kaynaklar, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, dalga enerjisi, biyo kütle enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerji ve hidrojen enerjisi olarak sıralanabilir [1]. Bir yandan bu kaynaklar ile ilgili hala ar-ge çalışmaları devam ederken, diğer yandan özellikle güneş ve rüzgâr enerjisinden yararlanıp, santraller kurularak elektrik üretimine başlanmıştır. Rüzgâr enerjisine nazaran güneş enerjisinin, dünyanın birçok yerinde bulunması daha cazip görülerek bu alanda yoğun bir çalışma gözlemlenmektedir. Güneş enerjisinden iki farklı yoldan yararlanılmaktadır. Bunlar güneş enerjisinden ısıtma ve güneş enerjisinden elektrik elde edilmesi (fotovoltaik paneller ile) yöntemleridir.

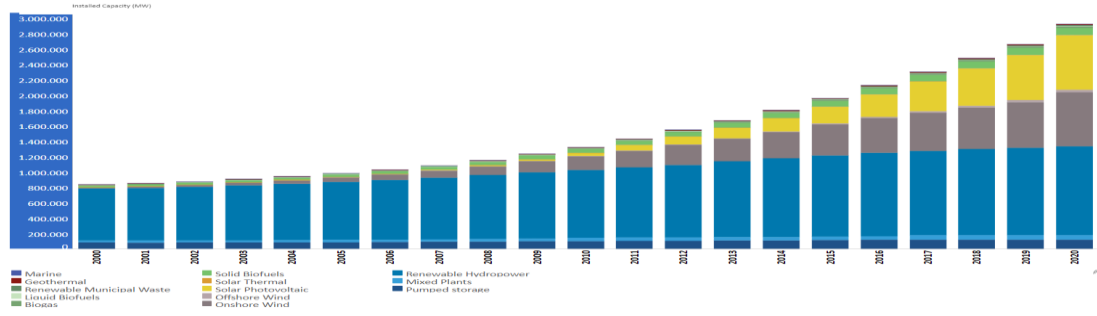
<b>Yenilenebilir Enerji Kaynakları</b>	<b>Kaynak</b>
Güneş Enerjisi	Güneş
Rüzgâr Enerjisi Rüzgâr	Rüzgâr
Dalga Enerjisi	Okyanus ve Denizler
Biyo kütle Enerjisi	Biyolojik artıklar
Jeotermal Enerji	Yer altı suları

Hidrolik Enerji	Nehirler
Hidrojen Enerjisi	Su ve Hidroksitler

Tablo 1.1 Yenilenebilir enerji kaynakları

Enerjiye ihtiyaç dünya genelinde her geçen artarken bu talebin artık yer altı kaynaklarla karşılanamayacağı anlaşılmıştır. Bu yüzden özellikle gelişmiş ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmişlerdir.

Grafik 1.1'ye bakıldığında Dünya genelinde yenilenebilir enerji ile ilgili kurulu gücü göstermektedir. Dünyanın bu konuda geldiği yer 3,000 GW'tır. Özellikle güneş ve rüzgâr enerjisindeki teknolojinin gelişimi ile birlikte bu iki kaynağa ait elektrik üretim tesislerinin sayısının arttığı anlaşılmaktadır.

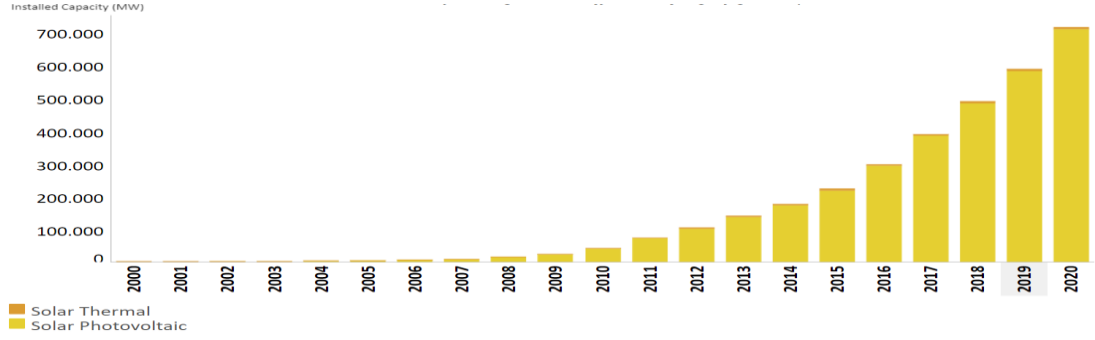


Grafik 1.1 Dünya yenilenebilir enerji kurulu gücü [4]

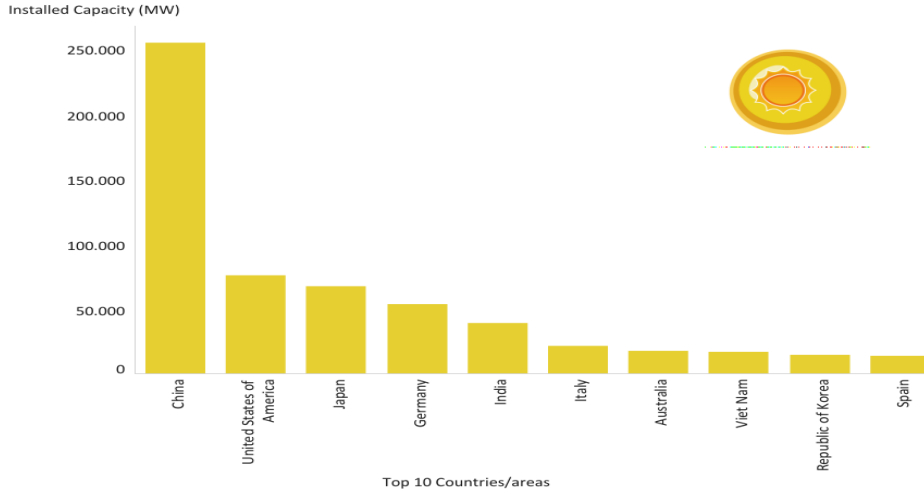
Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en çok göze çarpan ve elektrik üretiminde kullanılan ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretiminde kullanılması sırasında hidroelektrik ve rüzgar santrallerinden sonra gelen üçüncü enerji çeşidi güneş enerjisidir.

Güneş enerjisi kaynağı güneş olan ısı ve parlak ışıktır. Bu ısı ve parlaklık güneşin içindeki hidrojenlerin helyuma dönüşmesi sırasında çıkan ışınım enerjisidir. Dünyaya gelen güneş ışınımının şiddeti  $1100 \text{ W/m}^2$ 'dir. Bu ışınım gücü gelişen teknolojilerle birlikte kullanılıp insanlığın kullanabileceği enerji haline dönüştürülür. Bu teknolojilerin en başında şüphesiz güneş panelleri adı verilen özel ekipmanlar gelmektedir. Güneş panelleri sayesinde daha fazla enerjinin üretilmesi hedeflenmektedir. Bir yandan ar-ge çalışmalarıyla bu sektördeki teknolojinin çitası yukarı çıkartılmaya çalışılırken diğer yandan yeni çıkan ürünlerin elektrik üretiminde kullanılarak ticarileştirilmesi yapılmaktadır. Grafik 1.2'de dünyada güneş enerjisinden elektrik elde edilmesi ile ilgili kurulu gücü gösterilmiştir. Grafik 1.2'den

de anlaşıldığı üzere solar termal sistemlerin fotovoltaik sistemlere göre payı çok azdır. Dünyada güneş enerjisinin kurulu gücünün %95'inden fazlasını fotovoltaik paneller oluşturmaktadır.

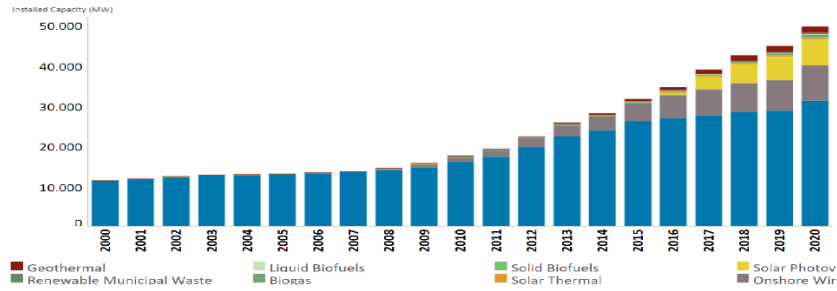


Grafik 1.2 Dünya güneş enerjisinden elektrik üretimi kurulu gücü [4]



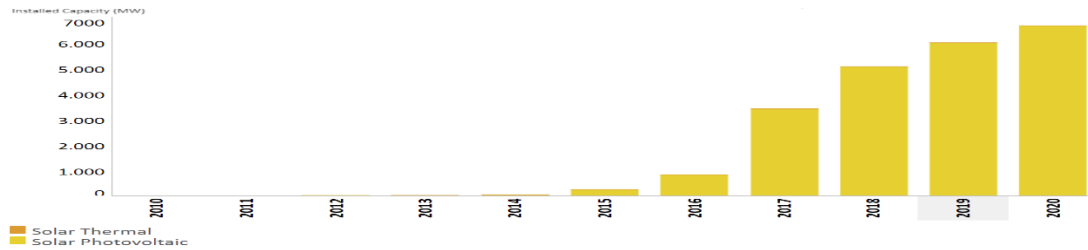
Grafik 1.3 Güneş Enerjisi kurulu gücü bakımından dünyanın en büyük ilk on ülkesi [4]

Ülkemizde yenilenebilir enerjinin genel durumu incelendiğinde, yenilenebilir enerji kurulu gücün tablo 1.4'te göre 50 GW'tan fazladır. Bu kurulu gücün büyük bir kısmı hidroelektrik santrallerinde üretilen enerjidir. 2020 yılı itibariyle kurulu güçte en fazla olan enerjiler; hidroelektrik enerji, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve jeotermal enerjidir.



Grafik 1.4 Türkiye'nin 2020 yılı yenilenebilir enerji gücü [4]

Ülkemizde, ancak 2016 yılından sonra güneş enerjisinden elektrik üretiminde bir başlangıç gözlenmektedir. Ülkemizde, fotovoltaik enerji sistemlerinin kullanılması, Avrupa ülkelerine göre, daha sonra gerçekleşmiştir. Fakat Dünya Güneş Atlası'na bakıldığında ülkemizin güneş enerji potansiyeli çoğu Avrupa ülkesinin potansiyelinden daha yüksektir. Ülkemizin kurulu güneş enerjisi gücü tablo 1.5'te gösterilmiştir. Üretilen enerji 7 GW mertebesine ulaşmıştır.



Grafik 1.5 Türkiye'nin güneş enerjisi kurulu gücü [4]

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de güneş enerjisine olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Genel bir durum ele alınacak olursa son yıllarda ülkemizde güneş enerjisi ile doğrudan ya da dolaylı olarak açılan firma sayısının arttığı görülmektedir. Bu firmaların faaliyet alanlarına bakıldığında güneş enerjisinin kullanılması sırasında ihtiyaç duyulan ekipmanların üretilmesi, enerji üreten firmalar ve bu firmalara bakım onarım hizmeti veren firmalar olduğu görülür. Özellikle bu konuda faaliyet gösteren firmaların sayısı son yıllarda yukarıya doğru bir ivme kazanmıştır.

Son yıllarda güneş enerjisinde elektrik elde edilmesi konusunda devlet desteklerinin artması dışarıdan getirilen solar sistem teçhizat ve ekipmanların artık ülkemizde üretilmeye başlandığı görülmektedir.

Güneş enerjisinden iki farklı yoldan yararlanılır. Bunlar; güneş enerjisinden ısıtma yoluyla faydalanma ve güneş enerjisinden elektrik üretimidir.

Tarihsel kaynaklar incelendiğinde güneş enerjisi ile ısınmanın ve/veya ısıtmanın tarihinin çok eskilere dayandığı görülebilmektedir. Neredeyse ilk insandan bu yana, insanoğlunun, Güneşi bir ısıtıcı olarak kullandığı söylenebilir. Teknolojinin gelişimiyle, güneş ısıtıcılarının yapısı da değişmiş ve değişik düzenekler oluşmuştur. Kullanılan teknolojik düzenekler, gerek duyulan ısının yoğunluğuna göre basit düzeneklerden karmaşık olanlarına kadar değişebilmektedir. Bununla beraber, genel olarak, güneş kolektörleri yöntemiyle toplanan ısı enerjisinin bir akışkan yoluyla gereken ortama aktarılması esasına dayanan yöntemle çalışmaktadırlar [5].

Çok yüksek sıcaklıklara gerek duymayan sistemler için düzlemsel veya vakumlu tip güneş kolektörleri kullanılabilir. Bununla birlikte, pasif ısıtma teknolojileri gibi değişik uygulamaların da günlük yaşamda örnekleri görülebilmektedir.

### **1.1.Güneş ve Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları**

Dünyamıza ısı ve ışık veren güneş, güneş sisteminin tam merkezinde yer alan bir yıldızdır. Güneş, %71 hidrojen %26,5 helyum ve %2,5 diğer gazlardan oluşmaktadır. Verdiği ısı ve ışığın kaynağı içinde gerçekleşen hidrojenin helyuma dönüşmesindeki reaksiyondan kaynaklanır. Güneş, dünyadan 1.300,000 kat büyük ve dünyanın hacminin 330,000 katıdır. Güneşin dünyaya olan mesafesi 149.597 kilometredir. Güneşin yaydığı ışınım gücü dünyada  $1100 \text{ watt/m}^2$ 'dir. Bu güneş sabiti olarak bilinir.

Güneş enerjisinden faydalanma oldukça eskidir. İnsanoğlu önceleri güneşin enerjisinden ısınma yoluyla faydalanmıştır. Ancak günümüzde hem ısıtma hem de elektrik üretimi söz konusudur. Aşağıda güneşin hem ısınma yoluyla faydalanıldığı

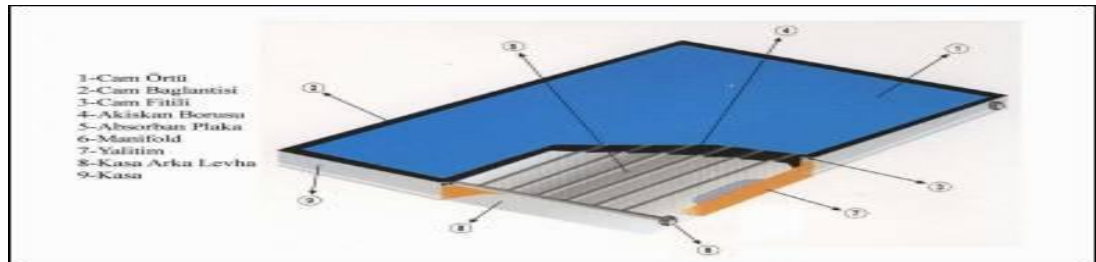
alanları hem de güneş enerjisinden elektrik elde edilme yöntemleri alt başlıklar halinde açıklanmıştır.

### 1.1.1.Güneş Enerjisinden Isı Yönünden Faydalanma

#### 1.1.1.1.Düzlemsel güneş kolektörleri

Düzlemsel güneş kolektörler güneş enerjisini toplayan ve bir akışkana ısı olarak aktaran çeşitli tür ve biçimlerdeki aygıtlardır. Düzlemsel güneş kolektörleri en çok evlerde sıcak su ısıtma amacıyla kullanılmaktadır. Ulaştıkları sıcaklık 70 °C civarındadır. Düzlemsel güneş kolektörleri, üstten başlayarak alta doğru, camdan yapılan üst örtü, cam ile absorban plaka arasında yeterince boşluk, metal veya plastik absorban plaka, arka ve yan yalıtım ve bu bölümleri içine alan bir kasadan oluşmaktadır. Absorban plakanın yüzeyi genellikle koyu renkte olup bazen seçiciliği artıran bir madde ile kaplanmaktadır. Kolektörler, yörenin enlemine bağlı olarak Güneşi maksimum alacak şekilde, sabit bir açıyla yerleştirilmektedirler.

Güneş kolektörlü sistemler tabii dolaşimli ve pompalı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu sistemler, ev içi kullanımlarının yanı sıra, yüzme havuzları ve sanayi tesisleri için de sıcak su sağlanmasında kullanılabilmektedirler. Bu konudaki ar-ge çalışmaları süregitmekle birlikte, bu sistemler tamamen ticarileşmiş durumdadırlar. Dünya genelinde kurulu bulunan güneş kolektörü alanının 30 milyon m<sup>2</sup>'nin üzerinde olduğu düşünülmektedir. En fazla güneş kolektörü bulunan ülkeler arasında Çin, ABD, Japonya, Avustralya, İsrail ve Yunanistan gösterilmektedir. Türkiye de, 7,5 milyon m<sup>2</sup> kurulu kolektör alanı ile dünyanın önde gelen ülkelerinden biri konumundadır [6]. Resim 1,1'de bir güneş kolektörü görülmektedir.



Resim 1.1 Düzlemsel Güneş Kolektörleri [6]

### 1.1.1.2.Güneş havuzları

Güneş havuzları, tuzlu suyun kaynama noktasının altındaki sıcaklıklarda Güneş enerjisinin toplanmasını ve depolanmasını sağlayan üniteler olarak tanımlanmaktadır. Havuzun birim alanından kazanılan enerji, aynı depolama sıcaklığında çalışan düzlemsel kolektörle kıyaslandığı zaman, havuzun düşük maliyet ve büyük ısı depolama kapasitesi gibi avantajları belirtilmektedir. Bununla birlikte havuzların çatılar üzerine ve yüksek eğimli yerlere kurulamaması gibi kısıtlamaları da bulunmaktadır. Küçük havuzların toprağa karşı izole edilememesi de verimi düşürür.

Bu uygulamada yaklaşık 5-6 metre derinlikteki suyla kaplı havuzun siyah renkli zemini, güneş ışınımını yakalayarak 90 °C sıcaklıkta sıcak su elde edilmesinde kullanılabilir. Bu sıcak su, bir eşanjöre pompalanarak, doğrudan ısı olarak yararlanılabileceği gibi, Rankin çevrimi ile elektrik üretiminde de kullanılabilir.

Güneş havuzlarında genellikle kullanılan tuzlar, sodyum klorür ve magnezyum klorürdür. Güneş havuzları işletme kolaylıkları ve imalatındaki kolay teknolojiden dolayı kullanışlı olarak nitelendirilir. Biyolojik organizmaların kontrolü ve havuzun temizliği genellikle yüzme havuzuna benzer. Güneş havuzundan ısıyı çekmek için akışkanı pompalamak gerekirken, toplama ve depolama tamamen pasiftir. Yüksek buharlaşma olan bölgelerde, havuzun su seviyesinin eksilmesini önlemek için havuz, su ile takviye edilir. Bu amaç için deniz suyu ve birçok göl suları, düşük tuz içerdiğinden kullanılabilir. [7].



Resim 1.2 Güneş havuzu [8]

**1.1.1.3.Vakumlu güneş kolektörleri**

Bu tip sistemlerde, vakumlu cam borular ve gerekirse absorban yüzeyine gelen enerjiyi artırmak için metal ya da cam yansıtıcılar kullanılmaktadır. Vakumlu güneş kolektörlerinin çıkışları daha yüksek sıcaklıkta olduğu için (100-120 °C), düzlemsel kolektörlerin kullanıldığı yerlerde ve ayrıca yiyecek dondurma, bina soğutma gibi daha geniş bir yelpazede kullanılabilirler. [9].



Resim 1.3 Vakumlu güneş kolektörleri [10]

**1.1.1.4.Güneş mimarisi**

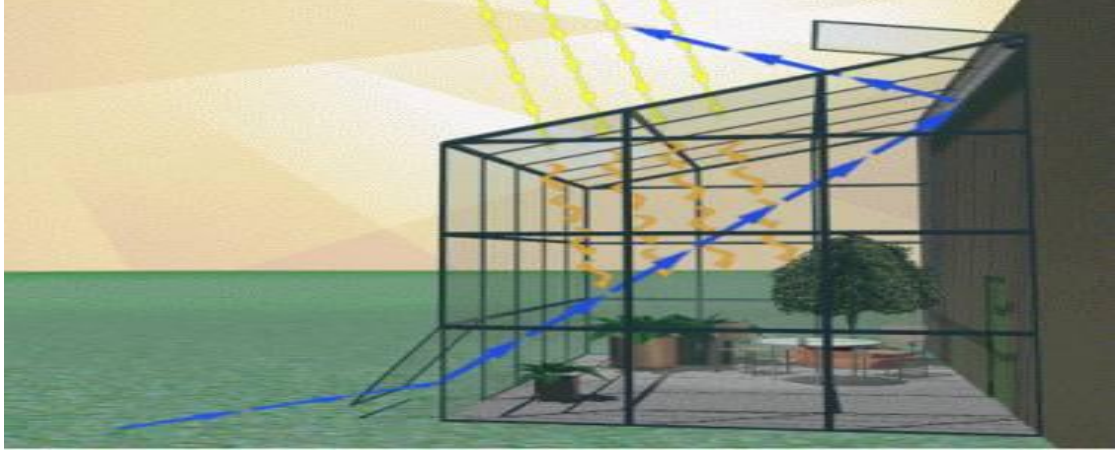
Güneş mimarisi, yüzyıllardır kullanılan bir uygulama çeşididir. Toplumların yaşadıkları bölgenin meteorolojik yapısına göre konutlarını şekillendirdikleri ve güneşin enerjisinden en verimli şekilde yararlanmaya çalıştıkları bilinmektedir. Konutların yapı ve tasarımında yapılan değişikliklerle ısıtma, aydınlatma ve soğutma gibi uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Pasif olarak doğal ısı transfer mekanizmasıyla güneş enerjisi toplanabilir, depolanabilir ve hatta bu depolanan enerjinin dağıtımı yapılabilir. Ayrıca güneş kolektörleri, güneş panelleri gibi aktif güneş enerjisi donanımları da güneş mimarisinin örnekleri arasında yer alabilmektedir [11].

**1.1.1.5.Ürün kurutma ve seralar**

Bilindiği üzere, Güneş, Dünyamıza enerji olarak birçok değişik şekilde etki edebilmektedir. Bunlardan birisi de güneşin ısıtma etkisidir. Güneşin ısıtma etkisi



sayesinde özellikle kırsal yörelerde toplanan ürünler kurutulabilmekte ve saklanabilmektedir. Resim 1,5'te pasif ısıtma örneği görülmektedir [12].



Resim 1.4 Pasif ısıtma örneği [12]

### **1.1.2.Güneş Enerjisinden Elektrik Edilmesi Yöntemleri**

Yukarıda değinilen konular güneş enerjisinden ısıtma yolu le faydalanma yöntemleri idi. Bundan sonra güneş enerjisinden elektrik elde etme yöntemlerine değinilecektir.

#### **1.1.2.1.Yoğunlaştırıcı Sistemlerle Elektrik Üretimi**

Güneş enerjisi uygulamalarında düzlemsel güneş kolektör sistemlerinin yanı sıra daha yüksek sıcaklıklara ulaşmak için yoğunlaştırıcı kolektör sistemleri kullanılmaktadır. Düzlemsel güneş kolektörleri için kullanılan kavram ve tarifler, yoğunlaştırıcı kolektörler için de geçerlidir. Bununla birlikte yoğunlaştırıcı kolektör teknolojisinin daha karmaşık olması nedeniyle, yeni tariflerin yapılması gereklidir.

Kolektörlerde güneş enerjisinin düştüğü net alana "açıklık alanı" ve güneş enerjisinin yutularak ısı enerjisine dönüştürüldüğü yüzeye "alıcı yüzey" denir. Düzlemsel güneş kolektörlerinde açıklık alanı ile alıcı yüzey alanı birbirine eşittir. Yoğunlaştırıcı kolektörlerde ise güneş enerjisi, alıcı yüzeye gelmeden önce optik olarak yoğunlaştırıldığı için alıcı yüzey, açıklık alanından daha küçük olmaktadır.

Güneş enerjisini yoğunlaştıran kolektörlerde en önemli kavramlardan biri "yoğunlaştırma oranıdır. Yoğunlaştırma oranı, açıklık alanının alıcı yüzey alanına oranı şeklinde tarif edilir. Yoğunlaştırma oranı, iki boyutlu yoğunlaştırıcılarda (parabolik oluk) 300, üç boyutlu yoğunlaştırıcılarda (parabolik çanak) 40000 mertebesindedir. Bu tür kolektörlerde güneş enerjisi, yansıtıcı veya ışın kırıcı yüzeyler yardımı ile doğrusal ya da noktasal olarak yoğunlaştırılabilir.

#### **1.1.2.2.Doğrusal Yoğunlaştırıcılar (Parabolik oluk kolektörler)**

Parabolik oluk kolektörler, doğrusal yoğunlaştırma yapan ve kesiti parabolik olan dizilerden oluşur. Oluğun iç kısmındaki yansıtıcı yüzeyler, güneş enerjisini parabolün odağında yer alan ve boydan boya uzanan siyah bir absorban boruya yansıtır. Orta derecede sıcaklık isteyen uygulamalarda kullanılan bu sistemlerde, güneş enerjisi bir doğru üzerinde yoğunlaştırılacağından tek boyutlu hareket ile güneşi izlemek yeterlidir.



Resim 1.5 Parabolik Oluk Kolektörler [13]

#### **1.1.2.3.Parabolik çanak sistemler**

İki eksenle güneşi takip ederek, güneş ışınlarını odaklama merkezinde yoğunlaştıran sistemlerdir. Termal enerji, odak merkezinde uygun bir sıvıya aktarılarak, yüksek sıcaklık ve basınçta buhar elde etmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu sistemlerde 600-700 °C sıcaklıklar elde edilebilmektedir.



Resim 1.6 Parabolik Çanak Sistem [13]

#### 1.1.2.4.Merkezi alıcılı sistemler

Merkezi alıcı sistemde, tek tek odaklama yapan ve heliostat adı verilen düzlemsel aynalardan oluşan bir alan, güneş enerjisini, bir kule üzerine monte edilmiş ve alıcı denilen ısı eşanjörüne yansıtır. Bu yöntem çok sayıda hareketli aynalar sisteminden ibaret olup merkezi toplayıcı güneş kulesi vasıtasıyla güneşten sağlanan enerjiyle sıcaklık 350 °C'den 6000 °C'ye kadar ulaşabilir. Bu sistemlerde ısı taşıyıcı akışkan olarak havada kullanılabilir, bu durumda sıcaklık 800 °C'ye kadar yükselebilir. Ancak günümüze kadar tesis edilmiş olan merkezi alıcı sistemlerin işletilmesi sonucunda, büyük sorunlar ortaya çıkmıştır.



Resim 1.7 Merkez Alıcılı Sistemler [8]

#### 1.1.2.5.Güneş bacaları

Bu yöntemde güneşin ısı etkisinden dolayı oluşan hava hareketinden yararlanılarak elektrik üretilmektedir. Güneş bacalarının çalışması hidroelektrik santrallere benzetilebilir. Her ikisinde elektrik üretimini türbinler sayesinde gerçekleştirmektedir.

Hidroelektrik santrallerinde türbinler su yardımıyla dönerken; güneş bacalarında türbinler hava akışı sayesinde dönmektedir. İkisinde de elektrik üretim maliyetleri, bakım onarım maliyetleri ve işletim maliyetleri düşüktür.

Güneşe maruz bırakılan şeffaf malzemeyle kaplı bir yapının içindeki toprak ve hava daha çok ısınmaktadır. Isınan hava yükseleceği için, çatı eğimli yapıp, hava akışı hayli yüksek bir bacaya yönlendirilirse baca içinde yüksek hızda hava akışı oluşmaktadır. Baca girişine yerleştirilebilecek bir yatay rüzgâr türbini ile bu akış elektriğe çevrilebilmektedir. Bu tip uygulamalar için değişik güçlerde tesisler kurulabilmektedir. Ancak, dünya üzerinde deneysel bir kaç sistem dışında uygulaması bulunmamaktadır [14].

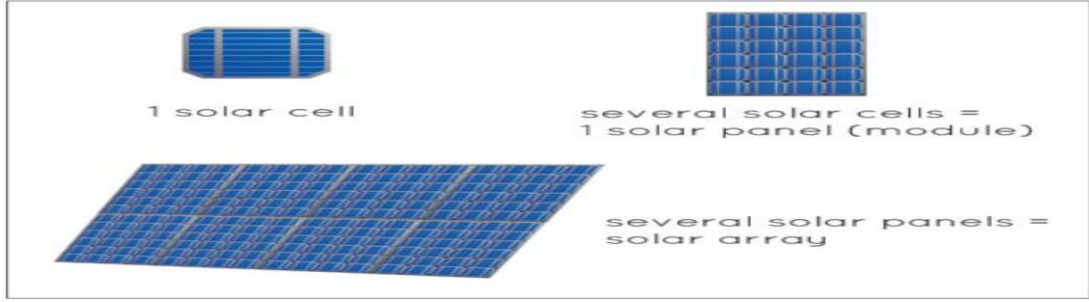


Resim 1.8 Güneş bacası (Adıyaman Üniversitesi Kampüsü [15])

#### **1.1.2.6.Fotovoltaik Enerji sistemleri**

Dünyada, güneş enerjisinden elektrik elde edilmesinde bir diğer farklı yol olan ve sektörel anlamda da en hızlı büyüyen yöntem, fotovoltaik hücreler yardımıyla elektrik üretimidir.

Fotovoltaik (pv) teknolojiler, daha çok güneş hücreleri olarak bilinir ve güneş ışığından gelen enerjiyi emen ve yarı iletken malzemeler yoluyla elektrik enerjisine dönüştüren cihazları kullanarak güç üretir. Güneş pillerinin birbirleri ile bağlanarak daha büyük güç üreten güneş modüllerini ya da diğer adıyla güneş panellerini oluştururlar. [16]. Fotovoltaik modüllerin birleştirilmesinde ise diziler meydana gelir.



Resim 1.9 fotovoltaik diziyi meydana getiren parçalar [17]

Fotovoltaik panellerin kullanım alanları teknolojinin geliştirilmesiyle hemen hemen enerjiye ihtiyaç duyulan her alanda kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Fotovoltaik panellerin en çok kullanıldığı alan özellikle ticari anlamda elektrik enerjisi üretimi işindedir. Dünya genelinde özellikle kurulmuş güneş enerji santrallerinin sayısı her geçen gün artmaktadır. Tam da bu noktada, bu çalışma, güneş enerji santrallerinin tasarımı kurulumu işletilmesi ve bakım onarım gibi faaliyetleri kapsayan bir çalışmanın olması hem sektördeki insanların hem yatırımcının hem de konuya ilgili olanların faydalanabileceği bir kaynak olması amacıyla yazılmıştır. Buna ek olarak güneş enerjisi santrallerinin fizibilitesinden, yasal mevzuatına, kurulumundan bakım onarımına kadar her türlü ilgili konuya detaylıca değinilmeye çalışılmıştır.

### 1.1.3.Dünyada ve Türkiye’de Fotovoltaik Enerjinin Genel Durumu

Fotovoltaik yöntem ile elektrik üretiminde son on yılda dünya genelinde ciddi bir artış gözlemlenmiştir. Tablo 1 incelendiğinde dünyada kurulu solar gücün en fazla Çin’de ve ardından Amerika’da olduğu görülür. Ülkemizde 2019 yılında kurulu solar güc 5996 MW’tır. Bu artışın temel nedenleri: güneşin bir enerji kaynağı olarak maliyetinin olmaması, her yerde ve her zaman bulunabilir olması ve fotovoltaik panellerin artık ticarileşecek kadar maliyetinin azalması ile birlikte ilk yatırım maliyetlerinin azalması olarak sıralanabilir.

Tablo 1.2 Dünyada bölgesel düzeyde indirgenmiş ülkelerin son 10 yıldaki kurulu solar gücü [18]

Cumulative installed solar power\*

Megawatts	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2019	2019	2019	2019
												Growth rate per annum		Share	
												2019	2019	2019	2019
Canada	95	221	497	766	1210	1843	2517	2661	2913	3100	<b>3310</b>	6.8%	57.5%	0.6%	
Mexico	25	29	39	60	82	116	173	389	674	2555	<b>4440</b>	73.8%	63.3%	0.9%	
US	1188	2040	3382	7328	13045	17651	23442	34716	43115	53184	<b>62298</b>	17.1%	53.1%	10.6%	
<b>Total North America</b>	<b>1308</b>	<b>2290</b>	<b>3918</b>	<b>8154</b>	<b>14337</b>	<b>19610</b>	<b>26132</b>	<b>37786</b>	<b>46702</b>	<b>58339</b>	<b>70048</b>	<b>19.1%</b>	<b>53.6%</b>	<b>11.9%</b>	
Brazil	-	1	1	2	5	16	27	84	1104	2078	<b>2485</b>	19.6%	-	0.4%	
Chile	-	-	-	2	15	221	576	1125	1809	2137	<b>2648</b>	23.9%	-	0.5%	
Honduras	4	4	5	5	5	5	393	414	454	485	<b>511</b>	5.4%	65.2%	0.1%	
<b>Other S. &amp; Cent. America</b>	<b>59</b>	<b>112</b>	<b>163</b>	<b>315</b>	<b>429</b>	<b>684</b>	<b>964</b>	<b>1190</b>	<b>1669</b>	<b>2419</b>	<b>3107</b>	<b>28.4%</b>	<b>52.6%</b>	<b>0.5%</b>	
<b>Total S. &amp; Cent. America</b>	<b>62</b>	<b>117</b>	<b>169</b>	<b>324</b>	<b>455</b>	<b>926</b>	<b>1960</b>	<b>2814</b>	<b>5036</b>	<b>7119</b>	<b>8750</b>	<b>22.9%</b>	<b>68.5%</b>	<b>1.5%</b>	
Austria	49	89	174	338	626	785	937	1096	1269	1438	<b>1578</b>	9.7%	47.2%	0.3%	
Belgium	386	1007	1979	2647	2902	3015	3132	3327	3616	3987	<b>4531</b>	13.6%	51.6%	0.8%	
Bulgaria	2	25	154	1013	1020	1026	1029	1028	1036	1033	<b>1065</b>	3.1%	-	0.2%	
Czech Republic	465	1727	1913	2022	2064	2067	2075	2075	2070	2075	<b>2070</b>	-0.2%	48.4%	0.4%	
Denmark	5	7	17	402	571	607	782	851	906	998	<b>1079</b>	8.1%	78.7%	0.2%	
France	277	1044	3004	4359	5277	6034	7138	7702	8610	9617	<b>10571</b>	9.9%	61.4%	1.8%	
Germany	10567	18007	25917	34077	36711	37900	39224	40679	42293	45181	<b>48962</b>	8.4%	22.1%	8.3%	
Greece	46	202	612	1536	2579	2596	2604	2604	2606	2652	<b>2763</b>	4.2%	71.6%	0.5%	
Hungary	1	2	4	12	35	89	172	235	344	726	<b>1277</b>	75.9%	93.2%	0.2%	
Italy	1264	3597	13136	16790	18190	18800	18907	19289	19688	20114	<b>20906</b>	3.9%	45.2%	3.6%	
Netherlands	69	90	149	369	746	1048	1515	2049	2903	4522	<b>6725</b>	48.7%	54.3%	1.1%	
Poland	-	-	1	1	2	27	108	187	287	562	<b>1306</b>	131.3%	-	0.2%	
Portugal	115	134	172	238	296	415	447	513	579	667	<b>828</b>	24.0%	27.5%	0.1%	
Romania	1	1	1	41	761	1293	1372	1374	1386		<b>1386</b>		159.5%	0.2%	
Spain	3706	4605	5432	6569	6994	7001	7008	7017	7027	7088	<b>11065</b>	56.6%	7.5%	1.9%	
Sweden	9	11	12	24	43	60	104	153	402	492	<b>644</b>	30.9%	51.0%	0.1%	
Switzerland	79	125	223	437	756	1061	1394	1664	1906	2171	<b>2524</b>	16.3%	48.1%	0.4%	
Turkey	5	6	7	12	19	41	250	834	3422	5064	<b>5996</b>	18.4%	105.9%	1.0%	
Ukraine	-	3	188	372	748	819	955	1200	2003		<b>5936</b>	196.4%	-	1.0%	
United Kingdom	27	95	1000	1763	2937	5528	9601	11930	12782	13118	<b>13398</b>	2.1%	88.6%	2.3%	
<b>Other Europe</b>	<b>57</b>	<b>113</b>	<b>678</b>	<b>852</b>	<b>1055</b>	<b>1213</b>	<b>1323</b>	<b>1453</b>	<b>1708</b>	<b>1791</b>	<b>2064</b>	<b>15.2%</b>	<b>44.0%</b>	<b>0.4%</b>	
<b>Total Europe</b>	<b>17128</b>	<b>30888</b>	<b>54772</b>	<b>73862</b>	<b>84334</b>	<b>91227</b>	<b>99916</b>	<b>107006</b>	<b>116028</b>	<b>126663</b>	<b>146666</b>	<b>15.8%</b>	<b>28.2%</b>	<b>25.0%</b>	
Russian Federation	-	-	-	1	1	5	61	76	275	536	<b>1064</b>	98.7%	-	0.2%	
<b>Other CIS</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>9</b>	<b>83</b>	<b>86</b>	<b>93</b>	<b>265</b>	<b>633</b>	<b>138.8%</b>	<b>119.9%</b>	<b>0.1%</b>	
<b>Total CIS</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>14</b>	<b>125</b>	<b>162</b>	<b>366</b>	<b>600</b>	<b>1697</b>	<b>112.0%</b>	<b>145.7%</b>	<b>0.3%</b>	
Israel	31	76	196	243	426	676	772	872	975	1076	<b>1438</b>	33.6%	61.3%	0.2%	
Jordan	-	-	-	1	1	1	29	296	471	829	<b>998</b>	20.5%	-	0.2%	
United Arab Emirates	10	11	13	14	130	134	135	142	355	594	<b>1883</b>	217.2%	-	0.3%	
<b>Other Middle East</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>18</b>	<b>61</b>	<b>95</b>	<b>168</b>	<b>277</b>	<b>480</b>	<b>813</b>	<b>1263</b>	<b>55.3%</b>	<b>89.0%</b>	<b>0.2%</b>	
<b>Total Middle East</b>	<b>42</b>	<b>91</b>	<b>215</b>	<b>275</b>	<b>618</b>	<b>905</b>	<b>1103</b>	<b>1589</b>	<b>2281</b>	<b>3312</b>	<b>5583</b>	<b>66.6%</b>	<b>76.0%</b>	<b>1.0%</b>	
Algeria	-	25	25	25	25	26	74	244	425	448	<b>448</b>	-	-	0.1%	
Egypt	1	15	35	35	35	35	45	68	189	771	<b>1668</b>	116.3%	96.5%	0.3%	
Morocco	13	34	34	35	35	40	200	202	205	735	<b>736</b>		49.9%	0.1%	
South Africa	-	2	6	11	262	1163	1352	2174	2486	2959	<b>3061</b>	3.4%	-	0.5%	
<b>Other Africa</b>	<b>50</b>	<b>74</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>209</b>	<b>288</b>	<b>386</b>	<b>514</b>	<b>746</b>	<b>1055</b>	<b>1324</b>	<b>25.5%</b>	<b>38.8%</b>	<b>0.2%</b>	
<b>Total Africa</b>	<b>65</b>	<b>150</b>	<b>200</b>	<b>257</b>	<b>566</b>	<b>1552</b>	<b>2056</b>	<b>3202</b>	<b>4052</b>	<b>5968</b>	<b>7236</b>	<b>21.3%</b>	<b>60.2%</b>	<b>1.2%</b>	
Australia	332	1091	2473	3799	4568	5287	5946	6689	7354	11305	<b>15930</b>	40.9%	63.1%	2.7%	
China	415	1022	3108	6719	17759	28399	43549	77809	130822	175237	<b>205493</b>	17.3%	92.3%	35.0%	
India	28	39	65	566	926	3673	5593	9879	18152	27355	<b>35060</b>	26.2%	101.3%	6.0%	
Japan	2611	3599	4890	6430	12107	19334	28615	38438	44226	55500	<b>61840</b>	11.4%	38.5%	10.5%	
Malaysia	1	1	1	25	97	166	229	279	370	536	<b>882</b>	64.6%	99.4%	0.2%	
Pakistan	4	9	19	46	101	165	230	546	1018	1169	<b>1329</b>	13.7%	100.7%	0.2%	
Philippines	1	1	1	1	1	23	166	775	897	897	<b>922</b>	2.8%	97.4%	0.2%	
South Korea	524	650	730	1024	1555	2481	3615	4502	5835	7130	<b>10505</b>	47.3%	34.9%	1.8%	
Taiwan	10	22	118	223	392	620	842	1245	1768	2738	<b>4150</b>	51.5%	85.7%	0.7%	
Thailand	37	49	79	382	829	1304	1425	2451	2702	2967	<b>2987</b>	0.7%	57.1%	0.5%	
<b>Other Asia Pacific</b>	<b>73</b>	<b>111</b>	<b>612</b>	<b>589</b>	<b>811</b>	<b>330</b>	<b>486</b>	<b>665</b>	<b>939</b>	<b>1205</b>	<b>7343</b>	<b>509.3%</b>	<b>38.2%</b>	<b>1.3%</b>	
<b>Total Asia Pacific</b>	<b>4034</b>	<b>6594</b>	<b>12095</b>	<b>19803</b>	<b>39145</b>	<b>61781</b>	<b>90606</b>	<b>143277</b>	<b>214084</b>	<b>286040</b>	<b>346441</b>	<b>21.1%</b>	<b>58.1%</b>	<b>59.1%</b>	
<b>Total World</b>	<b>22639</b>	<b>40129</b>	<b>71370</b>	<b>102676</b>	<b>139458</b>	<b>176015</b>	<b>221988</b>	<b>295816</b>	<b>388550</b>	<b>488741</b>	<b>586421</b>	<b>20.0%</b>	<b>42.3%</b>	<b>100.0%</b>	

\*End of year.  
†Less than 0.05%.  
‡Less than 0.05%.

Sources: Includes IRENA, BNEF, IHS.

Ülkemizde özellikle 2015 yılından sonra devlet desteklerinin ve teşvikinin çıkmasıyla birlikte fotovoltaik santrallerin sayısında ciddi artışlar olmuştur. TEİAŞ 2019 verilerine göre, ülkemizde 2015 yılında başlayan güneş enerjisinden elektrik

üretimi 4 yıl içerisinde 5 GW'ın üstüne çıkmıştır. Yine TEİAŞ'ın Nisan 2021 tarihi itibarıyla yayınladığı aylık rapora göre ülkemizdeki fotovoltaik güneş enerjisi santralının kurulu güç olarak değeri toplam 7.065,4 MW, kurulu santral sayısı 7837 adettir.

Santral sayısı gün geçtikçe artarken, elbette ki her sanayi tesisinde olduğu gibi bu santrallerin kurulumundan ömrünün sonuna kadar geçen süredeki bakım onarım gibi konular önem kazanmakta ve ekonomik olarak ciddi maliyetler oluşturmaktadır. Çünkü güneş enerjisinden elektrik üretme işi yüksek teknolojiye dayanmakta olup bu teknoloji ile ilgili yapılması planlanan her türlü faaliyette kesinlikle detaylı araştırmalar yapıp daha sonra uygun bir karar verilmelidir. Nitekim Adıyaman İli içerisinde örnek bazı fotovoltaik güneş enerji santrallerinin durumuna bakıldığında, projelendirilme aşamasında gerekli mühendislik hesaplamalarının sağlıklı olduğu ve santralin kurulumunda gerekli önemin verilmemiş olduğu ve buna ek olarak işletme aşamasında da bakım onarım gibi faaliyetlerin yok denecek kadar az yapıldığı yatırımcılardan alınan bilgilere ve yapılan santral ziyaretlerine göre tespit edilmiştir. Bunun sonucunda bu santrallerin büyük bir kısmında mikro ve makro düzeydeki hatalara ve arızalara neden olduğu ve bu problemlerin panel veriminde düşüşe neden olduğu, bu düşüşlerinde domino taşı etkisi gibi diğer sağlam olan panellerin ve diğer ekipmanların veriminin düşmesine ve bozulmalarına neden olduğu görüldü. Tüm bu hata ve arızaların santralin ürettiği elektriğin ciddi boyutlarda azalmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Bu da hem ülke ekonomisi hem de yatırımcı açısından önemli ölçüde maddi kayıp anlamına gelmektedir. Ayrıca santrallerde yeterince bakım onarım faaliyetlerinin olmayışı tesisin başa amotisman süresinin uzaması anlamına gelir.

Güneş enerjisinden elektrik üretim miktarı göz önünde bulundurulduğunda yukarıda bahsi geçen konuların ne kadar büyük maddi kayıplara neden olduğu anlaşılmaktadır. Bu çalışma hem yatırımcıya hem de faydalanmak isteyen bir kaynak olması amacıyla hazırlanmıştır.

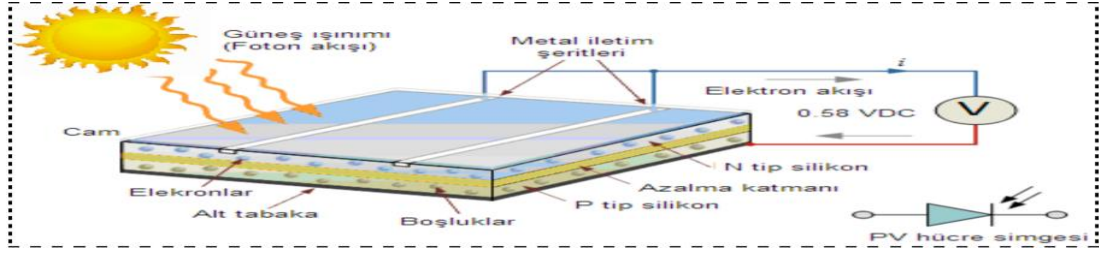
## 2. FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ

### 2.1.Güneş Pilleri ve Tarihçesi

Güneş pili ya da güneş hücresi, güneş ışınlarını doğrudan elektriğe dönüştürebilen sistemlerdir. Ancak güneş pili tanımını iyi anlamak için fotovoltaik tanımını da bilmeniz gerekir. Fotovoltaik kelimesi, Yunancada ışık anlamına gelen *photo* ve gerilim anlamına gelen *voltaic* kelimelerinin birleşiminden oluşur. Güneş pillerinin diğer isimleri ise fotovoltaik piller, fotovoltaik hücreler ve güneş hücreleridir.

Güneş pilleri (fotovoltaik piller), yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş pillerinin alanları genellikle 100 cm<sup>2</sup> civarında, kalınlıkları ise 0,2-0,4 mm arasındadır. Güneş pilleri fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar. Yani üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Pilin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir. Güneş pilinde mekanik olarak elektrik üreten cihazların aksine hareketli parçalar olmadığından teorik ömürleri sonsuzdur. Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir. Bu yapıya güneş modülü ya da fotovoltaik panel adı verilir. Güç talebine bağlı olarak modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak bir kaç mW'tan MW'lara kadar sistem oluşturulur. Oluşturulan bu sistemlere fotovoltaik enerji sistemleri denir. Güneş pili Güneş pillerinin verimi, yapımında kullanılan malzemenin cinsine göre değişiklik göstermektedir. Verimler; Tek kristalli ticari amaçla kullanılan yapılarda % 25 civarında iken çok kristalli yapılarda % 20 civarında olup, silisyumlu yapılarda %5-8 arasında değişmektedir [19].





Resim 2.1 Fotovoltaik (pv) hücrenin çalışma ilkesi [20]

Güneş pilleri birbirine seri ve paralel bağlanarak güneş paneli veya fotovoltaik modülü meydana getirir. Güneş panelleri de birbirine seri ve paralel bağlanarak güneş santrali veya güneş tarlası denilen büyük enerji tesislerini oluşturur.

Güneş pili yapımında kullanılan malzemeler şunlardır;

Kristal silisyum,

Amorf silisyum,

Galyum arsenik,

Kadmiyum tellür,

Bakır indiyum diselenid,

Optik yoğunlaştırıcı hücreler.

Fotonlar, güneş ışığının yarı iletken yüzeye çarpması ile atomun içindeki elektronların serbest kalması ile oluşur. Fotonlar, güneş ışınım spektrumundaki her dalga boyu için farklı miktarda enerji içerir.

Fotonlar güneş pili hücresi üzerine geldiği zaman, bir kısmı aynen yansıtılır, bir kısmı güneş hücresi tarafından soğurulur ve bir kısmı da güneş hücresinin içinden geçer. Güneş pili tarafından soğurulan fotonlar elektrik üretir.

Güneş ışığı, düşük enerjili kızılötesi fotonlarla yüksek enerjili mor ötesi fotonları ve arada kalan görülebilir ışık fotonlarının birleşimiyle farklı renklerde oluşur. Herhangi bir fotovoltaik malzeme, kendine özgü bant genişliğine bağlı olarak, bu enerjilerin dar bir aralığına cevap verir.

Bant genişliği, atoma bağlı elektron dolu değerlik bandından elektronların serbest hareket ettiği boş iletim bandına bir elektron gönderilmesi için gerekli enerji miktarına denir. Birimi ise elektron volt olup eV sembolü ile gösterilir.

Eğer yarı iletken n-tipi elektriksel negatif bir malzeme oluşturmak için katkı atomlarına bağlanırsa, onun zaten iletim bandında birkaç tane elektronu vardır. Bunun tam tersi ise p-tipi pozitif bir malzeme, değerlik bandında elektronları veya boşlukları bırakmak için bağlanır.

N ve P tipi arasındaki bağlantı, bir voltaj beslemesi oluşturur. Gelen fotonlar absorbe edildiğinde, elektronlar eklemnin pozitif tarafına, boşluklar ise negatif tarafa doğru hareket eder. Bu hareket neticesinde elektrik akımı meydana gelir.

Bir fotovoltaik hücreye gelen fotonların oluşturduğu eklemnin pozitif tarafına doğru yönelen serbest elektronlar elektrik akımı oluşturur.

Bant genişliğinden daha düşük enerjili fotonlar absorbe edilmeden uzaklaşır. Bant genişliğinden daha yüksek enerjili fotonlar absorbe edilir. Fotonların çoğunun enerjisi ısıya dönüşür. Farklı bant genişliğinde ve farklı tipte malzemeler üst üste dizilerek yüksek enerjili fotonları yakalamak için kullanılabilir.

Güneş pili çeşitleri, 4 ana teknolojidendir oluşmaktadır. Bunlar: kristal yapı teknolojisi, ince film teknolojisi, birleşik teknoloji ve nano teknolojidir.

Güneş enerjisi bildiğimiz kadarıyla 60 yıldan daha eski olmasa da, güneş piline yol açan keşifler yaklaşık 200 yıl önce başladı. Işığın ve iletkenliğin özellikleri hakkındaki bu keşifler, güneş enerjisini bugünkü haline getirmiştir.

Güneş pillerinin nasıl ortaya çıktığını daha iyi anlamanıza yardımcı olmak için, bunların ortaya çıkmasına yol açan keşiflerin ve icatların kısa bir tarihçesi aşağıya çıkartılmıştır.

1839: Fotovoltaik etkinin keşfi: Fransız bilim adamı Edmond Becquerel, fotovoltaik etkiyi ilk kez 1839'da keşfetti. Bu süreç ışık bir malzeme tarafından emildiğinde ve elektrik voltajı oluşturduğunda meydana gelir. Çoğu modern güneş pili, bu etkiye ulaşmak için silikon kristalleri kullanır.

1873-1876:Selenium'un foto iletkenliği Keşfetmesi: İngiliz elektrik mühendisi Willoughby Smith, selenyumun foto iletkenliğini keşfetmiştir, yani selenyumun, ışığı emdiğinde elektriksel olarak iletken hale geldiğini gözlemlemiştir. Üç yıl sonra, William Grylls Adams ve Richard Evans Day, selenyumun ısı olmadan ışıktan veya kolayca parçalanabilen hareketli parçalardan elektrik üretebileceğini keşfetmiştir. Bu keşif, güneş enerjisinin hasat

edilmesi ve bakımının kolay olduğunu ve kömürle çalışan santraller gibi diğer enerji kaynaklarından daha az parça gerektirdiğini kanıtlamıştır.

1883: İlk güneş pili: Charles Fritts, selenyumun ince bir altın tabakasıyla kaplanmasıyla ilk güneş pilini keşfetmiştir. Bu hücre, % 1-2'lik bir verimle enerji dönüşüm oranına ulaşmıştır. Çoğu modern güneş pili, % 15-20'lik bir verimlikle çalışır.

1887: Foto elektrik etkinin gözlemlenmesi: Alman fizikçi Heinrich Hertz ilk olarak ışığın elektronları katı bir yüzeyden (genellikle metal) kurtarmak için güç oluşturmak için kullanıldığı fotoelektrik etkiyi gözlemledi. Beklenen sonuçların aksine Hertz, bu işlemin daha yoğun görünür ışık yerine ultraviyole ışığa maruz kaldığında daha fazla güç ürettiğini bulmuştur. Albert Einstein daha sonra bu etkiyi daha fazla açıkladığı için Nobel Ödülü'nü almıştır.

1953–1956: Silikon güneş pillerinin ticari olarak üretilmesi: Bell Laboratuvarları'ndaki fizikçiler, silikonun selenyumdan daha verimli olduğunu keşfedip, ilk pratik güneş pilini üretmiştir. Bu keşif, elektrikli ekipmanı çalıştırabilen güneş pillerinin yolunu açmıştır.

1958: Uzayda Güneş enerjisinin kullanılması: Güneş enerjisinin verimliliğini ve ticarileştirilmesini iyileştirmek için yıllarca süren deneylerden sonra, güneş enerjisinin uzay keşif ekipmanlarına güç sağlamak için kullanılmasında ABD hükümetinin desteğini kazanmıştır. Bu uygulama, maliyetleri düşürmek ve üretimi artırmak için daha fazla araştırmanın yolunu önünü açmıştır.

1970'ler: Araştırma maliyetleri düşmesi: 1970'lerde petrol fiyatları yükseldikçe güneş enerjisine olan talep artmıştır. Exxon Şirketi, düşük kaliteli silikon ve daha ucuz malzemelerden yapılmış güneş pilleri yaparak, maliyetleri watt başına 100 \$ 'dan watt başına sadece 20-40 \$ 'a çekmek için yapılan araştırmaları finanse etmiştir. Federal hükümet ayrıca güneş enerjisi lehine yasa tasarısı onayladıktan sonra 1977'de Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı'nı (NREL) kurmuştur.

1982: İlk güneş parklarının oluşturulması: Arco solar, 1982'de Kaliforniya Heper'de ilk güneş enerjisi parkı olan bir güneş enerji santrali inşa etmiştir. Bu park, tam kapasite çalışırken saatte 1 MW veya 1.000 KW üretmiştir. 1983'te Arco Solar, Kaliforniya, Carrizo Plains'de ikinci bir güneş parkı inşa etmiştir.

1995: Geri çekilebilir güneş panelleri yapılması: Güneş enerjisi araştırmaları diğer ticari endüstrilere yayılmaya devam etmiştir: Thomas Faludy, 1995 yılında entegre güneş hücreli geri çekilebilir bir tente için patent başvurusunda bulunmuştur. Bu, güneş pillerinin eğlence araçlarında kullanıldığı ilk zamanlardan biri olmuştur.

1994–1999: Fotovoltaik dönüşümün yeni seviyelere ulaşması: 1994 yılında Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı galyum indiyum fosfit ve galyum arsenitten % 30 dönüşüm verimliliğini aşan yeni bir güneş pili geliştirdi. Yüzyılın sonunda laboratuvar, topladığı güneş ışığının % 32'sini kullanılabilir enerjiye dönüştüren ince film güneş pilleri keşfetmiştir.

2005: Güneş panelleri popüler olması: güneş pillerinin teknolojisi ve verimliliği arttıkça, konut tipi güneş enerjisi daha popüler hale geldi. Güneş panelleri 2005 yılında piyasaya çıkmaya başladı ve her yeni yılda daha yaygın hale geldi.

2015: Esnek baskılı güneş panelleri piyasaya çıkması: Kâğıt kadar ince olan güneş pilleri artık endüstriyel bir yazıcı kullanılarak üretilebilir ve kiremit gibi ürünler haline getirilebilir hal almıştır. % 20 güç dönüştürme verimliliğine sahip olan esnek güneş panelleri metrekare başına 50 watt'a kadar enerji üretebilmiştir. Bu da konutlarda güneş enerjisi maliyetini her zamankinden daha düşük hale getirmiştir. Şeritler esnek ve üretilmesi ucuz olduğundan, bu aynı zamanda gelişmekte olan ülkelerdeki 1,3 milyar insan için de oldukça sevindirici bir durum olmuştur.

2016: Güneşsiz güneş enerjisi keşfedilmesi: Kaliforniya Üniversitesi, Berkeley ve Avustralya Ulusal Üniversitesi'nden bir araştırma ekibi, nano materyalin yeni özelliklerini keşfetmiştir Bu özelliklerden biri manyetik hiperbolik dağılım olarak adlandırılır, bu da malzemenin ısıtıldığında parladığı anlamına gelmektedir. Termofotovoltaik hücrelerle birleştirilirse, güneş ışığına ihtiyaç duymadan ısıyı elektrige dönüştürebilir hale gelmiştir [21].

## **2.2. Fotovoltaik Enerji Sistemi Çeşitleri**

Fotovoltaik sistem çeşitleri içerdiği konfigürasyonlara göre 3 ana gruba ayrılır. Bunlar; Şebekeye bağlı (on-grid) sistemler, şebekeden bağımsız sistemlere hibrit sistemlerdir. Bu üç sistem birbirlerinden içerdiği ekipmanlar vasıtasıyla ayrılır. Aşağıda bu sistemler detaylı olarak incelenmiştir.

### **2.2.1. Şebekeye Bağlı (On-Grid) Fotovoltaik Sistemler**

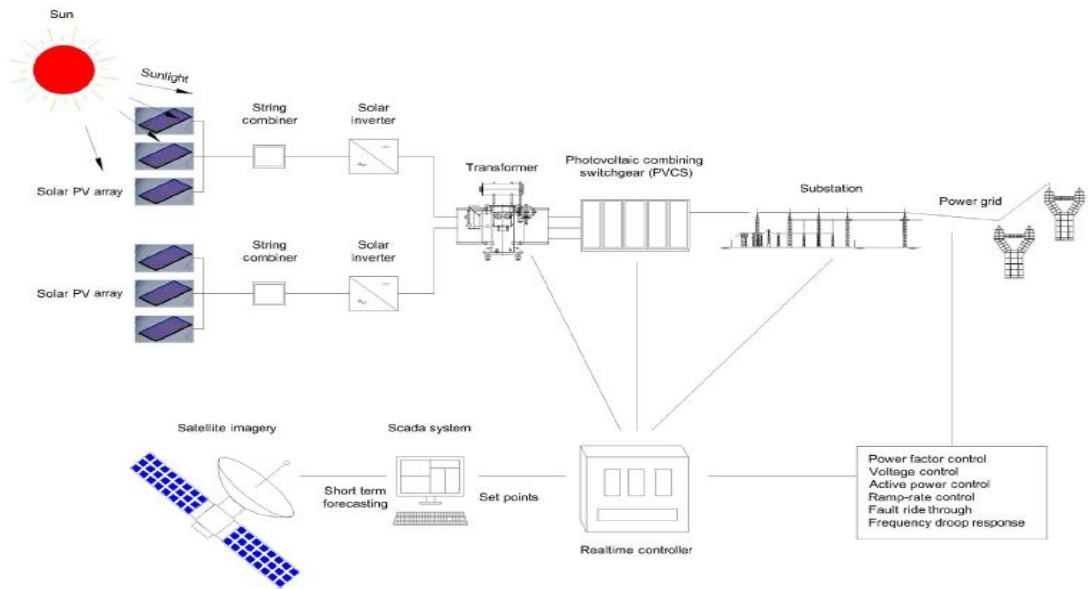
Şebekeye bağlı bir güneş fotovoltaik (pv) sistemi, pv modülleri kullanarak elektrik üreten ve ürettiği elektriği şebekede elektrik olması koşulu ile şebekeye veren sistemlerdir. Şebekeye bağlı bir güneş pv güç sisteminin temel bileşenleri, güneş pv modülleri, inverterler, bağlantı kutusu (DC/AC), güç koşullandırma ünitesi, AC dağıtım panosu ve transformatör, şalt, şalt sahasıdır, ve diğer kontrol ve izolasyon cihazlarıdır. Bu sistemler, küçük konut, ticari veya endüstriyel ile büyük ölçekli, MW düzeyinde şebekeye bağlı güneş pv güç sistemleri olabilir. Şebekeye bağlı bir sistemde, gündüz saatlerinde üretilen güneş enerjisi, herhangi bir enerji depolamadan şebekeye verilir. Son zamanlarda, depolamalı çözümleri, büyük MW<sub>p</sub> seviyesinde zemine monte veya çatıdaki şebekeye bağlı güneş pv güç sistemleri ile entegre edilmiştir.

2019 itibariyle, dünya çapında toplam 580 GW<sub>p</sub> güneş pv güç sistemi kurulmuştur [22], bunun büyük payı yere monte edilmiş şebekeye bağlı güneş pv enerji santrallerindedir.

Şebekeye bağlı bir sistemin şeması resim 2.2'de verilmiştir. Solar modüller, gerekli voltajı elde etmek için bir dizi oluşturacak şekilde seri olarak bağlanır. Dizilerin sayısı bir dizi birleştirici kutusunda birleştirilir ve paralel hale getirilir. Bu tür dizi birleştirici kutularının çıkışları, invertörün girişine bağlanır. İnverterin MPPT'si (Maksimum güç izleme noktası) güneş enerjisi dizisinin maksimum gücünü izler ve inverter DC gücünü üç fazlı AC gücüne dönüştürür. İnverter çıkış gerilimi, ihtiyaca göre bir evirici görev trafosu kullanılarak gerekli gerilim olan 11 veya 22 veya 33 kV'a yükseltilir. Transformatörlerin çıkışları bir şalt cihazında birleştirilir ve

paralel hale getirilir. Koruma sistemli hücre, gücü şalt sahasına iletir ve buradan enerji iletim hattına boşaltılır. Tesisin elektriksel parametrelerinin ve hava durumu detaylarının izlenmesi ve uzaktan izleme olanağının sağlanması için SCADA sistemi bulunacaktır. Toprak tabanlı, şebekeye bağlı bir güneş pv güç sisteminin geniş sistem bileşenleri aşağıdaki gibidir [23]:

1. Solar pv Modülleri
2. DC Dizi Bağlantı Kutusu (Dize Birleştirici Kutusu)
3. İnverter/Güç Düzenleme Ünitesi
4. AC Dağıtım Panosu
5. DC ve AC Kablosu, Yüksek Gerilim kablosu
6. Konstrüksiyon Sistemi
7. Tek Eksen İzleyici (isteğe bağlı)
8. Transformatör
9. İzolatörler
10. Alçak Gerilim Panosu
11. Şalt/Yüksek Gerilim Panosu



Resim 2.2 Şebekeye bağlı fotovoltaik bir sisteminin şeması [22]

Şebekeye bağlı güneş enerjisi santralleri genel olarak üç bölüme ayrılmıştır.

### 2.2.1.1.Zemine Monteli Şebekeye Bağlı Güneş Enerjisi Santralleri

Yere monteli sistemlere aynı zamanda arazi tipi sistemler de denilir. Bu sistemler genellikle ya ticari amaçlı elektrik satışı için kurulmuş ya da tarımsal sulama gibi sistemlerde kullanılır.



Resim 2.3 1MWzemine monteli güneş enerji santrali [24]

#### **2.2.1.2.Çatıya Monte, Şebekeye Bağlı Güneş Enerjisi Santralleri**

Çatıya monteli güneş enerji santralleri, özellikle sanayi kuruluşların tarafından tercih edilmektedir. Son yıllarda organize sanayi bölgelerinde kurulumları yaygınlaşmıştır. Bu sistemlerin güç olarak büyüklükleri genellikle 1 MW altındadır.



Resim 2.4 Çatı güneş enerji santrali [25]

#### **2.2.1.3.Binaya entegre şebekeye bağlı fotovoltaik güneş enerji santralleri**

Son yıllarda güneş panellerinden elde edilen verimin artmasıyla, birlikte binaya entegre fotovoltaik güneş enerji sistemleri yaygınlaşmaya başlamıştır. Güneş

panellerinin verimi arttıkça binaya entegreli sistemleri yaygınlaşması daha hızlanacaktır.



Resim 2.5 Binaya entegre fotovoltaik güneş enerjisi sistemi 110 KW [26]

### 2.2.2. Şebekeden Bağımsız (Off-Grid) Fotovoltaik Sistemler

Şebekeden bağımsız (Off-Grid) sistemler stand alone sistemler olarak da bilinir. Bu sistemler, solar pv modülleri tarafından üretilen elektrik enerjisini aküler gibi depolama cihazlarında depolar. Akülerde depolanan enerji, güç kaynağı talebi olduğunda veya güneş ışığının olmadığı gece saatlerinde kullanılabilir. Daha doğrusu, bu sistemler elektrik kaynağı olmayan, enerji sıkıntısı olan veya şebekeye erişimin olmadığı uzak yerlerde kullanılır.

Şebekeden bağımsız bir güneş pv sistemi, şebeke gücünün bulunmadığı durumlarda elektrik sağlar. Solar pv modülleri, diziler oluşturmak için seri olarak bağlanır ve bu diziler, dizinin yakınında bulunan bir dizi birleştirici kutusunda (dizi bağlantı kutusu) birleştirilir. Pv panellerden üretilen DC elektrik, dizi birleştirici kutusundan ve oradan da inverter sistemindeki bir kontrolöre akar. Kontrolör, akülere giden DC gücünü düzenler. İnverter, DC gücünü aküden AC elektriğe dönüştürür ve AC elektriği ana elektrik panosuna gönderir. Ana elektrik panosundan, ana panoya bağlanan yükler tarafından elektrik kullanılır. Bu sistemler güneş enerjisinin akülerde depolanmasını sağlar, ardından şebeke kesintisi sırasında veya gerektiğinde yüklere güç sağlanabilir.

Resim 2.6, şebekeden bağımsız bir güneş pv sisteminin şemasını vermektedir. Tipik bir güneş pv bağımsız veya şebekeden bağımsız bir güneş pv sisteminin geniş güneş enerjisi sistemi bileşenleri aşağıdaki gibidir [23]:

- Pv modülü
- Solar şarj kontrolörü
- Akü



- Şebekeden bağımsız/hibrit inverter
- Konstrüksiyon sistemi
- Dizi bağlantı kutusu
- AC dağıtım panosu
- DC ve AC kabloları



Resim 2.6 Şebekeden bağımsız pv sistem şeması [27]

Aşağıda, çeşitli şebekeden bağımsız güneş pv güç sistemlerine ilişkin en yaygın 2 sistem verilmiştir

### 2.2.2.1.Fotovoltaik Tarımsal Sulama Sistemleri

Fotovoltaik tarımsal sulama sistemleri, şebekeden bağımsız fotovoltaik enerji sistemleri arasında en yaygın olanlardan biridir. Bu sistemler elektriğin olmadığı yerlerde tarımsal amaçlı kullanılacak suya erişimin sağlanması için kullanılır. Kurulacak sistemin büyüklüğü kullanılacak pompanın büyüklüğüne bağlıdır. Bu sistemler sayesinde hem suya erişim sağlanırken hem de sulu tarım yapıldığı için ekonomiye de katkı sunmaktadır.



Resim 2.7 Fotovoltaik tarımsal sulama sistemi [28]

**2.2.2.2.Fotovoltaik Ev Güç Sistemi**

Son yıllarda insanların, vakit buldukça, şehir yaşamının terk edip, elektriğin olmadığı bağ evi denilen yapılarda yaşaması, fotovoltaik ev sistemlerine olan talebi arttırmıştır. Bu sistemlerde kullanılan ekipmanlar, güneş panelleri inverterler, şarj kontrol cihazları ve akülerdir.



Resim 2.8 Fotovoltaik ev sistemi [29]

**2.2.3.Fotovoltaik Hibrit Sistemler**

Fotovoltaik güneş panellerinin ve küçük rüzgâr türbinlerinin iklim koşullarına göre elektrik enerjisi üretimi değişir. Bu yüzden tek başlarına çok zengin bir enerji üretim kaynağı değildirler. Sistemleri birleştirme (rüzgâr ve güneş) daha çok elektrik enerjisi üretiminde etkilidir. Bu çözüme hibrit sistem denir. Birçok yenilenebilir enerji uzmanına göre, küçük bir hibrit elektrik sistemi, rüzgâr ve fotovoltaik güneş teknolojileri tek sistem üzerinden birleştirildiğinde pek çok avantaj sunar.

Güneş ışınlarının en kuvvetli ve parlak olduğu yaz aylarında rüzgâr hızı düşüktür. Daha az güneş enerjisinin bulunduğu kış aylarında ise rüzgâr hızı yüksektir. Rüzgâr ve güneş enerjisi sistemlerinde verimli enerji üretimi, günün ve yılın değişik zamanlarında farklılık gösterir. Diğer bir deyişle rüzgâr hızının yetersiz veya verimsiz olduğu günlerde alternatif olarak güneş enerjisinden istifade edilebilir. Böylece sistemde enerji üretiminin devamlılığı sağlanmış olur. Hibrit rüzgâr ve

güneş enerjisi sistemlerin olumsuz tarafı ise; güneş panelleri veya rüzgâr türbinlerinin tekil kullanıldığı sistemlerin maliyetinden biraz daha fazla olmasıdır. Fakat aradaki bu fark çok azdır, çünkü kullanılan bileşenler rüzgâr ve güneş enerjisi sistemleriyle (akü, inverter, kontrol ve güvenlik birimleri gibi temel bileşenler) aynıdır. Unutulmamalıdır ki hibrit sistem kullanımı sayesinde yıl boyunca yeterli enerji sağlanacaktır. Hibrit sistemler birden fazla enerji kaynağının kullanıldığı sistemlerdir. Hibrit uygulamalar, özellikle yaz kış enerji gereksiminin olduğu ve kesintiye bir an bile yer verilmemesi ya da kurulan güneş ya da rüzgâr enerji sisteminin desteklenmesi gereken sistemlerde uygulanır. Hibrit uygulamalarda güneş, rüzgâr ve dizel enerji kaynaklarının ikili veya üçlü olarak kullanımı mümkündür. Sistem güneş enerjisi veya rüzgâr enerjisinin çalışma sistemiyle tamamen aynıdır. Sadece sisteme ek yapılmaktadır. Her hangi bir zorluğu yoktur. Proje gereksinimlerine göre şebekeye paralel (on-grid) veya şebekeden bağımsız (off-grid) olarak tasarlanabilir [30].



Resim 2.9 Fotovoltaik hibrit sistemler

### 3. FOTOVOLTAİK SİSTEM DONANIMLARI

#### 3.1. Güneş Panelleri

Güneş (fotovoltaik) panelleri, güneşten gelen farklı dalga boylarındaki elektromanyetik dalgaların görünür ışık spektrumundaki bölümünü elektrik enerjisine dönüşümünü sağlayan yarı iletken madde olan fotovoltaik hücrelerden oluşmaktadır.

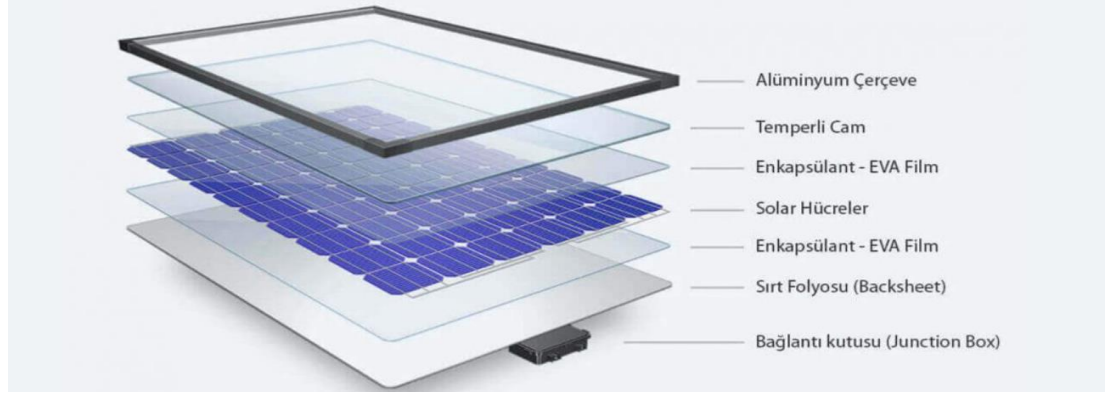
Güneş panelleri yarı iletken bir diyot görevi görerek güneş ışığının sağladığı enerjiyi iç fotoelektrik reaksiyonla, doğrudan DC akıma dönüştürmeye yarar. Yarı iletken bu maddelerin güneş paneli olarak görev alabilmeleri için ise, p ya da n tipi olarak katkılandırılmaları gerekmektedir [31]

Piyasada birçok fotovoltaik panel çeşidi mevcuttur. Fakat bu çalışmada en yaygın olan üç fotovoltaik panel çeşidi incelenmiştir. Bunlar monokristal paneller, polikristal paneller ve ince film panellerdir.



Resim 3.1 Farklı güneş paneli çeşitleri

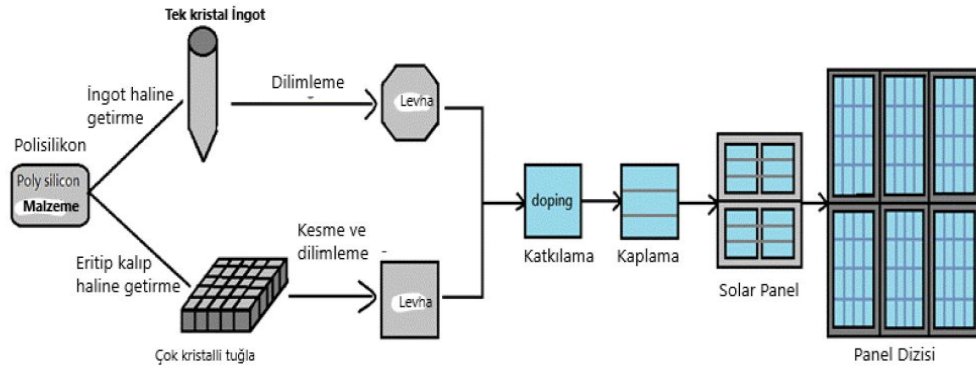
Resim 3.2’de bir fotovoltaik güneş panelinin hangi parçalardan oluştuğu görülebilir. En üstte alüminyum çerçeve ile panelin bütünlüğünün ve dış darbelerle karşı korunmasını sağlayan alüminyum çerçeve, çerçevenin hemen altında temperli cam olduğu ve bu temperli camın altında Eva filmlerin olduğu görülmektedir. Solar hücreler iki EVA film arasına monte edilmişlerdir. En arka kısımda ise bağlantı kutusu mevcuttur.



Resim 3.2 Fotovoltaik panelin bileşenleri [32]

### 3.1.1. Monokristal Paneller

“Bu hücreler, saf silikonun “Czochralski çekmesi” ve “yüzer bölge” yöntemi denilen iki kristal oluşum yöntemiyle elde edilirler” [20]. Czochralski adında Polonyalı bir kimyager tarafından bulunan yöntemde öncelikle saf silikon ergitilerek sıvı hale getirilmesi sağlanır. Ardından dönebilen ve hareket edebilen kristal bir çubuk ergitilmiş silikon potasına daldırılarak silikonun çubuk üzerinde katılaşması beklenir. Sonrasında üzerinde silikon katılaşan çubuk belirlenmiş bir dönme ve çekme hızında silikon potasından çekilir. Sonuçta yüksek saflıkta bir silikon külçe elde edilir. Bu aşamadan sonra en zor bölüm olan silindirik külçe halinde olan saf silikonun dilimlenmesi aşaması gelir. Dilimleme işlemi bittikten sonra ortaya çıkan wafer adı verilen bu parçalar hücrelerin gövdesini oluşturup bu parçalara toplamailetkenleri eklenerek hücre elde edilir.



Resim 3.3 Kristal panel Üretim Yöntemi [31]

Silikon bazlı fotovoltaik panellerin verimliliği yapılarındaki silikonun saflık oranı ile ilgilidir. Silikon ne kadar saf ise panelin verimi o kadar yüksek olur. Fraunhofer Enstitüsünün tarafından 2018 yılına ait yapılan bir çalışmanın raporunda deneysel ortamda monokristal hücrenin verimi maksimum %26,7 olarak bulunmuştur Piyasada kullanılan ürünler ise % 19-%21 seviyelerinde verimliliğe sahiptirler [33].

Monokristal güneş panelleri, polikristal güneş panellerine nazaran görünüm olarak daha homojen ve koyu bir renkte görünmelerinin nedeni içerisindeki silikonun saflık derecesinin yüksek olması ile ilişkilidir. Mono kristal güneş hücrelerinin bu özelliği ışığı daha fazla emmesine olanak sağlar. Yani düşük ışık seviyelerinde de verimli bir çalışmaya sahiptirler. Verimlerinin yüksek olması, özellikle alan probleminin olduğu yerlerde, yani daha küçük bir alandan daha fazla enerji elde edilmesi istenirse bu hücre tipi daha uygundur Ancak üretim sürecinin zorlu olması sebebiyle maliyet açısından en yüksek seviyede olan panel çeşididir. Bu belirgin dezavantaja rağmen monokristal teknolojisinde gözlemlenen maliyet düşümü, monokristali daha önemli bir hale getirecektir.



Resim 3.4 Monokristal Panel

### **3.1.2. Polikristal Paneller**

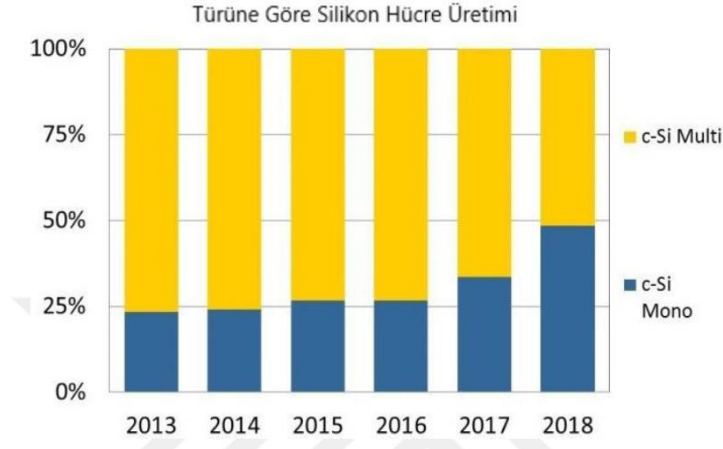
Czochralski yönteminin oldukça maliyetli ve zorlu bir metot olması nedeniyle, üretimde maliyetinin düşürülmesi amacıyla geliştirilen polikristal panel çeşididir [34]. Polikristal güneş panellerinin üretiminde, monokristal güneş

panellerinin üretimindeki gibi silindir külçe oluşturma ve onun zorlu ve hassas kesim süreçleri yoktur. Polikristal güneş panellerinde poli silikonu direkt bir şekilde ergitilip, külçeler haline getirildikten sonra kesilme işlemine tabi tutulur. Bu yönüyle üretim maliyeti polikristal güneş panellerinde daha düşüktür. Ayrıca polikristal direkt bir şekilde ergitildiği için, polikristal güneş panelleri yapısı itibarı ile homojen görünmezler, bu homojen olmayan yapı ile birlikte maalesef panellerdeki verimin düşüşü de söz konusudur. Dolayısıyla polikristal güneş panellerinin verimi monokristal güneş panellerine göre daha düşüktür. Ancak Fraunhofer'in 2018 yılında yayımlanan 'Photovoltaics' raporuna göre, polikristal modüllerin verimliliği laboratuvar şartlarında %22,3'e kadar yükseltilmiştir. Günümüzde piyasada kullanılan ürünlerin verimleri ise çoğunlukla %16-%19 aralığındadır.

Uygulamada en çok tercih edilen güneş paneli tipi polikristal güneş panelleridir. Bunun en büyük nedeni ise, polikristal panellerin üretiminin daha kolay olmasıdır. Piyasada en fazla bulunan ve tercih edilen modül tipi polikristaldir. Bunun en önemli nedeni ise düşük maliyeti ve monokristale oranla daha kolay üretilmesidir. Fakat polikristal güneş panellerinin ısı tolerans hassasiyeti monokristal kadar olmadığı için verimin daha düşük olması söz konusudur. Bu durum ise panellerin ömürleri boyunca daha düşük bir verimle çalışacağı anlamına gelmektedir. Dış görünüş anlamında monokristal güneş panelleri polikristal güneş panellerine göre daha estetik durduklarını söylemek gerekir.



Resim 3.5 polikristal panel



Grafik 3.1 Monokristal ve polikristal hücre kullanım yüzdeleri (2013-2018) [35]

Grafik 3.1’de görüldüğü gibi yıllar geçtikçe gelişen teknoloji ile beraber polikristal panele göre daha yüksek verimliliğe sahip olan monokristal panelin üretim maliyetleri düşüştükçe kullanımını giderek artmaktadır.

### 3.1.3. İnce Film Paneller

Bu panel tipinde bir kaplama malzemesi bulunmakta ve bu malzemenin üzerine bir ve ya birden fazla ince filminden oluşan katmanlar yerleştirilerek üretilirler. İnce film hücreleri mikro metre kalınlıkta ince ancak yüzeyleri oldukça geniş pillerdir. Üretiminde kullanılan malzemeler çok ince olduklarından daha az bir malzeme ile daha geniş alanlara kurulum yapılabilir ve bu yönüyle avantajlıdır. Ayrıca esnek ve hafif olması bu tip pillerin ya da panellerin uygulanmasındaki yüzey ya da yer sorununu minimize etmektedir. Üretimlerinin öteki güneş panellerine nazaran oldukça kolay olması yönüyle de avantajlıdır. Sıcaklık katsayısının düşük olması nedeniyle ince film güneş panelleri, monokristal ve poli kristal güneş panellerine göre yüksek sıcaklıkta daha verimli çalışırlar.

Bugünün teknolojisi ile ince film güneş panellerinin verimi maalesef istenilen düzeylerin hala çok altındadır. Dolayısıyla bu teknolojideki beklenti, üretimindeki kolaylığa, verimin yükseltilmesi eklenerek uygulamada daha fazla tercih edilecek bir noktaya gelmektir. Başlıca ince film hücreler; amorf silikon, kadmiyum tellürid ve bakır diselenid indiyum tipi hücrelerdir.





Resim 3.6 İnce film güneş paneli

Genel olarak yukarıda incelen 3 farklı fotovoltaik panellerin tek başına ulaştıkları maksimum güçleri vardır. Günümüz piyasasına bakıldığında ticari anlamda kullanılacak bir panellerin güç değerleri 450 Watt ile 45 Watt arasında değişmektedir. Fotovoltaik güneş enerji santrali uygulamalarına bakıldığında kullanılan panellerin monokristal ya da polikristal olduğu görülmektedir. İnce film panellerin verimindeki düşüklükten dolayı büyük santral uygulamalarında tercih edilmediği görülür.

Panellerden daha fazla enerji elde edilmesi için panellerin seri bağlanması gerekmektedir. Bunun için bir panelin artı (+) ucu diğer panelin negatif (-) ucuna bağlanır. Bu bağlantıların yapılması için panelde bağlantı kutusu (junction box) olarak adlandırılan aparatlar mevcuttur. Her panelin arka kısmına mont edilmiş bir şekilde fabrikasyon olarak üretilirler.



Resim 3.7 Bağlantı Kutusu (junction box)

Güneş panelinin, bağlantı kutusuna bağlı kablolar vasıtası ile diğer panellere bağlanması için bir ucu bağlantı kutusunda diğer ucuna da konektör olan 2 adet kablo

mevcuttur. Bu kablolar panellerin birbirleri ile seri bağlanması görevini yapar. Bu kabloların bir ucu erkek konektör iken diğer ucu dişi konektördür.



Resim 3.8 Erkek ve dişi konektörler

Güneş panellerinin teknik olarak özelliklerinin daha iyi anlaşılması için panelin arka kısmında panele montajlı bir şekilde üretici firma tarafından panelin teknik özelliklerini detaylı olarak gösteren ve alıcının bilgilendirilmesi amacıyla konulmuş bir etiket mevcuttur. İlerleyen bölümlerde panel seçiminde panelin arka etiketi detaylı olarak incelenmiştir.

### 3.2. İnverterler

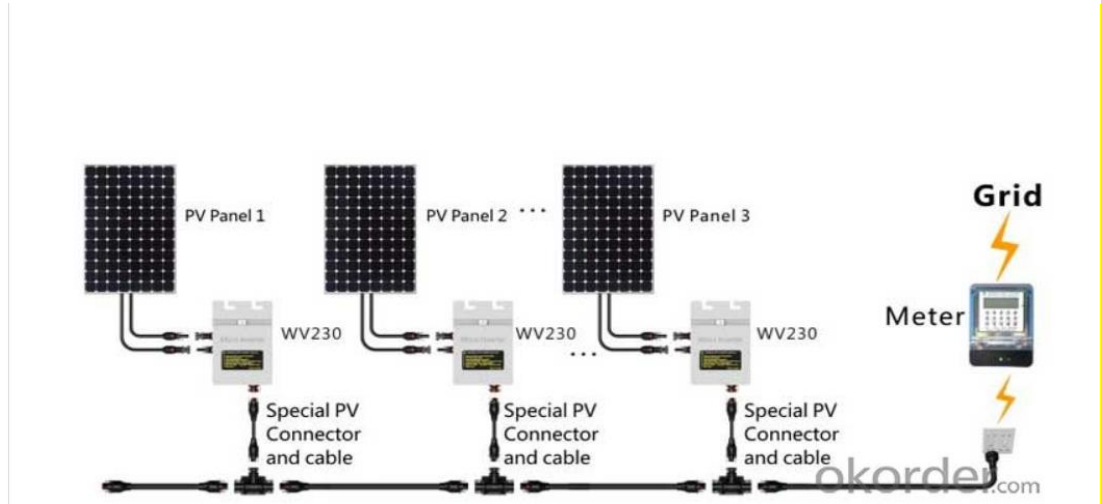
İnverterler güneş paneli ile beraber sistemin kalbini oluşturup, panellerin ürettiği DC akımı AC akıma çeviren ekipmanlardır. Bu işlemi yaparken, fotovoltaik sistemin şebeke ile uyumlu bir şekilde çalışması çok önemlidir. Ana kontrol merkezi işlevi gören inverterler, DC kısımda akım ile voltajı takip ederken, AC kısımda da şebeke voltajını, frekansını ve verilen AC akımı takip ederek, optimum çalışma için kullanılmaktadırlar.

İnverterler kullanım tiplerine göre bazı çeşitlere ayrılmıştır. Öncelikle, inverterleri şebeke bağlantısı olup olmama özelliğine göre değerlendirmek gerekmektedir. Şebekeden ayrı sistemlerde kullanılan inverterler de amaç, depolanmış DC akımı AC akıma çevirmek olduğundan akü çıkışları da mevcuttur. Şebeke bağlantılı inverterler ise, üretilen enerjiyi anında tüketmek üzerine kurulu inverterler olduğundan, çoğunlukla depolama amacı gütmeyizler. Ancak son zamanlarda ki gelişmeler neticesinde, önümüzdeki yıllarda şebeke bağlantılı inverterlerin de depolamaya uygun üretileceği söylenebilir.

Şebeke bağlantılı inverter çeşitleri şunlardır; mikro inverterler, dizi inverterler ve merkezi inverterler.

### 3.2.1. Mikro inverter

Mikro inverterlerin güç çıkışı genellikle 200W ile 400W arasında değişiklik gösterir. Bu inverterler enerji ihtiyacının az olduğu küçük uygulamalarda kullanılır. Genellikle bir panele bir mikro invertere bağlanır. Bu tip sistemlerde kablolanmanın daha fazla olduğu bölüm inverterden sonra gelen bölümdür. Üretimlerinin pahalı olması bir dezavantaj olurken özellikle gölgelemenin yoğun olduğu veya panelin bir vesileyle (panelin üretiminden kaynaklanan hatalar, kurulum ya da işletilmesi esnasında panelin görmüş olabileceği zarardan dolayı panelin enerji üretmediği durumlar) enerji üretmediği durumlarda kullanılması ve gölgelemeye maruz kalan panelin enerji üretmeyeceğinden dolayı geriye kalan sistemin bu durumdan negatif etkilenmesini bir mikro inverter vasıtasıyla bertaraf edilmesi onun avantajlı olduğu noktadır. Dizi inverterlere göre verimi daha yüksektir [36]. Resim 3.9'da mikro inverterlerin bağlantı şemasını gösteren bir uygulama örneği mevcuttur.

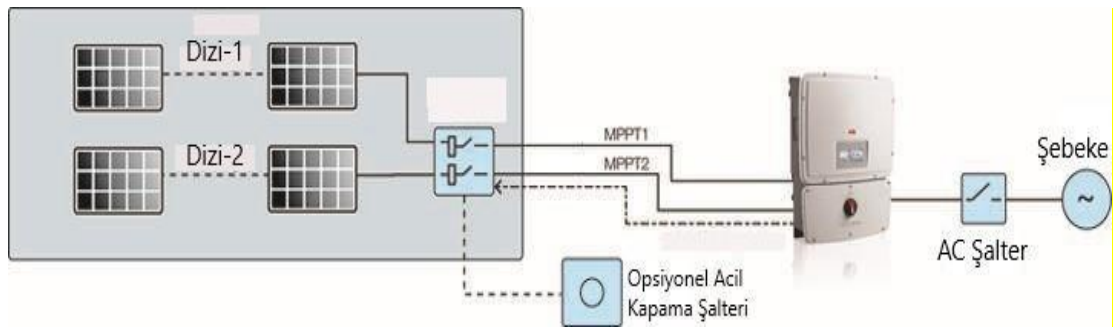


Resim 3.9 Mikro inverterlerin bağlantı şeması [37]

### 3.2.2. Dizi inverter

Dizi inverterler küçük ölçekli santrallerde ve çatı uygulamalarında kullanılır. Dizi inverter çeşidinde, inverter üzerinde maksimum bir DC giriş voltajı belirtilmiştir. Dizi invertere seri bağlanan panellerden gelen toplam voltaj miktarı inverter DC giriş voltajından yüksek olmamalıdır. Dolayısıyla seri bağlanan panel sayısı dizi inverterin DC giriş kapasitesiyle doğru orantılıdır. Piyasadaki dizi inverterlere kısaca bakılacak olursa 1000V DC giriş kapasitesi gerilime sahip olan inverterler görülebilmektedir.

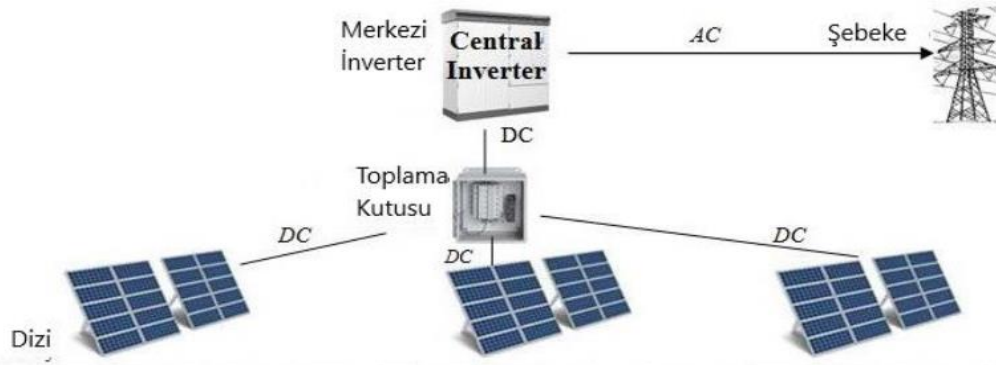
Dizi inverterlerin en önemli özelliklerinde birisi de MPPT (Maximum Power Point Tracker- Maksimum Güç İzleme Noktası) özelliğidir. Gün içerisinde güneşten gelen ışığın açısının değişmesi ve panel açılarının (özellikle eğimi değişken yerlerde olan paneller) değişiklik göstermesi üretilen enerjinin sürekli değişken olmasına neden olur. Oysaki sisteme verilen yükün değişken olmaması gerekir. MPPT tam bu noktada devreye girip serilerden gelen değişken enerjiyi izleyip, maksimum gücün çıkışa verilmesi için düzenleme yapar. Ayrıca herhangi bir olumsuzluktan dolayı serilerden gelen enerjinin diğer serileri de etkilememesi MPPT sayesinde gerçekleşir. Dizi inverterlerdeki MPPT sayısının çok olması santralin verimliliğinin yüksek olmasını sağlar. Bu tip inverterler küçük uygulamalar için tek fazlı üretilirken büyük uygulamalarda kullanılması için 3 fazlı olarak üretilirler.



Resim 3.10 Dizi inverter bağlantı şeması [38]

### 3.2.3. Merkezi inverter

Merkezi inverterler, büyük güneş enerji santrallerinde kullanılmakta olup, inverterler arasında kapasitesi en büyük olanıdır. Bu tip inverterlerin bağlantısı, seri bağlanmış güneş panelleri dizilerinden gelen solar DC kablolar bir toplama kutusunda toplanır ve daha sonra bu toplama kutusunda merkezi invertere aktarılacak şekilde olur. Kurulumu kolay olmakla birlikte watt başına düşen birim maliyet konusunda en avantajlı olanıdır. Direkt olarak trafoya bağlanması amacıyla tasarlanmıştır. Bu nedenle bağlı bulunduğu şebekeye göre frekans ve voltaj üretir. Güneş enerjisi santralının tek bir noktadan idare edilmesine olanak sağlar. Piyasada üretilen merkezi inverterlerin maksimum DC gücü genellikle 1.000V iken 1.500V DC giriş gücü olan yeni nesil inverterler de görülebilir. MPPT açısından en az sayıda MPPT'si olan merkezi inverterler güç düzenlemesi açısından diğerlerine kıyasla dezavantajlı olduğu söylenebilir. Verimi yüksek olmasına rağmen, MPPT sayısı az olduğu için dizlerden gelen enerji yeterince düzenlenemediği için pratikte kullanıldığında verim düşmektedir [39].



Resim 3.11 Merkezi inverter bağlantı şeması [31]

Merkezi inverterin bağlı bulunduğu sistemlerde inverterden kaynaklı herhangi bir arıza durumunda tüm sistemin enerji üretmemesi anlamına geleceği için çıkabilecek arızalar ekonomik açıdan oldukça önemlidir ve bu durum, merkezi inverterin dezavantajıdır. Öte yandan sistemin izlenmesi ve sisteme müdahale edilmesi dizi invertere nazaran daha kolaydır. Merkezi inverterde, dizi inverterli sistemlere kıyasla solar kabloları daha fazla yapılırsa da merkezi inverterli sistemlerde toplama kutusunda çok büyük güçler büyük kablolarla taşındığı için

sistemin kurulumu hızlı ve kolaydır. Dizi ya da merkezi inverter seçiminde dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan bir tanesi arazinin yapısıdır. Eğer arazi dizgin bir yapıda ise merkezi inverter değil ise dizi inverterler seçilebilir [38].

### **3.3. Konstrüksiyon Sistemi**

Genellikle bir güneş enerji santralinin en az 25 yıl çalışabileceğinden bahsedildiğine göre bu yatırımdan en fazla paya sahip olan panellerin, üzerine konduğu taşıyıcı isteminden özenle ve dikkatle seçilmesi gerekir ki ileride iklimsel ya da taşıyıcı sistemden kaynaklanan menfi bir etki görülmesin. Çünkü rüzgârda savrulan ya da salınım yapan bir taşıyıcı sistem panellerde mikro çatlaklara neden olur. Güneşte çok ısınan bir taşıyıcı sistem panelleri de etkiler. Ya da özellikle çakma yöntemiyle yapılan taşıyıcı sistemlerin bir kısmı 25 yıl süre ile toprak altında kalacağı düşünülürse, taşıyıcı sistemlerin ne kadar dikkatli bir şekilde tasarlanmasının gerektiği anlaşılır.

Güneş panellerinin, sahada, güvenli bir şekilde kalması için taşıyıcı sisteme ihtiyaç duyulur. Taşıyıcı sistem, güneş panellerinin sehpa üzerinde güvenle durmasını sağlar. Konstrüksiyon sistemi, hem çatıya hem de yere monte güneş panelleri sisteminde kullanılmaktadır. Bu montajların birkaç amacı vardır, çünkü sistem performansını artırmak için panellerin doğrudan güneşe bakmasını sağlarlar. Konstrüksiyon sistemi, sıcaklığı kontrol altında tutmak için panellerin altındaki hava akışını da katkı sunar [40].

Konstrüksiyon seçiminin yapılabilmesi için öncelikle hem zemin etüdünün hem de kullanılacak panelin belirlenmesi gerekir. Tabi bunların en başında santral sahasının yerinin harita mühendisi ile belirlenmiş olması ve sahanın iklimsel özelliklerinin tam anlamıyla araştırılıp öğrenilmiş olması gerekir. Çünkü zeminin sertlik derecesi, panelden kaynaklı taşıyıcı sisteme binecek yük ve sisteme dışardan direkt etki edecek kar ve rüzgâr gibi yük artışlarına neden olan faktörlerin hesaplanması gerekir.

Güneş Enerjisi santralinin konstrüksiyonu hangi tip için olursa olsun, TS 498 yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri ve TS 500

betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları (Beton Temelli Konstrüksiyon Yapıları için) standartlarına uymak durumundadır [41].

Günümüzde güneş enerjisi santral sahaları incelendiğinde kullanılan iki farklı malzemedeki yapılmış taşıyıcı sistemler mevcuttur. Bunlar sıcak daldırılmalı galvaniz çelikten veya alüminyumdan yapılmış sistemlerdir. Ayrıca sütunlarının sıcak daldırılmalı galvaniz çelikten ve kirişlerinin alüminyumdan yapılmış olan taşıyıcı sistemler de mevcuttur. Bu iki farklı malzemenin kullanılmasında bazı sınırlamalar vardır. Çünkü bazı durumlarda alüminyum tercih edilirken bazı durumlarda çelik tercih edilir. Çelik ve alüminyum incelendiğinde alüminyumun çeliğe göre çok daha hafif olduğunu özellikle nakliyenin problem olduğu yerlerde daha tercih edilebilir olduğunu söylemesi gerekir. Ayrıca alüminyumun ısı iletkenlik kat sayısı çeliğe nazaran daha düşük olduğu için özellikle güneşin bol olduğu sıcak iklim bölgelerinde alüminyum bir taşıyıcı sistemin panel üzerindeki ısıtma etkisi çelik kadar yüksek değildir. Alüminyumun diğer bir üstün özelliği çelikten daha ucuz olmasıdır. Dolayısıyla tercih edilebilirliği bu konudan dolayı artmıştır. Son olarak galvanizlenerek korozyona karşı ömrü uzatılan çelik, mukavemet konusunda alüminyuma göre daha dayanıklıdır. Dolayısıyla sert iklim koşullarında taşıyıcı sistemin ayakta kalmasını daha iyi sağlar.

En yaygın olarak karşılaşılan sistemler çatı/bina ve yere monteli sistemlerdir. Uygulama tipine göre konstrüksiyon sistemi değişmektedir. Örneğin yere monteli bir sistem için farklı bir konstrüksiyon sistemi gerekirken çatı veya bina montaj için farklı bir konstrüksiyon sistemi gerekmektedir. Önemli olan, kurulacak olan konstrüksiyon sisteminin hem kendisini hem de üzerine kurulacak olan pv sistemini güvenle taşımasıdır.

Fotovoltaik güneş enerji santrali için seçilecek konstrüksiyon malzemesinin kalitesi kadar özenle yapılmış bir montaj da önemlidir. Malzeme seçimi ne kadar iyi olursa olsun kaliteli bir işçilik olmadan başarıya ulaşılmaz. Özellikle santrallerde olan küçük bir hatanın ilerleyen süreçte santral için büyük zararlara neden olabileceği unutulmamalıdır. Kısacası konstrüksiyon sisteminin başarıyla uygulanması için, zemin etüdünün iyi yapılmış olması, santral sahasının iklimsel koşullarının

düşünülmesi, konstrüksiyon malzemesinin kalitesi ve taşıyıcı sistemin santralde imalatındaki kaliteli işçilik gereklidir.

Bir fotovoltaik güneş enerjisi santralının kurulum aşamasında, taşıyıcı sistemin nasıl monte edilmesi gerektiği santralin geleceği açısından çok önemli ve dikkat edilmesi gereken bir husustur. Çünkü bir santralin ömrünün 25 seneden fazla olduğu düşünülürse, taşıyıcı sistemin de bu süre boyunca ayakta kalması gerektiği anlamına gelir. Zira yanlış montajlama çeşidinin seçilmesi, maddi ve manevi çok büyük kayıplara neden olabilir. İlk olarak bilgisayar ortamında panellerin üstüne yerleştirileceği örnek masalar tasarlanır. Tasarlanan örnek masalar bazı statik koşulları sağlamalıdır. Çünkü statik raporu dağıtım şirketine sunulup onay alınması gerekmektedir. Santraller için hazırlanan statik raporlarda tasarım ile ilgili detaylı bilgilere yer verilir. Bu bilgiler sahanın tam olarak yeri depremsel durumu su kaynaklarına olan yakınlığı, zeminin teknik özellikleri ve taşıyıcı sistemde kullanılacak malzemeler ile ilgili teknik bilgilere yer verilir. Statik hesaplar, bir inşaat mühendisi tarafından genelde SAP2000 adlı program kullanılarak yapılır. Statik rapor içerisinde konstrüksiyon sisteminin hesabı yapılırken, taşıyıcı sisteme sadece panellerden gelen yük değil, deprem durumunda, rüzgâr durumunda ve kar yağması durumunda gelmesi muhtemel yüklere de hesaba katılarak tasarlanması gerekir. Bundan sonra yapılacak iş harita mühendisi tarafından zemin etüdü ve statik rapora göre panellerin yerleştirileceği masaların ilk ve son ayaklarının konumlandırılması işinin yapılması müteakip, taşıyıcı sistemin montajının yapılacağı yere uygun bir konstrüksiyon tipi ile montajının yapılmasıdır. Aşağıda santralin uygulanacağı yerlere göre farklı konstrüksiyon tipleri detaylıca anlatılmıştır.

### **3.3.1. Arazi Tipi Konstrüksiyon Sistemi**

Arazi tipi konstrüksiyon sistemi adından anlaşıldığı üzere araziye kurulan konstrüksiyon tipidir. Hem ticari amaçla kurulmuş büyük ölçekli şebekeye bağlı sistemlerde hem de tarımsal sulama gibi daha küçük şebekeden bağımsız sistemlerde kullanılır. En yaygın olarak kullanılan sistemlerden biridir. Arazi tipi konstrüksiyonda sehpa sütunlarının dayanıklılığı yüksek olmalıdır. Çünkü bu



sistemler genellikle kırsal kesimlerde kurulduğu için olabilecek kar fırtına rüzgâr deprem gibi dış etkenlere karşı güçlü olmalıdır. Arazi tipi konstrüksiyon sistemleri kendi aralarında ikiye ayrılır. Bunlar sabit açılı sistemler ve güneş takipli (tracking) sistemlerdir. Aşağıda bu sistemler detaylı bir şekilde açıklanmıştır.



Resim 3.12 Arazi tipi konstrüksiyon uygulamaları [42]

Arazi tipi yani yere monteli konstrüksiyon sistemlerin yere sabitlenmesi işlemi konstrüksiyon biçimini etkileyen önemli bir konudur. Çünkü sahanın jeolojik yapısı seçilecek konstrüksiyon tipini belirlemede rol oynayacaktır. Özellikle sehpa ayaklarının zemine sabitlenmesinde farklı yöntemler mevcuttur. Aşağıda bu yöntemlerden bahsedilmiştir.

Konstrüksiyon sistemi sıcak daldırılmalı galvanizden ya da alüminyum alaşımlarından yapılmaktadır. Ancak panellerin konstrüksiyon sistemine bağlanmasını ve konstrüksiyon sisteminin birbirine bağlanmasını paslanmaz çelik aparatlar ile yapılması korozyonun önlenmesi açısından önemlidir.

Yere monteli sistemlerde genellikle sehpa ayakları sıcak daldırılmalı galvaniz yumuşak çelikten, sehpanın kirişleri ise 6000 serisi alüminyum alaşımından yapılır. Yere monteli sistemlerde projenin uygulanacağı yerin toprak yapısı önemlidir. Çünkü sehpanın ayaklarının betonlama yöntemi ile mi ya da kazık çakma yöntemi ile mi gömüleceğinin bilinmesi gerekir.

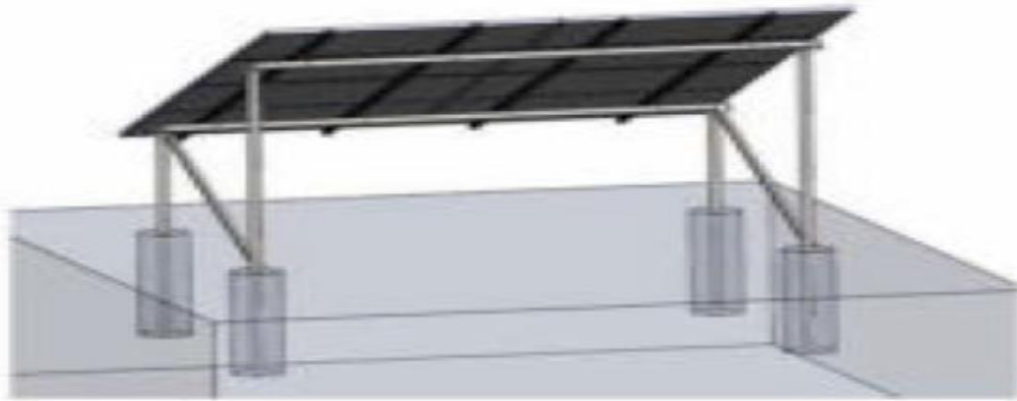
### **3.3.1.1.Arazi Tipi Konstrüksiyon Sisteminde Zemine Monte Yöntemleri**

**3.3.1.1.1.Kazık Çakma Yöntemi**

Bu yöntem iki yol ile yapılmaktadır. Birinci yöntemde sehpa ayaklarının ekstra hiçbir materyal kullanmadan zemine çakılması işlemidir. İkinci yöntem ise zemine önce bir delici makinası yardımıyla yuva açılır. Açılan bu yuva ihtiyaç duyulan çaptan biraz daha geniştir. Sonra sütunlar kazık çakma makinası yardımıyla yerleştirildikten sonra, çukura beton dökülerek kapatılır. Burada dikkat edilmesi gerek husus zemine çakılma işlemi yapılırken çelik ayakların zarar görmesini engellemektir. Ayrıca birinci işlem yumuşak zeminlerde uygulanırken ikinci işlem daha sert zeminlerde uygulanır.

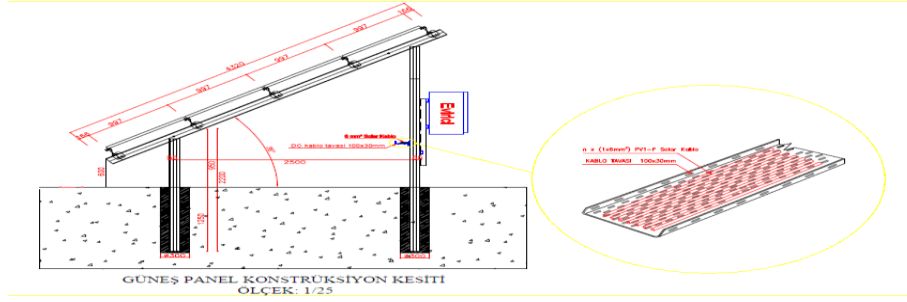


Resim 3.13 Zemine çakma yöntemi [43]



Resim 3.14 Zemine beton ile montaj yapılması [44]

Resim 3.13 ve 3.14’de anlaşıldığı üzere zemine çakma işlemi yapılırken sütunların dik şekilde gömülmesine özen gösterilmelidir.



Resim 3.15 Tezde tasarımı yapılan projede kullanılacak sehpa sistemi

### 3.3.1.1.2. Betonlama Yöntemi

Bu yöntem iki şekilde uygulanır: birinci yöntem sütunlar için makine yardımı ile açılan deliklere beton doldurulur ve ardından sütun beton içine gömülür ikinci yöntem ise hazır şablon kalıplara beton dökülür ve çelik sütunların bu beton içine gömülüp sabitlenmesi sağlanır. Betonlama yöntemi çok sert ya da korozyona neden olan saha zeminleri ya da zeminin çok yumuşak olduğu durumlar için kullanılan yöntemler olup kazık çakma yöntemine göre biraz daha maliyetli olmasına rağmen daha uzun ömürlüdür. Yukarıda anlatılan tüm yöntemlerde sütunların dikilmesi aşamasında malzemeye zarar verilmemelidir. Özellikle taşıyıcı sistemin hava şartlarına maruz kalacağı düşünülürse galvaniz boya ile boyanması taşıyıcı sistemin ömrünü arttırmasında rol alacaktır.

Sütunların dikilmesi işleminin ardından kiriş ve âşik kirişlerin montaj aşamasına gelinir. Burada dikkat edilmesi gereken husus, panellerin konumlandırılacağı açığa uygun bir tasarımın yapılması gerekliliğidir. Zira özensiz yapılan bir taşıyıcı sistem montajı santralin verimliliğinin düşmesine neden olacaktır.



Resim 3.16 Beton blok yöntemi

Daha öncede anlatıldığı gibi konstrüksiyon seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar göz önünde bulundurulduğunda Adıyaman şartlarındaki en iyi konstrüksiyon tipinin hibrit bir konstrüksiyon sistemi olan sehpa ayaklarının ve aşıkların kirişlerinin mukavemet yönünden sıcak daldırmalı galvaniz çelikten olup, galvaniz kaplama TS 914 EN ISO 1461 standardına, panellerin oturacağı üst bölümün ise çalışma kolaylığı bakımından 6000 serisi alüminyum tercih edilmiştir. Alüminyum ürünler EN AW 6063T5 ve TS EN 12010 (2010) standardına uygun seçilmelidir. Tezde kullanılacak sehpa modeli resim 3.15'te gösterilmiştir. Tez için tasarımı yapılan projede her bir sehpaaya 4'lü yatay şekilde konumlandırılan ve uzunlamasına 14 adet panelin yerleştirildiği kabul edilmiştir.

### **3.3.1.2. Sabit Açılı Konstrüksiyon Sistemleri**

Sabit açılı sistemlerde konstrüksiyon sistemi hareket etmez ve panellerin güneşe göre olan durumları santralin ömrü boyunca sabit kalır. Yaygın olarak kullanılan bu sistemler aşağıda açıklanan güneş takipli sistemlere göre hem ucuz hem de bakım masrafları daha azdır. Genellikle kırsal kesimlerde kurulur ve büyük ölçekli ticari amaçlı santrallerde kullanılır.



Resim 3.17 Yere monte sabit açılı konstrüksiyon sistemi [45]

**3.3.1.3. Güneş Takipli (Tracking) Konstrüksiyon Sistemleri**

Güneş takipli konstrüksiyon sistemleri, sabit açılı konstrüksiyon sistemlerine göre daha verimli ancak daha maliyetlidir. Bu sistemlerde, taşıyıcı sistem, özel sensörler ve takip teknikleri ile panelleri güneşin pozisyonuna göre konumlandırmaktadır. Bu sayede güneşten panellere gelen radyasyon miktarı artırılıp panelin daha verimli çalışması sağlanmaktadır. Ancak ilk yatırım ve bakım onarım maliyeti, sabit açılı sistemlere göre oldukça yüksektir. Ayrıca bu sistemlerde özel takip sistemleri ve sensörler kullanıldığından havanın bulutlu ya da kapalı olduğu günlerde, bu sistemlerin çalışmasında sorunlar yaşanmaktadır. Güneş takip sistemleri, tek eksenli ve çift eksenli olmak üzere ikiye ayrılır. Bu sistemler aşağıda detaylıca incelenmiştir.

**3.3.1.3.1. Tek Eksenli Güneş Takip sistemi**

Tek eksenli güneş takip sistemlerinde sehpa yapısı, sabit açılı sisteme göre farklılık göstermektedir. Bu sistemlerde amaç, panellerin gün boyu güneşin konumuna göre doğu-batı yönünde hareket ettirilerek paneller üzerine düşen güneş radyasyon miktarını artırıp daha fazla enerji elde edebilmesini sağlamaktır. Tek eksenli sistemler sabit açılı sistemlere göre daha maliyetlidir. Resim 3.18’de örnek bir tek eksenli fotovoltaik santral modeli gösterilmiştir.



Resim 3.18 Tek eksenli yere monteli sistem

**3.3.1.3.2.Çift Eksenli Güneş Takip sistemi**

Çift eksenli güneş takip sistemi, maliyet yönünden en pahalı sistemler olup verim açısından en iyi sistemlerdir. Bu sistemlerde amaç, güneşin anlık pozisyonunu göre paneli konumlandırmaktır. Yani bu sistemler hem doğu batı hem de kuzey güney yönünde çalışmaktadır. Özel sensör ve takip sistemi ile donatılmıştır. Konstrüksiyon sistemi sabit açılı ve tek eksenli sisteme göre daha farklı olup, sistemin çalışması, bir sehpa için bir sütun mevcut olup belli sayıda panelin bu sütun üzerinde konumlandırılıp özel sensörler ve takip sistemleri yardımıyla hareket ettirilerek sağlanır. Bu sistemler, konstrüksiyon açısından bakım onarıma en fazla ihtiyaç duyan sistemlerdir.



Resim 3.19 Çift eksenli güneş takip sistemi [46]

**3.3.2.Çatı Tipi Konstrüksiyon Sistemleri**

Çatı tipi konstrüksiyon sistemlerinde, genellikle 6000 serisi alüminyum malzeme kullanılır. Ancak diğer konstrüksiyon sistemlerinde olduğu gibi bağlantı elemanlarının korozyon açısından paslanmaz çelik olması gerekmektedir. Çatı tipi konstrüksiyon sistemleri çatının tipine ve şekline göre farklılık gösterebilir. Örneğin düz bir çatı montajında güneş panellerine gerekli eğimi vermek için yer montajına benzer fakat daha hafif malzemedan yapılan dik üçgen şeklinde bir konstrüksiyon modeli kullanılmaktadır. Çatı montajı yapılırken kurulacak sistemin statik hesapları,

binanın statik hesaplarına uygun olmalıdır ve bu statik hesaba uygun, çatıyı zorlamayacak sistemler ortaya konulmalıdır. Kullanılacak alüminyum profillerin kalınlığına dikkat edilmelidir. Binanın beton yapısına zarar vermemek adına ankraj yapılmaz. Zira deliklerden sızan su betonun yaşlanmasına sebebiyet vermektedir. Ayaklara genellikle ağırlık konularak sabitleme yapılmaktadır. Trapez ve kiremit çatıda eğim olduğu için panel direkt çatıya bağlanabilir. Ancak kiremit çatıda, konstrüksiyon sistemi, çatı kiremitinin altındaki ahşap yapıya, sabitleme kancası ile monte edilirken trapez çatıda direkt çatının kendisine monte edilebilir [41].

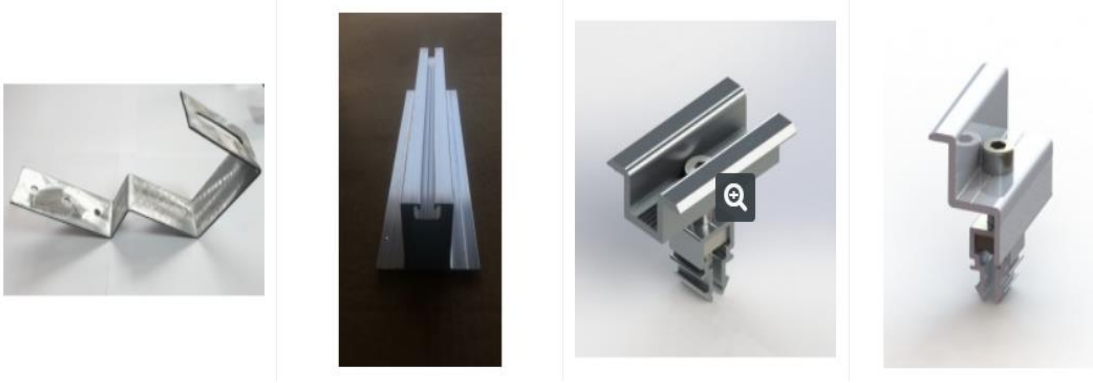


Resim 3.20 2 Farklı tipte çatı montajı sistemi örneği

### **3.3.2. Konstrüksiyonda Kullanılan Bağlantı Elemanları**

Fotovoltaik güneş enerji santralleri konstrüksiyon sisteminde kullanılan profiller alüminyum ya da çelikten yapılmaktadır. Ancak konstrüksiyon sisteminde kullanılan tutucular, orta tutucular sonlandırıcılar gibi aparatlar alüminyumdan yapılmaktadır. Çünkü alüminyum hem esnek çalışma özelliğine sahip hem de korozyona karşı direnci oldukça yüksektir. Ayrıca paneli çevreleyen metalinde alüminyum olduğu göz önünde bulundurulursa aynı malzemenin birbiri ile uyumu daha etkin olur. Ancak bu aparatları birleştiren rondela somun ve vida gibi bağlantı elemanlarının çelik olması gerekir. Çünkü bunlar, panelin taşıyıcı sistemde sabit

kalmasını sağlayan aparatlardır. Resim 3.21’de fotovoltaik güneş enerji sistemlerinde kullanılan kelepçe ve tutucu gibi aparatların gösterilmiştir.



Resim 3.21 Fotovoltaik güneş enerji santrallerinde kullanılan montaj aparatları [47]

### **3.4. Kablolar**

Fotovoltaik güneş enerjisi santrallerinde kullanılan 4 farklı kablo tipi vardır. Bunlar DC kablolar, AC kablolar, topraklama ve haberleşme ve kontrol kablolarıdır. Bunlar sırasıyla aşağıda detaylı bir şekilde incelenmiştir.

#### **3.4.1.DC Kablolar**

Kablolar, hem fotovoltaik panellerin birbirleri ile hem de panellerin inverterlere bağlanmasını sağlar. Santralde duruma göre yer üstünden veya yer altından çekilebilir. TS EN 50618 standartlarına uygun olmalıdır. Bu kablolar dış ortam şartlarına maruz kaldıklarından dolayı soğuğa ve sıcağa dayanıklı, izoleli, güneş ışınlarından etkilenmeyen ultra viole dayanımı yüksek, yangın riskine karşı dayanıklı ve dumanı az olmak durumundadır. Solar kabloların kesitinin seçimi yapılırken kablodan geçen akım, voltaj ve kablo uzunluğu mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Solar kablolar bakır veya alüminyumdan yapılmıştır. Bakırdan yapılmış kabloların maliyeti yüksek olduğundan alüminyum kablolar uygulamada yaygın kullanılmaktadır. DC kablo montajı, resim 3.22’de görüldüğü üzere uçlarına



takılmış konektörler yardımı ile bağlantı yapılır. Genellikle kırmızı renkli kablo artı (+) taraf için, siyah renkli kablo eksi (-) taraf için kullanılır.

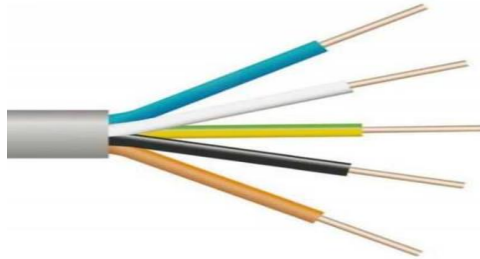
>



Resim 3.22 DC kablolar [48]

### 3.4.2.AC Kablolar

AC kablolar, fotovoltaik güneş enerjisi sistemlerinde inverterlerden sonra kullanılan kablolardır. AC kablo seçiminde, ne kadar enerjinin taşınacağı, mesafe, mekanik zorlanmalar, havada mı yer altında mı çekileceği gibi etkenler oldukça önemlidir. Fotovoltaik güneş santrallerde genellikle yer altında çekilirler. Büyük sistemlerde 3 faz ve bir nötr olmak üzere tek kabloda 4 damar kablo halinde çekilir. Bu kablo renkleri siyah, mavi ve kahverengi üç fazı temsil ederken, gri (bazen beyaz) renk nötr hattı ve sarı-yeşil toprak hattını temsil eder.



Resim 3.23 AC kablo [49]

**3.4.3.Topraklama Kablosu**

Fotovoltaik güneş enerji santrallerinde topraklama kablosu bazen AC kablo içinde yer alırken bazen de ayrı çekilebilir. Ancak topraklama kablosu sadece AC tarafta değil tüm santralin içindeki cihazların topraklanması gerektiğinden bu kablolar da ayrıca değinilmiştir. Topraklama kablosu için sarı-yeşil renk seçilir. Diğer kablo hesaplamalarında geçerli olan hesaplama yöntemleri, topraklama kablosu içinde geçerlidir. Topraklama kablosu montajında mutlaka kablo pabuçları kullanılmalıdır.



Resim 3.24 Topraklama Kablosu

**3.4.4.Haberleşme ve Kontrol Kabloları**

Bu tip kablolar, içinde çok sayıda ince kablodan meydana gelir. Bu kablolar özel tasarlanmış scada gibi sistemler için tasarlanmıştır. Santrallerin uzaktan izlenmesi görevinde kullanılan elektronik cihazların bağlantısının yapılmasında kullanılır.



Resim 3.25 Haberleşme ve kontrol kabloları

### 3.5. AC-DC Toplama Panoları

Solar toplama panoları, ana toplama, DC toplama ve AC toplama panosu olmak üzere üç gruba ayrılır. Fotovoltaik güneş enerji santrallerinde, dizi inverterler için ana toplama ve AC toplama panosu tercih edilir. DC toplama panosu ise merkezi inverter için kullanılır.

AC toplama panolarından gelen enerji, kablolar ile ana toplama panosuna aktarılıp, emniyeti sağlanır ve burada kontrol altına alınır. Ana toplama panoları, enerji kalitesi ölçümü, sistem güvenliği ve iç ihtiyacı için gerekli ekipmanlarla donatılmıştır. Ana toplama panosunda toplanan elektrik enerjisi, gerilim değerinin yükseltilmesi için yüksek akım sınırlarında çalışabilen AG (alçak gerilim) şalteri ile trafoya yönlendirilir. Panolar, TSE, CE ve ISO 9001\_14001 standartlarına göre üretilir [50].



Resim 3.26 Örnek AC ana toplama panosu [50]

AC toplama panoları, dizi inverterlerden gelen enerji yüklü kabloları tek bir kabloda ana toplama panosuna gönderen yedek panolardır. Ara bağlantı, ilave güvenlik ve anahtarlama mekanizmaları içermektedir. Bu pano çeşidi cam elyaf takviyeli ve metal olmak üzere iki farklı tipte üretilmektedir [50].



Resim 3.27 Örnek AC toplama panosu [51]

Merkezi invertörün kullanıldığı sistemlerde, güneş panellerinde üretilen DC elektrik, DC toplama panolarında toplanır. Gelen enerji, DC toplama panolarından merkezi inverter sistemine ana DC hat ile taşınır. DC toplama panolarında, gerekli emniyet ve anahtarlama ekipmanları mevcuttur [50].



Resim 3.28 Örnek DC toplama panosu [52]

### 3.6. Trafo

Trafo, AC devrelerde, frekansı deęiřtirmeden akım ve voltaj deęerini istenilen seviyeye dūřüren ya da yūkselten cihazlara denir. Trafolar, genelde prefabrik beton yapı veya galvanizli saętan oluřan ve kōřk olarak adlandırılan bir

yapı içinde muhafaza edilir. Piyasada iki farklı çeşit trafo mevcuttur. Bunlar yağlı tip ve kuru tip trafolardır.



Resim 3.29 Örnek Trafo Köşkü [53]

### 3.6.1.Yağlı Tip Trafolar

Bu tip trafolarda, trafonun içinde bulunan sargılar bütünüyle yağın içindedir. Trafoda bulunan yağ, hem soğutma hem de izolasyon görevi görür. Bu tip trafolarda kendi arasında ikiye ayrılır. Bunlar hermetic tip yağlı trafo ve genişleme tanklı trafolardır. Hermetik trafolar dış ortama kapalıdır. Trafo içindeki yağ ve basınç üretici firma tarafından ayarlanır ve olası bir sızıntı durumunda teknik servisten yardım alınmalıdır. Basınç, trafonun kurulacağı yerin deniz seviyesine göre ayarlanır [54].



Resim 3.30 Örnek hermetic yağlı trafo [54]

Genleşme tanklı trafolarda trafo gövdesinde ısınan yağ genişleme tankına gider. Bu tip trafo çeşidi atmosfere açık olduğundan ekstra nem alıcı kullanılmalıdır. Bu yüzden periyodik kontrol isteyen bir trafo çeşididir [54]. Yağlı tip trafolar ekonomiktirler ama içindeki yağın patlama riski vardır.



Resim 3.31 Örnek genişleme tanklı yağlı trafo [54]

### 3.6.2.Kuru Tip Trafolar

Son yıllarda özellikle insanların yoğun olduğu/yaşadığı konut hastane AVM gibi yerlerde tercih edilmeye başlanmıştır. Çünkü yağlı tip trafolarla göre patlama riski yoktur. Fakat yağlı tip trafoya nazaran üretimi daha maliyetlidir. Sargıları epoksi dökme reçineden yapılmaktadır ve dış ortama açıktır. Bu yüzden ya doğal yol ile ya da fan ile soğutulması gerekmektedir. Eğer kuru tip trafo tercih edilecekse trafo merkezinde ayrı bir fan grubuna ihtiyaç duyulabilir. Sargılar atmosfere maruz kaldığından neme ve suya karşı dikkatle korunmalıdır [55].



Resim 3.32 Örnek kuru tip trafo [55]

### **3.7. Scada Sistemi**

İngilizcesi, supervisory control and data acquisition olan bu sistem Türkçe 'ye merkezi kontrol ve veri toplama sistemi olarak geçmiştir. SCADA kontrol ve otomasyon dünyasında otomasyon mimarisinin en üst katmanını oluşturan ve operatörlere sistem kullanıcı ara yüzü sağlayan önemli bir yazılımdır [56]. Bu sistem santralin faaliyete girdikten sonraki teknik olarak takibini kolaylaştıran bir sistemdir. Bu sistemde sayesinde inverterlerin giriş çıkış durumları, verimlikleri, güneş ışınımını, anlık üretilen gücü, engellenen CO<sub>2</sub> salınımını, modül ve ortam sıcaklıkları gibi bilgiler takip edilebilmektedir. Küçük ölçekli pv santrallerinde teknik olarak takibin kolay olduğu ama sistemin büyüdükçe takibin zorlaştığı düşünülürse bu sistemler bir santralin olmazsa olmazları haline gelmektedirler. Ayrıca bu sistemlerde mobil uygulamalar sayesinde sistemde oluşan herhangi bir arıza durumunu yatırımcıya bildirilmektedir.

### **3.8. Diğer Donanımlar**

#### **3.8.1.CCTV Sistemi**

Closed circuit tv kelimesinin baş harfleri alınarak türetilen bu kısaltma Türkçe'mize kapalı devre tv anlamına gelmektedir. Bu sistemler kameralar aracılığıyla görüntülerin bir noktaya toplanıp izlenmesini sağlar. Bir güneş enerji santralının ortalama 1 MW'lık büyüklüğünde olduğu düşünülürse yaklaşık 16-17 bin metrekareye kurulu olduğu hesabı yapılırsa, büyük maliyet ile yapılan santraller için çok önemli olduğu ortaya çıkar. Bu sistemlere ek ses dinleyici ya da gelişmiş optik sistemler de monte edilebilmektedir. Santralin her tarafını görecektir şekilde dizaynı yapılmalıdır.

Santrali dış etkilerden korumanın bir yolu da CCTV sisteminin yanı sıra santral çevresini tel çit ile çevrilip daha güçlü bir CCTV sistemi oluşturulmasında fayda vardır. Bu durumda santralde olabilecek en ufak bir hareketliliğin bile sistemden takibi sağlanmış olur.

**3.8.2.Sigortalar**

Bir fotovoltaik sistemde sistemin büyük bir yatırım maliyetinin olduğu ve sistemde oluşan bir hatanın tüm sistemi etkileyebileceği düşünüldüğü zaman sistemin ne kadar korunması gerektiği anlaşılacaktır. Bu yüzden enerji üreten sistemlerde bazı koruyucu ekipmanlar söz konusudur. Bunlardan bir tanesi de sigortalardır. İnverterlerden önce kullanılan sigortalar DC akımı kesmek için kullanılır İlk olarak parçadan bütüne doğru gidilecek olursa güneş panellerinden sonra hem artı hem eksi tarafına konulması gerekir. Paneldeki hatanın tüm diziyi etkilememesi için yapılır. Bu tip DC sigortalar dizilerden sonrada tıpkı paneller gibi hem artı hem de eksi tarafa konulmalıdır. Ticari fotovoltaik sistemlerde kullanılan sigortalar otomatik sigortalar olup maalesef tek kullanımlıktırlar. Sigortaların seçimi yapılırken inverter DC giriş değerini mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır ve ona göre seçim yapılmalıdır.



Resim 3.33 Örnek pv modül koruma sigortaları [57]





Resim 3.34 Örnek toplama panosu sigortaları [57]

### 3.8.3.Artık Akım Anahtarları

Artık akım anahtarları faz ve nötr arasına konulan ve sistemde meydana gelebilecek yangın ve kaçak akıma karşı kendini otomatik olarak açan cihazlardır. Sistemin ekstra güvenliğini sağlamak için kullanılırlar. Tek fazlı ve üç fazlı modelleri mevcuttur. Bu tip anahtarlar oluşabilecek kaçak akım ve yangın riskine karşı önlem amacıyla sisteme ilave edilmektedirler. Görevleri faz ile nötr arasındaki akımı karşılamaktır. Bu ikisi arasında fark olması, devrede kaçak akımın varlığını göstermektedir. Artık akım anahtarları oluşan bu farkın önceden belirlenen seviyeye gelmesi durumunda, devreyi açarak koruma sağlamaktadır. AC tarafta kullanılan bu ekipmanların fotovoltaik sistemler için geliştirilmiş modelleri olup, hem tek fazlı hem de üç fazlı devrelerde kullanılan modelleri mevcuttur. Artık akım anahtarın içinde bir ölçüm transformatörü vardır ve bu transformatör faz ve nötr arasındaki akımı denetler. Herhangi bir uyuşmazlık durumunda içindeki sistem devreye girerek kontakları açar ve sistemin emniyetini sağlar [58].



Resim 3.35 Artık akım anahtarı (Kaçak akım rölesi) [59]

### 3.8.4.Parafudurlar

Yüksek gerilim hatlarında oluşan içten veya dıştan kaynaklı aşırı gerilimlere karşı cihazların ve diğer ekipmanların zarar görmesini engelleyen cihazlardan bir tanesi de parafudurlardır. Parafudurlar hatlarda meydana gelen aşırı yüksek gerilimi sisteme hissettirmeden toprağa iletir. Kullanılacak parafudr tipinin belirlenmesinde; parafudr da oluşacak gerilim değeri, darbe anma akım değeri ve kısa devre akım değeri gibi kriterler göz önünde bulundurulmalıdır.

Parafudurların nereye konulması gerektiği konusu da önemlidir. Korunması gereken cihazlara en yakın yere takılmalıdır. Ayrıca bu mesafe parafudr ile korunacak cihazlar arasındaki mesafe 10 metreyi geçmemelidir. Parafudurlar faz ve toprak hattı arasına takılmalıdır. Buna ilaveten tesiste yer altı kabloları ile havai hattının birleştiği noktalarda parafudr eklenmelidir [60].



Resim 3.36 Örnek alçak gerilim parafudurları [61]

### 3.8.5.İkaz Etiketleri

Güneş enerji santralının kurulumunda yüksek akım ve voltajlı cihazlar kullanıldığı için santralde yarı amaçlı ikaz levhaları ve etiketleme konulmalıdır.

Burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta levhaların ve etiketlerin mutlaka görünür bir yerde olması ve yeterince büyük olmalıdır. Çünkü santralde dolaşan akım ve voltajın büyük olması, ikaz levhalarını ve etiketlerinin ne denli önemli olduğunu göstermektedir.



Resim 3.37 Güneş Enerji Santrallerinde Uyarı Etiketleri

### 3.8.6.Çift Yönlü Sayaç

Fotovoltaik güneş enerji sistemlerinde enerji üretiminin asıl hesaplanacağı nokta çift yönlü sayaçların olduğu yerdir. Yani faturalandırma çift yönlü sayaca göre yapılır. Tek fazlı ve üç fazlı çeşitleri vardır. Büyük çaplı santraller için iç fazlı olan tip kullanılır. Bu sayaçlarda her üç faz ile ilgili anlık aktif, indüktif reaktif ve kapasitif reaktif enerji değerlerinin üretim ve tüketim kayıtları tutulmaktadır. Bu sayaçlara, kullanılan alt yapı itibarı ile uzaktan erişim mümkündür.

Sistem şebekeye enerji vermeye başladıktan sonra çift yönlü sayaçların, akan reaktif enerji açısından sürekli takibinin yapılması gerekir. Aksi halde indüktif ve kapasitif değerlerin aşılmasına neden olur ve buda yatırımcının cezaya girmesine sebep olur.



Resim 3.38 Çift yönlü sayaç

### 3.8.7.Paratoner

Paratoner bağlandığı sistemi, bulutlarla yer arasında meydana gelen elektrik boşalması ile sonuçlanan yıldırım olayından korunmak için santralde bulunması gereken cihazlardan biridir. Paratonerin görevi yıldırım sonucu oluşan elektrik yükünü istenilen yer aktarmaktır. Paratonerler beş parçadan oluşmaktadır. Bunlar; yakalama çubuğu, iniş iletkeni (bakır), bağlantı parçaları ve direktir. Piyasada 4 farklı çeşit paratoner bulunur. Bunlar; Faraday kafesi, Franklin çubuğu, radyoaktif paratoner ve aktif paratonerlerdir. Ülkemizden en çok kullanılan çeşidi aktif paratonerlerdir.



Resim 3.39 Aktif paratoner

### 3.8.8. Aydınlatma ve Güvenlik

Güneş enerji santralleri büyük çaplı yatırım maliyetine sahip oldukları için bu santrallerde mutlaka bir güvenlik ve aydınlatma sisteminin olması gerekmektedir. Bölüm 3.8.1.'de CCTV sistemi yani kameralar sisteminin olması gerektiği daha önce anlatılmıştır. Bu kameraların özellikle geceleri rahat görüntü alabilmeleri gerekmekte olup optik kaliteleri yüksek olmalıdır. Ayrıca hem gece görüşlerinin rahat

yapılabilmesi hem de santralde bulunan güvenlik görevlisi tarafından takibinin yapılması için mutlaka bir aydınlatma sisteminin de kurulmuş ve topraklanmış olması gerekmektedir. Kamera ve aydınlatma direklerinin santralde uygun görülen yerlerde yapılmalıdır. Dikkat edilmesi gerek hususlardan bir tanesi kamera ve aydınlatma direklerinin uygun yükseklikte olması gerekir. Ayrıca kamera sisteminin yanı sıra santralde 24 saat boyunca en az bir güvenlik görevlisinin bulunması gerekir.



Resim 3.40 Güneş enerji santrallerinde kamera sistemi

#### 4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yazar ve arkadaşı, bu çalışmada, güneş panellerinin, çeşitli nedenlerden dolayı kirlenip veriminin (toz birikimi, ortam sıcaklığı rüzgâr hızı gölge durumu) düştüğünü belirterek, geliştirilmiş su içermeyen temizlik makinesiyle panellerin temizliğini yapıp, bu şekilde temizlenmiş paneller ile konvansiyonel yöntemle temizlenmiş panelin güneş enerjisini ne kadar yakalayacağı ölçülmek istenmiştir. Konvansiyonel yöntemler kısaca aşağıdaki gibidir.

Amaç zorlanmış havanın paneller üzerinden üflenerek temizlenmesini sağlamaktır. Özellikle Birleşik Arap Emirlikleri'nde görülen temizleme yöntemlerinden biridir.

Yağmur suyunun rastgele panelin üzerine düşerek panelin temizlenmesi,

Su bazlı temizleme: Bu yöntemde yüksek basınçlı suyun panellerin yüzeyine temasıyla olur.

Birinin yüzeyi manuel temizlemesi

Mekanik temizleme. Başlığında fırça ya da bir temizleme aparatının olduğu motorlu robotlu sistemlerdir.

Elektrodinamik Ekran. Bu yöntemde su vs kullanmadan panellerin üzerinde gezdirilen özel bir ekranla toz veya kirin kaldırılmasıdır.

Süper hidrofilik yüzey: Bu yöntem yine elektrodinamik sisteme benzer bir yöntemdir.

Süper hidrofilik yüzey

Yukarıda sıralanan tüm yöntemlerin avantaj ve dezavantajları söz konusu olmakla birlikte yazarın tavsiye ettiği su içermeyen güneş paneli temizleme sistemidir.

Su İçermeyen temizlik sistemi:

Bu sistem etkili, su içermeyen, herhangi bir enerjiye ihtiyaç duymayan, ucuz kullanımı uzun süren ve işçi maliyeti olmayan bir sistemdir.

Sistem elektrik ve elektronik devrelerden kuruludur. Bu sistemle güneş panellerinin temizliği yapıldığında yaklaşık %9 civarında bir verim artışının bahsedilmekte olup maliyetinin ise 450 dolar civarında olduğu ifade edilmiştir [62].

Yazar ve arkadaşları bu çalışmada çöl olan arazilerde kurulmuş güneş panellerinin üzerindeki kiri ve tozu minimum enerji ve su harcayarak kaldırmaktır. Ayrıca panellerin yüzeyinde özel maddelerin kullanılmasının verim üzerinde nasıl bir etki yaratacağı da değerlendirilmiştir. 45 gün boyunca basınçlı olmayan su kullanılarak yapılan panel temizliğinde verimdeki düşüşün % 5,50'ye kadar azalırken özel katkı maddeleriyle birlikte kullanıldığında verim aynı kaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca klasik temizlemelerde kullanılan suyun basınçlandırılması yöntemine bu yöntem kullanıldığında gerek olmadığı ve enerji tasarrufunun olduğu gözlemlenmiştir [63].

Yazar ve arkadaşları bu çalışmada, çok yüksek sıcaklık şartlarına varan çevresel koşullarda, güneş panellerinin yaklaşık % 25 veriminin azaldığını ve bunun önüne geçmek için paneller üzerinden açılacak delikler vasıtasıyla panelin sıcaklığının doğal konveksiyon sonucu düşeceği belirtilmiştir. Ancak panelin ortalama sıcaklığı belli bir delik sayısından sonra çok düşük olup ayrıca deliklerin çapının kritik değerde olduğunda panelin soğuması maksimum olmuştur. Aksi halde maksimum soğuma elde edilmediği belirtilmiştir [64].

Yazar ve arkadaşları bu çalışmada pv modüllerindeki hata ya da arızayı kızılötesi termografi yöntemiyle belirleyip, daha sonra bu hataları sınıflandırıp analiz etmek için özel bir algoritma yöntemini kullanılmıştır. Bu hata ya da arıza ayırma yöntemi, ucuz olup ve güneş panellerine zarar vermemektedir. Ayrıca hataların erken teşhis edilmesi ileride doğabilecek problemlerin de önüne geçildiği ifade edilmiştir [65].

Eugene Yu-Ta Chen ve arkadaşları solar panel üzerindeki 2-3 mikron büyüklükteki toz partiküllerinin temizlenmesi verimliliğini araştırmak istemişlerdir. Bu çalışma için bir fırça-disk sistemi kullanılmış olup, çeşitli yükler ve farklı çevresel koşullar altındaki temizlenme verimliliği incelenmiştir. Bu çalışmaya göre kuru toz partiküllerinin temizlenmesinin, uygulanan yükten bağımsız olduğunu ancak partiküller eğer nemli ise uygulanan kuvvet ile temizleme verimliliği birbirine paralel olarak artış göstermiştir [66].

A.Syafig ve arkadaşları kirlenen güneş panellerinin temizliği için kendi kendini temizleme yöntemlerinden özellikle bu yöntemler arasında süper hidrofobik

ve süper hidrofilik kaplama yöntemini çalışmıştır. Süper hidrofilik kaplamanın süper hidrofobik kaplamaya nazaran panel üzerinde daha çok enerji alan bir yüzey oluşturduğunu ancak güneş ışığının az ve gölgeli yerlerde bu yöntemin iyi çalışmadığını belirtmiştir [67].

Xiong ve arkadaşları kristal silikon güneş hücrelerinde korozyon davranışını incelemek için lehimle bağlanmış üç farklı güneş hücresi grubunu iç farklı ortama sokarak gözlem yapmıştır. Deney sonucunda, alüminyum kaplamalarda, arka elektrotlarda ve lehimli bağlantılarda korozyon olduğu ve bu koroziyon bölgenin zamanla arttığını tespit edilmiştir [68].

Nehme ve arkadaşları pv panellerdeki görülen üç problemi çalışmışlardır. Bu problemler; köprü ve topraklama, bağlantılar ve paralel devre geliştirme yolları üzerinde gözlem yapılmıştır. Sonuç olarak her bir problemin çıkış gücünü azalttığını, akım, voltaj ya da her ikisini birden olumsuz olarak etkilediğini fakat bunların hatalı paneller üzerinde denenerek ayarlanıp test edilebileceği vurgulanmıştır [69].

Andeneas ve arkadaşları bu çalışmada, karın optik özellikleri ile ilgili önceki çalışmaları incelemiş ve bunları fotovoltaik güneş panelleri üzerindeki gölgeleme etkileri üzerine çalışmalar ile birlikte birleştirmeye çalışmıştır. Gerçek kış koşullarında panellerin üzerine yağın elektrik üretim kapasitesini ciddi anlamda düşürdüğünü, hatta inverter cihazının bile çalıştırılmayacak düzeye geldiği belirtilmiştir [70].

Mehmet Emin Meral ve arkadaşı bu çalışmada, fotovoltaik panellerin işletmesinde ve veriminde dikkat edilecek hususlarda genel bilgi vermeyi amaçlamıştır. Monokristal panellerin veriminin %15 olduğu ve polikristale göre daha yüksek verime sahip olduğu ancak daha pahalı olduğu, polikristal panellerin ise üretimindeki kolaylıklardan dolayı daha ucuz olduğu ancak monokristalinkinden daha düşük bir verime sahip olduğu vurgulanmıştır. Pv panellerdeki verim arttırmanın bir yolu ise çalışan panellerin içindeki hücrelerin sıcaklığının yükselmesini engellemektir. Panel sıcaklığının 20-25 °C olması en arzu edilen bir durumdur. Diğer verimi arttırmanın yolları ise sistemde kullanılan akülerin şarj kontrol cihazlarının ve inverterlerin dikkatli şekilde seçilmesi ve bu cihazların



içindeki devrelerin sağlam yapılmış olması ve maksimum gücün elde edileceği göz önünde bulundurularak seçilmelidir [71].

Yazar ve arkadaşları, bu çalışmada pv panellerinin çalışmasını etkileyen faktörleri ve bu faktörlerin, fotovoltaik paneller üzerindeki etkisini araştırmıştır. Bu faktörler, şöyle sıralanmıştır: Kurulum faktörleri, maliyet faktörleri çevresel faktörler ve diğer çeşitli faktörler olmak üzere sıralanmıştır. Çevresel faktörler, güneş ışınımı, modül sıcaklığı, toz birikmesi, gölgeleme ve kirlenme olmak üzere sıralanmıştır. Güneş ışınımı fotovoltaik panelin, güneşe olan konumuna göre değişiklik göstermekle birlikte performansı ne kadar etkilediğine dair net bir miktar saptanmamıştır.

Modül sıcaklığı: Bir hücre voltajının değeri optimum işletme koşullarının itibaren hücrenin sıcaklığı her bir santigrat derece arttığında, yaklaşık olarak 2,2 mV değer kadar düşmüştür. Kristal modüller için sıcaklık azaltma faktörü, yaklaşık 0,89'dur. Yani 100 watt değerinde fotovoltaik panel ele alındığında 89 watt gözlemlenir.

Toz birikmesi: fotovoltaik panellerin üzerinde biriken toz, panelde, güneş ışınımının emilmesini engelleyeceğinden dolayı panelde verim kaybına neden olur. Toz düşürme faktörü 0.93'tür. Yani 100 watt değerinde fotovoltaik panelden, üzerinde toz biriktiği takdirde, yaklaşık olarak 93 watt değerinde enerji elde edilir.

Gölgeleme: Quaschnig ve Hanitsch tarafından yapılan bir çalışmada modülün yüzde ikisinin gölgenmesi durumunda, verimin %70 azaldığı görülmüştür. Viitanen'nin yaptığı bir çalışmada ise modülün % 5-10 arasında gölgenmesi durumunda verimin yüzde 80 azaldığı kaydedilmiştir.

Kirlenme: Panelin yüzeyinin kirlenmesinin, yıllık verimin yüzde 5 azaldığına neden olduğu Kimber tarafından deneyle kanıtlanmıştır.

Fotovoltaik sistem faktörleri: Bunlar: akım voltaj karakteristiği, inverter verimi, akü verimi, Fotovoltaik panel yapısı ve panel verimidir.

İnverter verimi: DC akımı AC akıma çeviren bir alettir. Verimin genellikle yüzde 90 civarındadır. Son zamanlarda yapılan teknolojik gelişmeler sayesinde bu verim yüzde 97'ye çıkartılmıştır.

Akü verimi: akü verimini etkileyen birçok faktör olmasına rağmen, diğer arabalarda kullanılan akülerden farklı olmak üzere güneş enerji sistemlerinde kullanılan akülerin ömürleri 3 ile 5 yıl arasındadır.

Fotovoltaik panellerin yapısı: Monokristal panellerin verimi yüzde 16 ile 22 arasında olurken, polikristal panellerin verimi yüzde 12-14 arasındadır. Fakat monokristal panellerin maliyeti daha yüksektir.

Kurulum faktörleri:

Kablo karakteristiği: Kablolar, minimum ihtiyacımızı karşılamak zorundadır ve kablolardaki kayıpların maksimum yüzde 3 olmasa arzu edilir. Kablo, verimi ise yüzde 95'in altında olmamalıdır.

Panellerin açısı: Panellerin açısı kurulumun olduğu bölgeye göre değişir, genellikle enlem derecesi ile panelin kurulum açısı aynıdır. Bu kural, enlemi kırk beş derecenin üstünde olan yerler için geçerli değildir.

Uyumsuzluk problemleri: Bu problemler genellikle panellerin ve modüllerin seri ya da paralel bağlanması esnasında görülür. Örneğin farklı kapasitelere sahip cihazların birbirine bağlanmasında kayıplar söz konusudur. Uyumsuzluk problemlerinde kayıplar genellikle %2-10 arasında değişir [72].

Xiaoqing Gu ve arkadaşları, bu çalışmada, fotovoltaik solar paneller üzerindeki salyangoz izlerinin nedenleri araştırmayı amaçlamışlardır. Özel olarak tasarlanmış değerlendirme test numuneleri ve uygun test koşulları ile 67 saatlik testin ardından çatlak güneş pilleri üzerinde salyangoz izlerini başarıyla oluşturulup. 200 saatlik UV30 + DH200 testinin tamamlanmasının ardından aşağıdaki sonuçları çıkartılmıştır: Salyangoz izlerinin önemli faktörlerinden biri evanın bileşimidir. Uygun malzemelerden yapılmış eva salyangoz izlerine karşı koyabilir. Bazı EVA tedarikçilerinin ürünlerinin iyi çalıştığı kanıtlanmıştır. Arka tabakanın, salyangoz izlerine katkıda bulunan en önemli unsur olmadığı, salyangoz izlerinin her zaman arka tabaka olsun olmasın görülebileceği ifade edilmiştir. Dar çatlaklar veya mikro çatlaklar da önemli bir faktördür. Bu tarz çatlaklar, nemin buharlaşmasını önleyerek nemin modül içinde kalmasına neden olur. Bu durumda salyangoz izlerinin oluşumuna neden olur. Ayrıca düz çizgi çatlakları, lazer kesimin neden olduğu,

salyangoz izlerine dönüşmesinin daha detaylı bir şekilde araştırılmasının gerektiği olduğu ifade edilmiştir. [73].

Yazar ve arkadaşları tarafından bu çalışmada güneş panellerinin üzerindeki gerçek koşullardaki kirlenme ve toz birikintisini laboratuvar ortamında simüle edilmiş ve bu panellerin temizlenmesinde kullanılan temizleme robotlarında kullanılan farklı malzemelerden yapılmış temizleme fırçasının, panelin temizlenmeden önce ve temizlendikten sonraki I-V (akım-volt) karakteristiğini nasıl etkilediğinin araştırılması amaçlanmıştır. Yapılan deneysel çalışma sonucunda, naylon ve kumaş fırça ile yapılan kuru temizliğin, panelin maksimum güç çıkışındaki değeri pek değiştirmedeği, ancak silikon kauçuk fırça ile yapılan temizliğin, panelin maksimum güç çıkışındaki değeri %1 civarında arttırdığı gözlemlenmiştir [74].

Yazar ve arkadaşı tarafından, bu çalışmada çöl şartlarındaki kirli pv modülleri için temizleme sıklığının tahmin edilmesi için, mevcut partikül biriktirme hızı modeline göre basitleştirilmiş bir modelin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan çevresel parametreler, sırasıyla ortam havasındaki ortalama çap için 20 µm eğim açısı için 0° ve partikül konsantrasyonu için 100 µg / m<sup>3</sup>, 2 g / m<sup>2</sup> biriken toz yoğunluğu ile güçte % 5 azalma görülmüştür. Çöl bölgelerindeki pv modülleri için temizleme sıklığı yaklaşık 20 gündür. Bu nedenle, yüksek güç çıkışını korumak için pv modülleri temizliğinin üç hafta olarak belirlenmesi önerilir. Ayrıca ortalama eğim açısı ve partikül çapı gereken temizleme sıklığını değiştirebilir. Çünkü toz biriktirme hızı yer çekimine bağlıdır. Rüzgârın hızının ise gerekli temizleme sıklığına etkisinin düşük olduğunu ifade edilmiştir [75].

Bu çalışmada yazar ve arkadaşları, Malezya şartlarında 10 ay süren ve her 15 dakikalık aralıklarla ölçümleri alınmış ve toplamda 12190 adet test ile 3 farklı pv modül sistemini gerçek çalışma şartlarında incelemiştir. Bu modüller sırasıyla; güneş takip sistemli düz pv modüller, sabit açılı pv modüller ve ayna ile konsantrelili pv modüllerdir. Performans değerlendirmesi, enerji verimi, verim faktörü, kapasite faktörü, güç verimliliği ve pv dizisi verimi kullanılarak hesaplanmıştır. Yapılan veri analizi sonucunda Malezya şartlarında en uygun pv modül sisteminin güneş takipli pv modül olduğu deneysel rakamlar sonucu ortaya çıkmıştır. (Kullanılan panel monokristal panel olup güneş takip sistemi ise çift eksenli sistemdir) [76].

Yazar ve arkadaşları tarafından, bu çalışmada, güneş enerji sistemlerinin, emniyet sağlık ve çevresel etkileri üzerine olumlu ve olumsuz yönleri ile ilgili genel bir değerlendirme yapılmıştır. Fotovoltaik güneş enerjisinin, doğal enerji kaynaklarının korunması, su tüketiminin azaltılması, toprağın daha doğru kullanılması ile hem sulamada kullanılması hem de tarıma elverişli olmayan arazilerin değerlendirilmesi, karbon emisyonunun azaltılması, görüntü ve gürültü kirliliği yönünden olumlu katkısı olduğu, olumsuz özellikleri ise, solar panel üretimindeki kimyasal atıklar, sistemin kurulacağı lokal bölgelerde yüksek maliyetli toprağın üretilen elektriğin birim maliyetinin yükselmesine neden olması, santral sahasının çevreye çevreyle ilgili etkisi ( sahanın temizlenmesi ağaçların gölgeleme etkisinden dolayı kesilmesi, yapılan kuyu çalışmaları ve drenaj hatları vs) ve son olarak ömrünün tamamlamış fotovoltaik panellerin geri dönüşüm problemi olarak sıralanmıştır [77].

Yazar ve arkadaşları tarafından bu çalışmada, kuru bir iklimde (İran şartlarında) şebeke bağlı, aynı verimliliğe ve aynı güce sahip monokristal ve polikristal fotovoltaik modüllerin performansının karşılaştırılması amaçlanmıştır. 20 aylık bir gözlem sonucunda İran şartlarında, polikristal fotovoltaik panelin, daha yüksek ortam sıcaklığında, daha fazla güç ürettiği anlaşılmış olup, hali hazırda polikristal paneller, monokristal panellere göre daha ucuz olmasından dolayı kuru iklimlerde polikristal panelin kullanılması yazar ve arkadaşları tarafından tavsiye edilmiştir [78].

Yazar ve arkadaşları tarafından bu çalışmada şebekeye bağlı fotovoltaik enerji sistemlerinde inverterler ile ilgili detaylı bir tekrar sunulmaya çalışılmıştır. Şebekeye bağlı pv sistemlerde 4 çeşit inverter ile ilgili bilgi verilmiştir. Bunlar; merkezi inverterler, dizi inverterler, çoklu dizi inverterler ve AC modül entegre inverterlerdir. 1-50 MW arasındaki merkezi inverterlerin ticari pv sistemlerinde uygun olduğu, 1-50kW arasındaki dizi inverterlerin hem bina hem de ticari sistemlerde uygun olduğu, modül entegreli inverterlerin cadde aydınlatmaları ve bina uygulamalarında 500 W'a kadar uygun olduğu ifade edilmiştir [79].

Yazar ve arkadaşları tarafından eğitim açısından, fotovoltaik modüllerin tozlanmasında nasıl bir etkisinin olduğu araştırılmıştır. Araştırma, Arizona'da

(ABD) ve çift eksenli güneş takip sistemli fotovoltaik modüller üzerine yapılmıştır. Bu çalışmada Ocak- Mart arası sıfır eğim açısında kirlenmeden dolayı %2.02'lik bir kayıp olduğu, 23<sup>0</sup> eğim açısında %1.05 ve 33<sup>0</sup> eğim açısında %0.96'lık bir kaybın olduğu ve 33<sup>0</sup>'de tozlanmadan olan kaybın 0<sup>0</sup>'dekine göre yaklaşık %50 olduğu ortaya çıkartılmıştır. Ayrıca yağmurun ve rüzgârın eğim açısına bağlı olarak temizleme etkisinin olduğu da vurgulanmıştır [80].

Yazar ve arkadaşları tarafından bu çalışmada, kristal silikon güneş pillerindeki mikro çatlaklardan kaynaklanan güç kaybı riski üzerine deneysel bir çalışma yapılmıştır. Mikro çatlakların etkisinin güç kaybına etkisinin küçük olduğu ancak pv modülünün kullanım süresi arttıkça ciddi kayıplara neden olduğu belirtilmiştir. Genellikle tüm durumlarda, mikro çatlağın alanı güneş pilinin alanının % 8'inden az ise modülün gücünün etkilenmediği, fakat mikro çatlağın alanı, hücrenin alanın %12 ile %50 arasında ise kırılma gerilimi 15 V veya daha fazla olan hücreler için pv modül güç kaybı yaklaşık olarak lineer bir şekilde artar ve sıfırdan başlayıp, bir by-pass diod başına düşen güneş pili sayısının toplam gücü kadar güç kaybı meydana gelir [81].

K.A. Moharram ve arkadaşları tarafından, bu çalışmada, Mısır'ın Cairo şehrinde, çöl şartlarında, fotovoltaik güneş panellerin üzerindeki biriken tozların minimum enerji ve su harcanarak temizlenmesi amaçlanmıştır. Panellerin temizliği için sadece suyun değil su ile birlikte kullanılan anyonik ve katyonik yüzey temizleyicilerin de kullanıldığı deney düzeneği hazırlanmıştır. Üç farklı deney düzeneğinden söz edilmektedir. Bunlar; hiçbir şekilde temizlenmeyen paneller, ikincisi yalnızca su kullanılarak temizlenen paneller, üçüncüsü ise su ile birlikte yüzey temizleyicilerinin de kullanıldığı panellerdir. Çalışma sonucunda yazar ve arkadaşları şunları gözlemlemiştir.

Özellikle çöl şartlarında panel üzerinde biriken toz ciddi oranlarda panellerin verimini düşürmektedir.

Panellerde, basınçlandırılmamış su ile yıkandıktan sonra ortalama her gün % 0,14 lük bir verim kaybı tespit edilmiştir. Yaklaşık 45 günün sonunda, panellerdeki verim kaybı % 50'ye varmıştır. Dolayısıyla sadece su ile yıkamak da panellerin temizliğinde yeterli görülmemektedir.

Anyonik ve katyonik bir karışım kullanılarak yapılan panel temizliğinde, panel üzerindeki yapışan tozların bile kaldırıldığı dolayısıyla panel veriminin hep yüksek kaldığı görülmüştür.

Ayrıca yüzey temizleyici kullanılarak yapılan temizlikte daha az su ve kullanılan suyun basınçlandırılması gerekliliği ortadan kalktığı için enerji tasarrufundan söz edilmesi mümkündür [82].

Hernández-Callejo ve arkadaşları, bu çalışmada fotovoltaik sistemlerin üç ana başlığının olduğunu bunların sırasıyla fotovoltaik sistemlerin tasarımı, işletilmesi ve bakımı olduğu ifade edilmiştir. Daha sonra bunlar detaylıca açılmıştır. Fotovoltaik sistemlerin tasarımının, kritik parçalar ve fotovoltaik sistemin tasarımı olarak iki ayaktan meydana geldiği, kritik parçaların modül ve inverterler olduğu, her ikisinin üzerine daha fazla kapasite ile çalışmalarını için araştırmaların olduğu, özellikle inverterlerin, daha basit olması gerektiği, daha yüksek verimlilikle çalışmasının arzu edildiği ifade edilmiştir. Fotovoltaik sistemlerin şebeke bağlı ve şebekeden bağımsız olarak iki farklı şekilde çalıştırıldığı belirtilmiştir. Yazar ve arkadaşları tarafından fotovoltaik sistemlerin işletilmesi üç ana başlıkta incelenmiştir. Bunlar; genel işletilmesi, hibrit sistemlerin işletilmesi ve güç kalitesidir. Fotovoltaik sistemlerin bakımında ise fotovoltaik sistemlerin performansı, termografi ve elektrolüminans testleri, işletme ve bakımdaki riskler ve hatalar olarak beş başlıkta incelenmiştir [83].

Nallapaneni Manoj Kumar ve arkadaşları tarafından şebekeye bağlı fotovoltaik sistemin teknik boyutlandırmasına ilişkin ayrıntılı bilgi verilmiştir. Bileşenlerle ilgili ayrıntılar, her bir bileşenin bağlı olduğu diğer ekipman(larla) uygun bir şekilde çalışabileceği bir tasarım düşüncesi net bir şekilde açıklanmıştır. Bunun dışında, şebeke bağlı pv sisteminin performans çalışmasını göstermek için 95 kW<sub>p</sub>'lık bir örnek çalışma gösterilmiştir. Bu deneysel sonuçların bir doğrulaması, PVGIS ve PVWatt araçları kullanılarak gerçekleştirilmiştir [84].

Yazar ve arkadaşları tarafından bu çalışmada, güneş enerji santralinin yer seçiminin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için, santralin kurulması ve işletilmesi sırasında maliyeti doğrudan etkileyen üç ana başlığın göz önünde bulundurulması gerektiği ifade edilmiştir. Bunlar; çevresel etkiler, yasal durum ve santralin

verimliliğidir Son olarak Kütahya Dumlupınar Üniversitesi kampüsü örnek bir yer seçimi olarak incelenmiştir [85].

Yazar ve arkadaşları tarafından, bu çalışmada, büyük ölçekli şebeke bağlı pv santrallerinin performansını optimize edilebilmesi için küçük görünse de ihmal edildiğinde kayıplara neden olabilecek noktalara dikkat çekilmiştir. Bunlar: santralde sıcaklık artışı üretim kayıplarına neden olur, gölgeleme oluşabilecek durumların engellenmesi gerekir, kullanılacak olan pv modüllerinin özdeş, dc güç kablolarının mümkün olduğunca kısa olması gerektiği, dc güç kablolarının doğru bir şekilde seçilmiş olması gerektiğidir ve (örneğin uzun mesafede 6 mm<sup>2</sup> kesitli bir kablo kullanılacaksa kaybı azaltmak için kesiti arttırabilir), kullanılacak inverterin sayısının doğru tespiti ve dizi ile uyumlu olması gerektiğidir [86]

Yazar ve arkadaşları tarafından bu çalışmada büyük ölçekli fotovoltaik santrallerde kullanılan ana bileşenler ile ilgili bilgi verilmiştir. Bileşenlerin doğru seçiminin kaplanan alanı, büyük ölçekli fotovoltaik santrallerin verimliliğini ve güvenilirliğini etkilediğini belirtilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- Pv panellerinde kullanılan malzeme, bulunduğu alanda büyük fark yaratmaktadır. Pv panellerinin daha iyi malzemeleri, büyük ölçekli fotovoltaik santrallerin kapladığı alanın azaltılmasını mümkün kılar. Daha yüksek güce ve daha küçük boyuta sahip pv panelleri, büyük ölçekli fotovoltaik santraller için özel olarak geliştirilmelidir. Bu, kurulum maliyetlerini ve kullanılan alanı azaltmamıza yardımcı olacaktır. Bu anlamda silikon güneş pillerinin daha yüksek verime sahip olduğu ve kullanılan arazinin, ince film güneş pillerine göre daha az olduğu için büyük kurulumlar için daha uygundur. Ayrıca, fiyatların gelecek yıllarda düşmesi ve büyük ölçekli fotovoltaik santrallerin geliştirilmesine yardımcı olması beklenmektedir. Bununla birlikte, ince film güneş pilleri teknolojisi hala gelişmekte ve fiyatı kristal veya çok kristalli güneş pillerinden daha düşük olduğu için daha fazla büyük ölçekli fotovoltaik santrallerde bunun kullanılması beklenmektedir.
- Büyük ölçekli fotovoltaik santrallerde en yaygın olarak kullanılan pv inverterleri, bilinen bir teknoloji olduğu ve yenilenebilir enerjinin şebekeye entegrasyonunda

derinlemesine uygulandığı için tek aşamalı evirmeye (DC – AC) sahiptir. Bununla birlikte, dc tarafındaki pv jeneratörünün kontrolünü iyileştirmek için büyük ölçekli fotovoltaiik santrallerin geleceği için DC değişimlerini azaltmamıza izin veren iki aşama caziptir. Ayrıca, bu durumlardan herhangi birinde galvanik izolasyonun eklenmesi büyük ölçüde pv panel tipine ve büyük ölçekli fotovoltaiik santrallerin gerektirdiği elektriksel özelliklere bağlıdır. Galvanik izolasyonlu olsun olmasın bir veya iki kademeli dönüştürücülerin kullanımının avantaj ve dezavantajlarını anlamak için gerçek durum senaryoları göz önünde bulundurularak daha derin çalışmalar gereklidir.

- Bir büyük ölçekli fotovoltaiik santralin performansı çoğunlukla pv inverterlerinin çalışmasına ve kontrolüne bağlıdır. Şimdiye kadar pv inverterleri, şebeke destek fonksiyonları sağlamadan tüketiciyi desteklemek için elektrik standartlarına uyacak şekilde geniş ölçüde geliştirilmiştir. Geleneksel enerji santrallerine olabildiğince benzer davranması gereken büyük ölçekli fotovoltaiik santrallerin geliştirilmesinin gelecekteki eğilimi nedeniyle, pv inverterlerinin işletim ve kontrol özelliklerini iyileştirmesi gerekmektedir. Bununla birlikte, büyük ölçekli fotovoltaiik santralleri için pv inverter teknolojisi ve kontrolünün iyileştirilmesi hakkında pek çok çalışma geliştirilmemiştir.
- Dahili topoloji, büyük ölçekli fotovoltaiik santrallerin performansı için kritiktir. Merkezi topoloji, dünyada geliştirilen büyük ölçekli fotovoltaiik santrallerin çoğu tarafından tercih edilmiştir. Bu, kurulum basitliğine ve genel enerji santralindeki az sayıdaki bileşene bağlı olabilir. Merkezi topolojinin dezavantajı, MPPT kontrolünün etkinliğini azaltan ve çıktı gücünü etkileyen radyasyon değişikliğinin neden olduğu uyumsuzluk kayıplarıdır. Multistring topolojisi daha iyi verimlilik özelliklerine sahiptir çünkü dizi başına ayrılmış bir MPPT kontrolüne sahiptir. Kurulumun karmaşıklığı ve kurulu çok sayıda inverter, bu topolojiyi yatırımcılar için daha az çekici hale getirir. Çok aşamalı inverter topolojisi, büyük ölçekli fotovoltaiik santraller üzerinde büyük bir potansiyele sahiptir, ancak maliyet, verimlilik ve davranış konusunda daha derin araştırmalar gereklidir.



- Seçilen topolojiye ve inverterin nominal gücüne göre transformatör seçilir. Merkezi inverterin gücünden dolayı 90'lı yıllarda geliştirilen fotovoltaik güç santrallerinde yaygın olarak iki sargılı transformatör kullanılmıştır. Bununla birlikte, daha yüksek dereceli merkezi eviricilerin geliştirilmesi, gelişmiş bir transformatöre sahip olma gerekliliğini artırmıştır. Bugün, gerçek büyük ölçekli fotovoltaik santrallerin en çok kullanılan transformatörlerden biri, iki merkezi pv inverterini bağımsız kontrollerine bağlamamıza izin veren üç sargıya sahiptir. Ancak çok telli eviriciler söz konusu olduğunda, iki sargılı transformatörü hala kullanılmaktadır. Büyük ölçekli fotovoltaik santraller için transformatörlerin gelecekteki eğilimi, özellikle inverterin teknolojisini ve kontrolünü nasıl geliştirdiğine bağlıdır. Boyutları, işletimi, bakımı, güç kalitesi, büyük ölçekli fotovoltaik santrallerindeki güncel endişelerdir ve yeni transformatör üretimi üzerine derin araştırmalar hala yapılmaktadır.
- Bu derlemede, AC kolektör sistemi seçenekleri için çeşitli kavramsal tasarımların kayıplar, güvenilirlik ve ekonomiklik açısından bir karşılaştırması sunulmuştur. Gerçek büyük ölçekli fotovoltaik santrallerin en düşük kablo maliyetine sahip olduğu için radyal konfigürasyon en çok kullanılanıdır. Şu anda, bu tür uygulamalar için kolektör sistemi seçeneklerini ve güneş radyasyonu ve sıcaklık değişiminin herhangi bir konfigürasyonun performansını nasıl etkilediğini karşılaştıran herhangi bir çalışma yok. Gelecek yıllarda, en çok radyal veya halka konfigürasyonunun kullanımı yaygınlaşacaktır.
- Bununla birlikte, pv dizisi, DC güç sağladığından, AC yerine DC toplama şebekesine sahip olmak daha çekici olacaktır. Bu, DC-DC dönüştürücüler ve korumaların gelecek yıllarda nasıl gelişeceğine ve dc teknolojisinin fiyatının nasıl düşeceğine bağlı olacaktır.
- Büyük ölçekli fotovoltaik santrallerin geleceği, fiyatların düşmesine, boyutunun küçültülmesine, geliştirilmesinde kullanılan farklı unsurların (pv paneller, transformatörler ve inverterler) verimliliğinin iyileştirilmesine bağlıdır. Fiyatlar yeterince düşürüldükten sonra, dahili konfigürasyon ve toplama şebekesi, maliyet, sağlamlık, güvenilirlik ve esneklik açısından büyük ölçekli fotovoltaik santrallerde gelecekteki endişelerin bir parçası olacaktır. Elemanların ve

konfigürasyonun endişesiyle birlikte, büyük ölçekli fotovoltaik santrallerin kontrolünü ve enerji yönetimini iyileştirme ihtiyacı artmaktadır. Eğilim, büyük ölçekli fotovoltaik santrallerin şebeke kodu gereksinimlerini dikkate alarak geleneksel enerji santrallerine olabildiğince benzer davranmasını kontrol etmektir [87].

Ashish Verma ve Shivya Singhal tarafından, bu çalışmada, bir güneş enerjisi santralının performansını optimize edebilmek için atılabilecek birkaç adım önerilmesi amaçlanmıştır. Bu adımların aslında küçük görünebileceği, ancak gözden kaçırıldığı takdirde santralde büyük kayıplara neden olabileceği ifade edilmiştir. Hindistan'daki 20 MW'lık bir santralin örnek olarak ele alındığı bu çalışmada, santralde gözlemlenen ve kayıplara neden olan hatalar çıkartılmıştır. Buna göre: sıcaklıktan kaynaklanan kayıplar, meteorolojik ya da meteororm verilerine kıyasla daha yüksektir. Gölgelemeden dolayı oluşabilecek kayıplar, santral sahasının şartlarının iyileştirilmesi yolu ile bertaraf edilebilir. Kullanılan pv modüllerinin özdeş olması gerekir. Aksi halde enerji kaybı olacaktır. Diziden, dizi toplama kutusuna kadar doğru seçilmemiş dc kablolardan ve uzun dc kablolardan dolayı kablo kayıplar artar. Bu yüzden uzun mesafedeki kablolar için daha yüksek kesitli kabloların kullanılması tavsiye edilir. İnverter büyüklüğünün doğru seçilmesi gerekli olup, ayrıca inverter üreticisi ile görüşülüp, inverter içindeki kayıpların tam olarak inverterin neresinde gerçekleştiğini tespit edilmesi gerekir. Santralde oluşabilecek herhangi bir lokal kaybın tespiti için scada sisteminin kullanılması gereklidir. Böylece herhangi bir arızanın tespiti ve müdahalesi kolaylaşacaktır [88].

Yazar ve arkadaşı bu çalışmada normal işletim / bakım sırasında pv sistemlerinde güvenliğin önemini açıklığa kavuşturmak, kurulu pv çalışma ortamı için temel bir bütünsel risk değerlendirmesi oluşturmak, pv sistemlerinin işletimi / bakımı ile ilgili olası tehlikeleri sektörde uzman olan kişilerden yardım alıp, analiz yoluyla belirlemek ve bunları değerlendirmeyi amaçlamıştır. Yapılan analizin kapsamı, normal işletim / bakım sırasında pv sistemlerinde güvenliğin önemini açıklığa kavuşturmak, kurulu pv çalışma ortamı için temel bütünsel bir risk değerlendirmesi oluşturmak, pv sistemlerinin işletimi / bakımı ile ilgili olası tehlikeleri tanımlamak ve ilgili tehlikeleri değerlendirmektir. Metodoloji, pv

tehlikelerinin tanımlanması ve değerlendirilmesi için kritik bir risk yönetimi aracı düşünen operasyonel risk yönetimi sürecini içermektedir. Tehlike tanımlama sürecinde, pv işlemleri / bakımı ile ilgili üç tehlike kategorisi belirlenmiştir: doğal tehlikeler, insan yapımı tehlikeler ve teknolojik tehlikeler. Tanımlanan tehlikelerin her biri için bir olay, durum, sonuç grafiği" oluşturulmuştur. Bu süreçte toplam 28 olay, 44 durum ve 13 olası sonuç belirlenmiştir. Bir pv dizi konusu uzmanından, her bir tehlike senaryosunun olasılığını, ciddiyetini ve ağırlığını değerlendirmeleri istenmiştir. En yüksek ortalama puanları toplayan senaryolar, teknolojik tehlikeler (elektrik) ve yangınla mücadele operasyonları ile ilgilidir. Bir havacılık kazası olasılığı çok düşük bir seviyede değerlendirilmiştir. İnsan yapımı bir tehlikenin vandalizm / hırsızlık / sabotajla ilişkili olduğu tespit edilmiştir ve orta düzey risk olarak değerlendirilmiştir. Operasyonel risk yönetiminin, pv tehlikelerinin belirlenmesi / değerlendirilmesi için çok yararlı bir araç olduğu görülmüştür. PV risklerinin daha nicel bir düzeyde yeniden değerlendirilmesi çok önemlidir. Bu, şu an için yalnızca pv operasyonları / bakım aksaklıkları ile ilgili yeterli nicel verilerin mevcut olması durumunda uygulanabilir olmayacaktır [89].

Bosman ve vd. tarafından bu çalışmada fotovoltaik santrallerde önleyici bakım hizmetleri konusundaki zorlukların, güncel yaklaşımların ve fırsatları değerlendirilmesi konusunda bilgi verilmesi amaçlanmıştır. Güneş enerji santralinde, kurulum esnasında olan hatalar, kullanılan ekipmanlardaki hatalar ya da işletim esnasında zamanla ekipmanlarda görülen dejenerasyondan dolayı oluşan hatalar nedeni ile belirli periyotlarla mutlaka bir bakım onarım faaliyetine tabii tutulması gerekir. En basitinden santralin ömrünün 25 yıl ve inverter ömürlerinin on yıl olduğu düşünülürse santralin ömrü boyunca inverterlerin en az bir kez değiştirilmesi gerektiği anlaşılır. Önleyici bakım hizmetleri içerisinde 4 yaklaşımın sıralanması aşağıdaki gibidir. Bunlar: manuel teşhis ( en ucuz yöntemdir fakat arıza teşhisi ile ilgili kesinlik hassasiyeti azdır), hata modları ve etki analizi yöntemi ve bilgisayar destekli yazılım ile öğrenme yöntemi (ne ucuz ne pahalı bir yöntemlerdir ancak hata bulma hassasiyeti manuel teşhise göre yüksek diğer yöntemlere göre düşüktür). Gerçek zamanlı sensörler ile hata öğrenme (en pahalı fakat en güvenilir yöntemdir).

Manuel Teşhis: Genel olarak, bu yaklaşım en ucuz olanıdır ancak en düşük doğruluk oranını sunar. Bu yöntem önleyici bakıma hem kalitatif (sistemin ve tek tek bileşenlerin görsel muayenesi ve pv panellerinin kızılötesi termografisi) hem de nicel yaklaşımları (I-V eğrisi ve PV panellerinin yalıtım direnci analizi) kapsamaktadır.

Hata modları ve etki analizi yöntemi: Arıza modlarının ve etkilerinin analizi, arızaları önlemek için kullanılacak eylemleri belirlemek için sistemdeki nedenleri ve etkileri belirleyerek bir sürecin risklerini analiz etmek ve arızaları önlemek için kullanılan yarı nitel bir yöntemdir. Arıza modlarının ve etkilerinin analizi yaklaşımı, en yüksek arıza riskine sahip bileşenleri belirlemek için pv sistemlerinde kullanılmıştır. Bazı araştırmalar, daha yüksek arıza olasılığına sahip bileşenleri belirlemek için geçmiş verilerin analizine dayanırken, diğerleri belirli iklim koşullarına maruz kalan pv sistemlerine odaklanmıştır. Araştırmalar birkaç sonuç vermiştir, ancak hepsinin amacı, arıza riskini azaltmak ve pv sistemlerinin performansını artırmak için aynıdır. Bir sistemin bileşenlerinin ve alt bileşenlerinin arızalarının belirlenmesi, bir pv sisteminin tahmini bir yaşam modeli oluşturmanın ilk adımıdır. Bir pv sistemindeki bileşenlerin arızalanması iki ana sonuca neden olur: birincisi parçaların hasar görmesi ve ikincisi enerji üretiminin kaybı. Arıza modu, etkileri ve kritiklik analizi metodolojisi, fotovoltaiik sistemlerdeki potansiyel arızaların etkisini azaltmaya ve böylece elektrik performansını artırmaya çalışır.

Bilgisayar destekli yazılım yöntemi: Genel olarak, bu yaklaşım orta derecede pahalıdır ve orta düzeyde tespit doğruluğu sağlar. Güneş enerjisini tahmin etmek üzerine yapılan mevcut araştırma, gerileyen süreçleri ve mikro iklim parametrelerini kullanarak, daha yüksek katkı oranına sahip parametrik faktörleri bularak veya hava verilerinde zamansal kalıpları açığa çıkararak kısa süreli aralıklar için yerleştirilmiş tahminler araştırma ve yapay zekâ yolu ile modelleme yöntemini üzerine kurulmuş bir yöntemdir.

Gerçek zamanlı sensör kullanma yöntemi: Genel olarak, bu yaklaşım en pahalıdır ancak en yüksek algılama doğruluğunu sunar. Pv panelinin güneşin yönüne göre otomatik olarak yönlendirildiği izleme amacıyla sensörlerin kullanıldığı iyi bilinmektedir. Bununla birlikte, bazı durumlarda, kalite kontrol sorunlarını

değerlendirmesinde pv sistemini izlemek için gerçek zamanlı sensörler de kullanılmıştır [90].

Yazar ve arkadaşları tarafından, bu çalışmada (pv) kurulumlarla ilişkili ana hatalar ve bozunma mekanizmalarına genel bir bakışın sunulması amaçlanmıştır. Ayrıca, bunları azaltmak için kullanılan temel teknik prosedürler analiz edilmiştir. Pv teknolojisi, ölçeklenebilirliği nedeniyle çok çeşitli sistemlerde kullanılabilse de, bu makale, güneş modüllerinin bozulmalara ve kusurlara neden olan çevresel faktörlere maruz kaldığı endüstriyel alana odaklanılmıştır. Pv modüllerinin hava koşullarına maruz kalmasının neden olduğu ana olaylar: kirlenme, kar birikmesi, korozyon veya delaminasyondur. Ek olarak, çatlaklar veya sıcak noktalar da pv kurulumunun verimliliğinde kayıplara neden olabilir. Dikkate alınan referanslar, kirlenmenin genellikle çöl bölgelerinde daha çok etkili olduğunu ve uygun bakım eylemleriyle hafifletilebilecek kısa vadeli bir etkiye sahip olduğunu belirtilmektedir. Kirlenme ile ilgili yayınlanan çalışma sayısının son on yılda iki katına çıktığı tespit edilmiştir. Kar veya buz birikimi ile ilgili olarak, literatürde çok fazla çalışmanın olmadığı ve be çalışmaların ise bir takım değerlendirmelerden ibaret olduğu tespit edilmiştir. Hava koşullarından kaynaklanan zarar verici maddeler arasında korozyon, en çok çalışılan alandır (fotovoltaik arızaları hakkındaki tüm yayınların yaklaşık% 40'ı). Bu hata türü, pv modüllerinin güç çıkışını ciddi şekilde etkileyen geri dönüşü olmayan hasarlara neden olur. Pv kusurları ile ilgili yayınların % 15'inden fazlasında çatlaklardan bahsedilmektedir. Birden çok etken neden olabilir ve literatürün çoğu, genellikle elektrolüminans varyasyonları yoluyla bunların saptanmasına odaklanır. Birden fazla nedenden kaynaklanabilecek diğer arıza çeşidi, sıcaklık değişimleri ve önemli güç kayıplarına neden olan sıcak noktalardır. Sıcak noktaların tespitinde, termografi yöntemi, genellikle kullanılan bir tekniktir. Pv modüllerinin ve güneş enerjisi santrallerinin durumunun sağlıklı bir şekilde saptanmasını sağlamak için durum tespit izleme teknikleri kullanılır. İnsansız hava araçları veya yapay zekâ gibi yeni teknolojiler ve yaklaşımlar, daha verimli bakım görevlerine ve ardından kurulumların daha iyi performans göstermesine yol açar. Literatür analizi yoluyla, fotovoltaik enerjide önleyici bakımın, durum izleme veya arıza tespitine göre daha az çalışıldığına ulaşılmıştır. Önleme faaliyetleri genellikle geri döndürülemez hataların

ortaya çıkmasını önlemeye yöneliktir, örnek olarak korozyon veya çatlaklar verilebilir. Pv modüllerinin hatalarının çoğu geri döndürülemez olduğundan ve etkileri çoğu kez hafifletilemediğinden, etkilerin azaltılması ile ilgili araştırmalar yeterince yapılmamıştır. Modülleri temizlemek ve kurutmak için yöntemler ve teknikler genellikle en çok çalışılan konudur. Ana pv enerji üreticileriyle ilgili olarak, araştırma ve geliştirme harcamalarıyla yakından bağlantılı olan yayın miktarı ile pv enerjisi üretimi arasında güçlü bir korelasyon tespit edilmiştir. Ayrıca bu ülkeler arasındaki temel üretim eşitsizliklerini üreten faktörün güneş ışınımı olmadığı tespit edilmiştir. Son olarak, bazı sınırlamalar ve gelecekteki zorluklar tespit edilmiştir. Bozunma mekanizmalarının pv malzemeleri üzerindeki etkilerinin daha fazla açıklaması, örnek olarak salyangoz adı verilen yollarının organik malzemeler üzerindeki görünümü; Ekonomi üzerine bir anket ve bozunma mekanizmalarının görünmesiyle bağlantılı enerji üretimi kayıpları ve pv güç üretimine uygulanan algılama, önleme ve azaltma tekniklerinin ekonomik ve enerji üretimi faydaları verilebilir [91].

Yazar ve arkadaşları tarafından bu çalışmanın ilk amacının elektriksel ve termal yönden fotovoltaiik modüllerde, işletme sırasında, en sık görülen hataların araştırılması ikinci amacın ise, kızıl ötesi fotoğraflama tekniği vasıtasıyla hata bulma ile ilgili son zamanlarda yapılmış olan güncel bilgilerin derlenmesi olduğu belirtilmiştir. Hataların sınıflandırılması kısmında, pv modüllerin işletilmesi esnasında gözlenen sıcak çizgilerin ve akım-voltaj grafiklerinin en az bir hata çeşidi ile ilişkilendirilebileceği tanımlanabilir. Ancak bu bozulmaların ya da hataların tespitinden sonra bile ne zaman ortaya çıktıkları ve nasıl başladıkları konusu, ilgili konunun zor olan yönlerindedir. Aslında, bu tür bilgi boşluklarının ele alınması, gelecekteki üreticiler için optimum ve gerçekçi garanti süreleri, yeterli güvenilirlik testleri ve modül tasarım iyileştirmeleri, gelecekteki yatırımcılar için pv modüllerinin yaşam süresinin daha kesin tahminleri ve dolayısıyla daha doğru yaşam döngüsü maliyetleri modelleri, gelecekteki pv tesisi operatörleri için bakım stratejilerinin uygun zamanlaması ve bir pv sisteminin en önemli parçası olan pv modülünün güvenilirliğini ve kullanılabilirliğini artırırken pv elektrik maliyetlerinde azalması yönünden oldukça önem arz etmektedir. Daha önce yayımlanan raporlara ve

literatürdeki araştırmalara göre kızılötesi izleme yöntemi oldukça rekabetçi ve iyi kurgulanmış arıza tespit yöntemidir. Bu yöntemin güvenilirliği ve doğruluğu kanıtlanmış olmakla birlikte tespit edilen hatanın elektrik performans düşüşü açısından ölçümünün yapılması zor ancak yapılması gereklidir. Ayrıca, büyük ölçekli pv tesisleri için arıza teşhisinin ve önleyici bakım programlarının ayrılmaz bir parçası olarak, son gelişmelerin, devam eden araştırmaların ve gelecekteki araştırma zorluklarının nihai hedefi, sahada standartlaştırılmış kızıl ötesi görüntüleme ile hata tespiti ölçümlerinin yapılabilmesi için çalışmalar devam etmektedir. Bu yüzden, ticari başarıya ulaşmayı amaçlayan pv tesisleri için kızıl ötesi görüntüleme tabanlı arıza teşhisinin gelecekteki hizmetleri, aşağıdaki özellikleri içermelidir:

- Kızıl ötesi termal görüntüleme sistemi yararlanılarak elde edilen tam bir hata teşhisinde, hem görüntü desenleri hem de radyo metrik dalgalar bilgisi yer almalıdır.
- Büyük ölçekli santrallere uygun olmalıdır.
- Ölçümün güvenilir ve doğruluğu iki yolla sağlanır. Bunlar akım voltaj grafiği ya da elektrolüminans değeri gibi yardımcı araçlarla sağlanması, diğer yol ise üretim standartları ile uygun olması

Havadan insansız hava araçları ya da drone ile kızıl ötesi termal görüntüleme tekniği henüz yeni ve geliştirilmeye muhtaç bir konudur. Ayrıca standardizasyonu henüz tamamlanma sürecindedir [92].

Yazar ve arkadaşı bu çalışmada şebekeye bağlı 1 MW büyüklüğünde bir fotovoltaik santralin tasarımını incelemiştir. Tasarımın yapılabilmesi için ilk olarak ihtiyaç duyulan güç miktarı belirlenmelidir. Daha sonra, sırasıyla panellerin ve panellere uygun inverterlerin ve transformatör hesaplamaları gerekmektedir. Ayrıca en verimli ve çevre dostu bir pv santralin inşa edilmesi için sektörün hala geliştirilmeye açık olduğu vurgulanmıştır [93].

Yazar ve arkadaşı tarafından bu çalışmada inverter kapasitesinin büyük ölçekli fotovoltaik santrallerdeki performans üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Büyük ölçekli enerji santrallerinde kullanılacak inverter türü, zaman akademik toplumda tartışılmaktadır. Dolayısıyla literatürde pv inverterleri ile ilgili bazı çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmada, bir güneş enerjisi santralindeki farklı inverter tiplerinin

performanslarını analiz edilmiştir. Farklı inverter tiplerinin performansı, çeşitli ölçüm ve simülasyon yöntemleriyle analiz edilmiştir. Mikro inverterlerin yıllık ortalama inverter kaybı ve yıllık ortalama enerji üretimi sırasıyla 262,85 kWh ve 2905,62 MWh'dir. Dizi inverterlerin yıllık ortalama inverter kaybı ve yıllık ortalama enerji üretimi sırasıyla 147,36 kWh ve 3024,65 MWh'dir. Merkezi inverterlerin yıllık ortalama inverter kaybı ve yıllık ortalama enerji üretimi 104,08 kWh ve 3064,25 MWh'tir. Bulgular, dizi inverterin mikro invertere kıyasla% 4,09 daha fazla enerji ürettiğini göstermektedir; merkezi invertörün mikro invertere göre% 5,45 daha fazla enerji ürettiği ve yine merkezi inverterin dizi invertere göre % 1,3 daha fazla enerji ürettiği anlaşılmıştır. Ayrıca dizi inverterdeki kaybın mikro invertere göre % 43,93 daha az olduğu; merkezi inverterdeki kaybın mikro invertere kıyasla% 60,4 daha az olduğu ve yine merkezi inverterdeki kayıp, dizi inverterdekine göre% 29,37 daha az olduğu görülmüştür. İnverter kapasitesi arttıkça, inverter maliyeti düştüğü anlaşılmıştır. Dizi inverterin yatırım maliyeti, bir mikro inverter ve bir merkezi invertere kıyasla sırasıyla% 30,84 ve% 167,05 daha pahalıdır. Literatürdeki güçlere göre birçok inverter tipi ve modeli bulunmaktadır. Bu nedenle, bu çalışma aynı marka inverter tipindeki performans farkına odaklanmaktadır. Global MPPT algoritmalarında bazı farklılıklar vardır. Bu durum ihmal edilmektedir. Sonuç olarak, mikro inverterlerin daha az enerji ürettikleri ve daha fazla kayba neden oldukları söylenebilir; dizi inverterlerinin orta miktarda enerji ürettiği ve orta düzeyde kayıplara neden olduğu ve merkezi inverterlerin en yüksek miktarda enerji ürettiği ve en az miktarda kayba neden olduğu. Bu nedenle, yüksek kapasiteli inverterlerin kullanılması, büyük ölçekli santrallerin performansına olumlu katkı sağlamaktadır [94].

Yazar ve arkadaşı, bu çalışmada, farklı üç tip pv panelleri analiz etmeye ve Kahramanmaraş için en uygun panel tipini, her biri 3-kW<sub>p</sub> ve şebekeye bağlı üç ayrı pv sistemiyle belirlemeye çalışmıştır. Ayrıca bu çalışmanın, bölgedeki uygun pv güç sistemini belirlemek için tüm yönleri ele alan ilk araştırma projesi olduğu ifade edilmiştir. Türkiye'nin Kahramanmaraş İli, güneş enerjisinden üretilen elektrik açısından iyi bir performans sergilemektedir. Bununla birlikte, kullanılacak en uygun panel türü hakkında hiçbir araştırma yapılmamıştır. Bu nedenle, bu çalışmada seçilen



bölgeye en uygun pv panel tipini belirlenmesi amaçlanmıştır. Literatürde fotovoltaiik paneller üzerine detaylı çalışmalar olmakla birlikte, diğer çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada üç farklı tipte panel (monokristal, polikristal ve ince film paneller) seçilerek, şebekeye bağlı üç bağımsız 3-kW<sub>p</sub> pv güç sistemi kurulmuştur. Seçilen bölge için en uygun pv panelini bulunması, yatırımcılar için en önemli kıstas olan başa baş noktasıdır. Bu açıdan polikristal tip pv panellerden oluşan sistem, bölgeye daha uygun ve diğer iki sisteme göre daha verimli olduğu anlaşılmıştır. Ancak sistemlerin kapladığı alan, özellikle çatıda mevcut alan ve arsa üzerindeki kurulumun maliyeti yatırımcılar için daha önemlidir. Ortam sıcaklığının panellerin verimliliğine etkileri de incelenmiştir. İnce film panelin ortam sıcaklığı yüksek olan bu bölgedeki diğer şehirlerle rekabet edebileceği sonucuna varılmıştır. Öte yandan, ince film panel, çatı montajı söz konusu olduğunda ağırlık açısından bir avantaja sahiptir. Ancak diğer iki sisteme göre daha fazla alan kaplarlar. Bölgedeki ortalama bir çözüm için, daha az alan kapladığı ve daha az ağırlığa sahip olduğu için monokristal tip paneller üzere seçilebilir. Polikristalden oluşan sistemin yatırımcılar için en kısa başa baş noktası açısından bölge için en uygun tip olduğu sonucuna varılmıştır [95].

Yazar tarafından bu çalışmada, büyük ölçekli bir fotovoltaiik güneş enerji santralinde (100 MW) beklenen risklerin ve gözlemlenen risklerin karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışma sonucunda, özellikle çok büyük santrallerde, santralin devreye alındığı andan sonra santralde atık malzemenin hemen toplanması gerektiği vurgulanmıştır. Saha seçiminde canlı bir bitki örtüsünün olmadığı, santralin kurulmasının ardından santral için sorun çıkartmayacak olan arazi tipinin seçilmesi daha iyi olacağı ifade edilmiştir. Proje geliştiricisi için, santral sahasının olduğu yerdeki yerel halk ile iletişimin güçlendirilmesi, santralin mantığının anlaşılmasını ve doğabilecek iş imkânlarından yararlanabileceklerinin anlaşılmasını sağlamamasının önemi vurgulanmıştır [96].

Yazar ve arkadaşı tarafında, bu çalışma kapsamında Türkiye'de 19 farklı fotovoltaiik enerji santralleri (toplam 115,36 MWp) için farklı yöntemlerle gerçekleştirilen kızıl ötesi termal görüntüleme incelemelerinin sonuçları analiz edilmiş ve teşhis edilen arızalar sınıflandırılmıştır. Türkiye'deki 19 farklı fotovoltaiik

enerji santrallerinin (toplam 115,36 MWp) için kızıl ötesi termal görüntüleme incelemesi üzerine yapılan deney, aşağıdaki arıza türlerinin yaygın olduğunu göstermiştir: Bunlar, pv modülleri üzerindeki aktif by-pas diyotları ve sıcak noktalar, çalışmayan modüller ve diziler, anormal derecede ısınmış kablolar / sigortalar / kesiciler ve ara bağlantı noktalarıdır. Sonuçlar ayrıca, testin örnekleme oranının doğru bir inceleme yapmak için çok kritik olduğunu ortaya koymuştur. Tüm pv modüllerinin ve birleştirme kutularının yerinde incelenmesi şiddetle tavsiye edilmektedir.

19 farklı projenin kızıl ötesi termal görüntüleme denetimi sırasında tespit edilen toplam arıza sayısı 241'dir. Arızaların sınıflandırılması aşağıdaki gibidir:

- Isıtmalı bağlantılar (kablolar / sigortalar / kesiciler) % 28
- Pv modüllerindeki sıcak noktalar % 25
- Aktif baypas diyotları % 19
- Operatif olmayan dize tabloları % 13
- Isıtmalı bağlantı kutuları % 10
- Kırılmış modüller % 5

İncelenen arıza türleri ayrıca aşağıdaki şekilde sınıflandırılır:

İncelenen 19 fotovoltaik enerji santralinden 7'si aktif by-pass diyotlarından oluşmaktadır. Bunlardan birinde (fotovoltaik enerji santrali 8) yukarıdaki arıza tiplerinin yaklaşık % 80'inin olduğu görülmüştür. Bu hata tipi daha çok üreticiyle ilgilidir ve ayrıca fotovoltaik enerji santrali 13, fotovoltaik enerji santrali 17 ve fotovoltaik enerji santrali 19 için de aynı durumun söz konusu olduğu görülmüştür.

- İncelenen 19 fotovoltaik enerji santralinden 11'inde pv modülleri üzerindeki sıcak noktalar kusurunun olduğu görülmüştür. Bazı durumlarda, bu sıcak noktalar kırık hücreler, yüksek direnç veya soğuk lehim noktaları, modül çerçevesindeki hatalı izolasyon, hücrelerin farklı bozulma oranları gibi üretici arızalarından kaynaklanmıştır. Bazı durumlarda, bu sıcak noktalar kısmi gölgeleme ve kirlenme / toz birikintileri nedeniyle meydana gelebilir. Bu arıza çeşidinin, fotovoltaik enerji santrali 5'de ve fotovoltaik enerji santrali 6'da çok daha fazla görüldüğü anlaşılmıştır.

- İncelenen 19 fotovoltaik enerji santralinden 7'si için çalışmayan dizi sehplarının olduğu tespit edilmiştir. Bu arızalar esas olarak sistemlerin ilk işletme aşamasında gözlenir. Bazı durumlarda, diziler yanlış kutuplarla oluşturabilir. İşletme aşamasında hasarlı kablolar ve sigortalar da bu arızalara neden olabilir. 19 projeden biri (fotovoltaik enerji santrali 3), daha çok işçilik hatalarından kaynaklanan dizi sehplarının çalışmadığı tespit edilmiştir.
- İncelenen 19 santralden 15'i anormal derecede ısınmış kablolar / sigortalar / kesiciler ve ara bağlantı noktalarının olduğu görülmüştür. Bu arızalar, kablo boyutlarının yanlış hesaplanması, ara bağlantı noktalarındaki gevşek vidalar ve hatalı kesicilerden kaynaklanabilir.
- İncelenen 19 santralden 8'i kırık modüllerden oluşmuştur. Bu arızalar esas olarak pv modüllerinin nakliyesi ve kurulumundan kaynaklanmaktadır. Nadiren, çevreleyen faktörler bu sorunlara yol açar (serbest düşen mermiler, kuş pisliği gibi)

Kızıl ötesi termal incelemesi, zemine monte edilmiş ve ayrıca çatı üstü pv sistemleri için kolaylıkla yapılabilir. Türkiye'de de en etkili kızıl ötesi termal inceleme yönteminin vinç / lift ile gerçekleştirilebileceği sonucuna varılmıştır. Bu yöntem aynı zamanda modül açısı ve alan topolojisinden yürüme yoluyla kızıl ötesi termal görüntülemeye göre daha az etkilidir. Ayrıca drone ile kızıl ötesi termal inceleme yönteminde titreşim ve ağırlık tahsisi nedeniyle görüntü kalitesi düşürülmüştür. Ayrıca kızıl ötesi termal görüntüleme yöntemlerinin finansal tarafında işçilik maliyetleri nedeniyle Türkiye için en ucuz yöntemdir. Bu yöntemle en iyi görüntü kalitesi elde edilirken zaman alması yöntemin bir dezavantajıdır. Ayrıca aşırı sıcaklık gibi zorlu koşullarda çalışan bu yöntemle sonuçlarda daha çok insan hatalarının meydana gelmesi beklenmektedir. Vinç yöntemi orta maliyetlidir. Görüntü kalitesi yatırımcılar tarafından kabul edilebilir. Servis süresi de ortalamadır. Ancak bu yöntemde, sert zemin gibi sabit saha koşullarına ihtiyaç duyulur. Ayrıca bazı yatırımcılar sahada vinç çalıştırma riski almamaktadır. Drone yöntemi, her bileşen için mevcut teknoloji piyasa fiyatları nedeniyle tüm yöntemlerin en pahalı yöntemidir. Ancak drone yöntemi en hızlı yöntemdir. Fakat görüntü kalitesi ortalamanın altındadır. Drone ile çekilen fotoğraflar veya videolar genellikle

yatırımcıların işine yaramaz. Görüntülerin incelenmesinden sonra, uzman tarafından biraz daha fotoğraf çekilmesi gerekmektedir [97].

İncelenen pv sisteminin bozulması da hem doğrusal regresyon hem de klasik mevsimsel ayrıştırma yöntemleri uygulanarak değerlendirilmiştir. Bozulma oranı, performans oranı PO zaman serilerinde doğrusal regresyon yöntemini kullanarak yaklaşık % 0,52 ve klasik ayrıştırma yöntemini uygulayarak % 1,48 / yıldır. Bozulma oranlarının karşılaştırılması, literatürde çeşitli kristal modül teknolojileri için mevcut olup ve farklı iklim koşulları da gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, incelenen pv sisteminin tipik Akdeniz iklim değerleriyle uyumlu bir bozulma oranı sergilediğini göstermektedir. Ayrıca, bozunma oranının farklı iklimler için değiştiği not edilebilir. Özellikle, kullanılan modül teknolojilerine ve izlenen süreye ve ayrıca bozunma oranını hesaplamak için kullanılan yöntemle bağlıdır. Bozulma oranının bu tür değişkenlere olan bağımlılığının belirlenmesi için standart bir yöntem olan ihtiyacı göstermektedir. Gelecekteki çalışmalar, sonuçları etkileyebilecek çeşitli parametreleri hesaba katarak bozunma modellemesine odaklanmalıdır. Son olarak, pv sisteminin beklenen performansını tahmin etmek için iki pv simülasyon aracı düşünülmüştür. ARPA meteoroloji veri tabanı, bu araçların iklimsel girdi verileri için kullanılmıştır. AC enerji çıkışının izleme verileri ve simülasyon sonuçları arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Sonuçlar, SAM ve Pvsyst'in sırasıyla % 3,5 ve % 3,3 için düşük tahmin edilen AC enerji değerleri verdiğini göstermektedir. Performans oranı SAM tarafından fazla tahmin edilmiştir ve yıllık ortalama mutlak hata ile Pvsyst tarafından olduğundan az tahmin edilmiştir. Her iki araç için de % 3,3. Pvsyst esas olarak yakalama ve sistem kaybını fazla tahmin ederken, SAM yakalama kayıplarını olduğundan az tahmin etme ve sistem kayıplarını fazla tahmin etme eğilimindedir. Genel olarak, şebekeye verilen enerji, her iki araçtan tahmin edilen verilerle iyi bir uyum içindedir. Simülasyon sonuçları ile ölçülen veriler arasındaki farklar, temel olarak iki pv simülasyon aracı tarafından talep edilen girdi parametrelerinin farklı bir ayrıntısına bağlıdır. Pvsyst, mühendislik yönlerine daha fazla odaklanır ve SAM'den daha fazla parametrenin ayarlanmasına izin verir ve bu nedenle Pvsyst, SAM'den daha iyi performans gösterir. Ayrıca, simülasyonları gerçekleştirmek için her iki araç da saatlik meteorolojik verilere ihtiyaç

duyar. Gerekli saatlik güneş ışınımı ve ortam sıcaklığı değerlerini oluşturmak için kullanılan ARPA veri tabanı da sonuçlar üzerinde etkili olabilir. Bu veriler, özellikle ilkbahar ve sonbahar aylarında ölçülen güneş ışınımı ve ortam sıcaklığından farklıdır. Bu tür dönemlerde, her iki araç da pv çıktı enerjisi tahminlerinin en yüksek hatalarını döndürür. Bu, güneş ışınımı ve ortam sıcaklığının ölçülen verilerini, araçlar için girdi olarak kullanarak simülasyon doğruluğunu iyileştirmenin mümkün olduğunu göstermektedir. Bu konu, gelecekteki çalışmalarda araştırılacaktır [98].

Yazar ve arkadaşları tarafından bu çalışmada, fotovoltaik (pv) kurulumlarla ilişkili ana hatalar ve bozunma mekanizmaları ile ilgili genel bir bakış sunulmuştur. Ayrıca, bunları azaltmak için kullanılan temel teknik prosedürler analiz edilmiştir. Pv teknolojisi, ölçeklenebilirliği nedeniyle çok çeşitli sistemlerde kullanılabilmesine rağmen, bu çalışma güneş modüllerinin bozulmalara ve kusurlara neden olan çevresel faktörlerin ortaya çıkartılması gereken endüstriyel alana odaklanmaktadır. Pv modüllerinin, hava koşullarına maruz kalmasının neden olduğu ana olaylar kirlenme, kar birikmesi, korozyon veya delaminasyondur. Ek olarak, çatlaklar veya sıcak noktalar da pv kurulumunun verimliliğinde kayıplara neden olabilir. Dikkate alınan referanslar, kirlenmenin genellikle çöl bölgelerini etkilediğini ve uygun bakım eylemleriyle hafifletilebilecek kısa vadeli bir etkiye sahip olduğunu belirtmektedir. Kirlenme ile ilgili yayınlanan çalışma sayısının son on yılda iki katına çıktığı tespit edilmiştir. Kar veya buz birikimi ile ilgili olarak, bu alanda, çoğu buzun önlenmesine yönelik, çok azı da bu durumun ürettiği kayıpları değerlendirmeye yönelik çalışmalar yaptığı tespit edilmiştir. Hava koşullarından kaynaklanan zarar verici maddeler arasında korozyon en çok çalışılanıdır (fotovoltaik arızaları hakkındaki tüm yayınların yaklaşık% 40'ı). Bu hata türü, pv modüllerinin güç çıkışını ciddi şekilde etkileyen geri dönüşü olmayan hasarlara neden olur.

Pv kusurları ile ilgili yayınların % 15'inden fazlasında çatlaklardan bahsedilmektedir. Birden çok faktör neden olabilir ve literatürün çoğu, genellikle elektrolüminans varyasyonları yoluyla bunların saptanmasına odaklanır. Birden fazla nedenden kaynaklanabilecek diğer arızalar, sıcaklık değişimleri ve önemli güç kayıpları üreten sıcak noktalardır. Termografi, tespitinde genellikle kullanılan bir tekniktir.

Pv modüllerinin ve güneş enerji santrallerinin durumunu sağlıklı bir şekilde saptamak için durum izleme ve tespit teknikleri kullanılır. İnsansız hava araçları veya yapay zekâ gibi yeni teknolojiler ve yaklaşımlar, daha verimli bakım görevlerine ve ardından kurulumların daha iyi performans göstermesine yol açar. Literatür analizi yoluyla, fotovoltaik enerjide önleyici bakımın, durum izleme veya arıza tespitine göre daha az çalışıldığı tespit edilmiştir. Önleme faaliyetleri, genellikle, korozyon veya çatlaklar gibi geri döndürülemez arızaların ortaya çıkmasını önlemeye yöneliktir. Pv modüllerinin hatalarının çoğu geri döndürülemez olduğundan ve etkileri çoğu kez hafifletilemediğinden, azaltma ile ilgili araştırmalar yeterli kapsamda değildir. Modülleri temizlemek ve kurutmak için yöntemler ve teknikler genellikle en çok çalışılan konudur. Bu nedenle, farklı hatalar üzerindeki azaltma tekniklerinin analizi bir araştırma fırsatı sunabilir.

Bu çalışma aynı zamanda pv enerjisi ile ilgili araştırmanın gerçek bağlamı ve eğilimleri hakkında bir tartışma sunmaktadır. Ana pv enerji üreticileriyle ilgili olarak, araştırma ve geliştirme harcamalarıyla yakından bağlantılı olan yayın miktarı ile pv enerjisi üretimi arasında güçlü bir korelasyon tespit edilmiştir. Ayrıca bu ülkeler arasındaki temel üretim eşitsizliklerini üreten faktörün güneş ışınımı olmadığı tespit edilmiştir.

Son olarak, bazı sınırlamalar ve gelecekteki zorluklar tespit edilmiştir, örneğin: bozunma mekanizmalarının farklı teknolojiler ve pv malzemeleri üzerindeki etkilerinin daha fazla açıklaması, örneğin adı salyangoz verilen yollarının organik malzemeler üzerindeki görünümü; Bozulma mekanizmalarının ortaya çıkmasıyla ilişkili ekonomik ve enerji üretimi kayıpları üzerine bir araştırma ve pv güç üretimine uygulanan algılama, önleme ve azaltma tekniklerinin ekonomik ve enerji üretimi faydalarıdır [99].

Yazar ve arkadaşları tarafından, Hindistan'ın bir şehrinde fırtınadan dolayı savrulan güneş modüllerine istinaden daha sağlam bir konstrüksiyona sahip bir sistemin tasarlanması amacıyla çalışılmıştır. Konstrüksiyonla ilgili modül montaj yapısının tüm malzemelerinin mukavemetin yüksek olması ve korozyona dayanıklı olması açısından sıcak daldırma galvanizli demirden yapılmıştır. Kolay bakım için, modüllerin sehpa bağlantısı alüminyum ve paslanmaz çelik civatadan oluşan Z

kelepçe ve u kelepçe gibi farklı tipte destek elemanları kullanılır. Z kelepçenin kullanımı, güneş modülleri üzerinde mertek ile sabitlenirken düzgün bir tutuş sağlarken, U kelepçesi iki güneş modülü üzerinde kenetlenmeye yardımcı olur. Daha önce mühendisler tarafından, modül montaj yapısı ile bir güneş modülünü sıkıştırmak için dört somun-civata kullanılmakta idi ancak şimdi u kelepçe ve z kelepçe yardımıyla, modülü sehpa, paslanmaz çelik bir allen anahtar ile sabitlemek daha kolay hale gelmiştir. Yalnızca dört adet z kelepçesi ve altı u kelepçesi kullanımıyla, dört güneş modülü, modül montaj yapısı üzerine monte edilebilir hale gelmiştir. Önceleri, mühendisler tarafından modülü sehpa monte etmek için çelik vida kullanılıyordu. Fakat birkaç yıl sonra bu bölgede korozyonun oluşumu söz konusu hale gelmekte idi. Bu durumda parça ile sehpa arasındaki bağlantının zayıflamasına ve şiddetli rüzgârda modüllerin savrulmasına neden olabiliyor idi. Bu nedenle, bu durumun aşılabilmesi için, mertek, destek ve aşık gibi tüm destekleyici malzemelerin, paslanmaz, sıcak galvanizli demirden yapılması gerekmektedir. Ayrıca paslanmaz çelik civatalarla entegre edilmiş alüminyum kelepçenin kullanımı, paslanma ve çürümenin üstesinden gelmek için daha fazla verimlilik sağlar, böylece gelecekte güneş modülünün, modül montaj yapısından sökülmesi, tüm somun civataları sökülmeden kısa sürede yapılabilmesine imkân sağlanmış olur. Sadece güneş pv modülü üzerindeki u kelepçesi ve z kelepçelerinin gevşetilmesi ile modülün, montaj yapısından ayrılması kolaylaşır [100].

## **5. 1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMİNİN TASARIMI**

### **5.1. Mevzuat**

Ülkemizde fotovoltaik güneş enerjisi santrallerinin kurulumunda yasal mevzuat incelenirse, 2 kanunun dayanak olduğu görülür. Bu kanunlar, 10.5.2005 tarihli ve 5346 sayılı “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunu”n 6. maddesi ve 14.03.2016 tarih ve 6446 sayılı “Elektrik Piyasası Kanunu”dur. Lisanssız fotovoltaik güneş enerjisi santralleri için Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunun 6. Maddesinin dayanak olduğu ve 19.06.2011 tarih 27969 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Güneş Enerjisine Dayalı Elektrik Üretim Tesisleri Hakkında Yönetmelik” ve 12.05.2019 tarih ve 30772 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Elektrik Piyasasında Lisansız Elektrik Üretim yönetmelik’tir. Lisanslı Fotovoltaik güneş enerjisi santralleri için Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunun 6. Maddesinin dayanak olduğu ve 19.06.2011 tarih 27969 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Güneş Enerjisine Dayalı Elektrik Üretim Tesisleri Hakkında Yönetmelik” ve 02.11.2013 ve 28809 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Elektrik Piyasası Lisans” yönetmeliğidir.



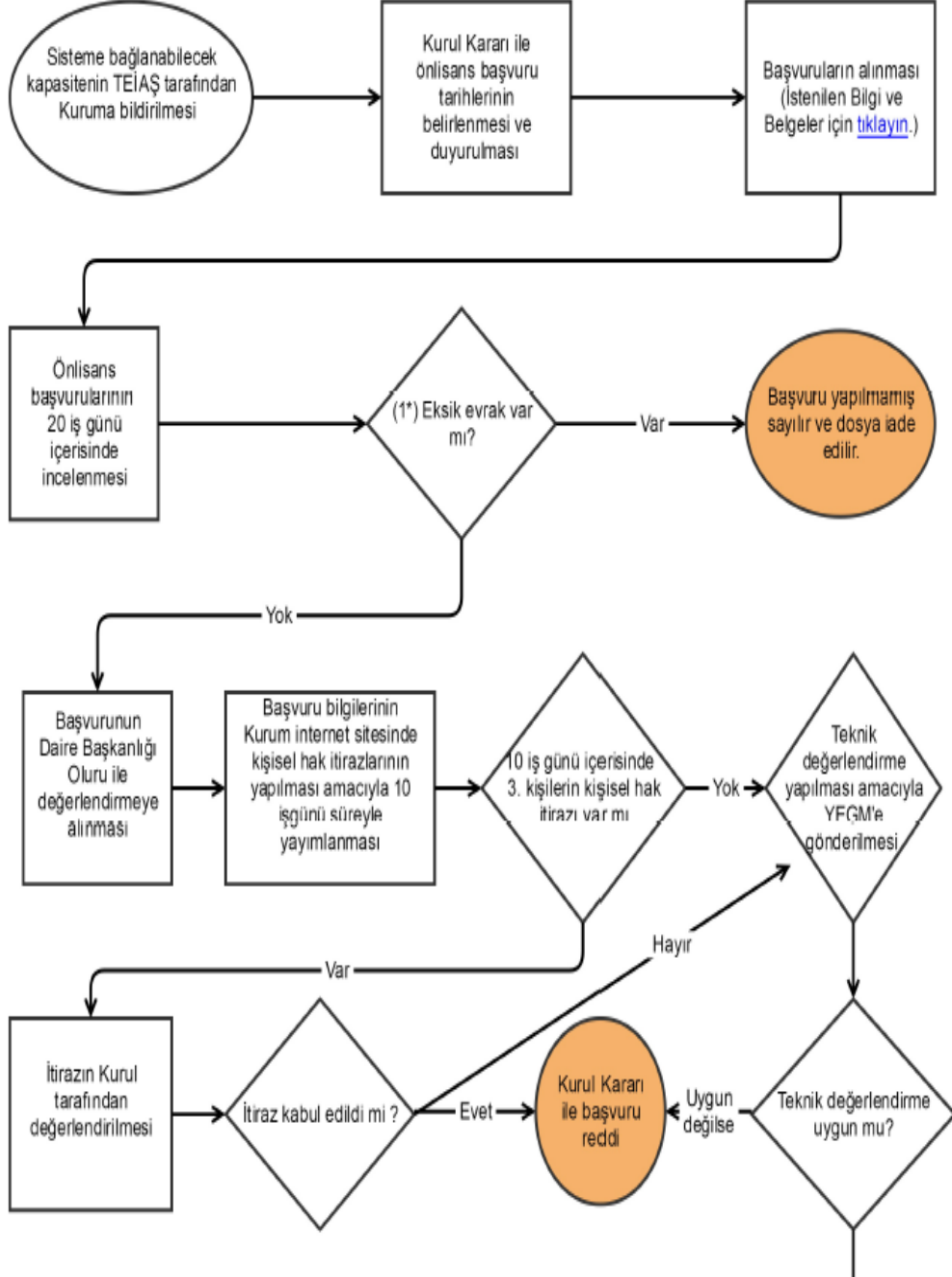
### **5.1.1. Lisanslı Santraller**

Ülkemizde lisanslama faaliyetlerini yürüten başlıca kurum Enerji Piyasası Düzenleme ve Denetleme Kurumu (EPDK)'dur. Bu faaliyetini yürütürken Türkiye elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) ve Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi (TEDAŞ) gibi kurumlar ile koordineli çalışır. Lisanslama faaliyetinden önce ön lisans başvurusu gelir. EPDK'ya başvuruyu yapan mutlaka tüzel kişi olmalıdır. Türk ticaret Kanunu'na tabii kurulmuş bir anonim şirketi ya da limited şirketi kurulmuş olmalıdır. Lisanslama faaliyetleri aşağıda yer alan şekilde şematize edilmiştir [101].

## 5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI

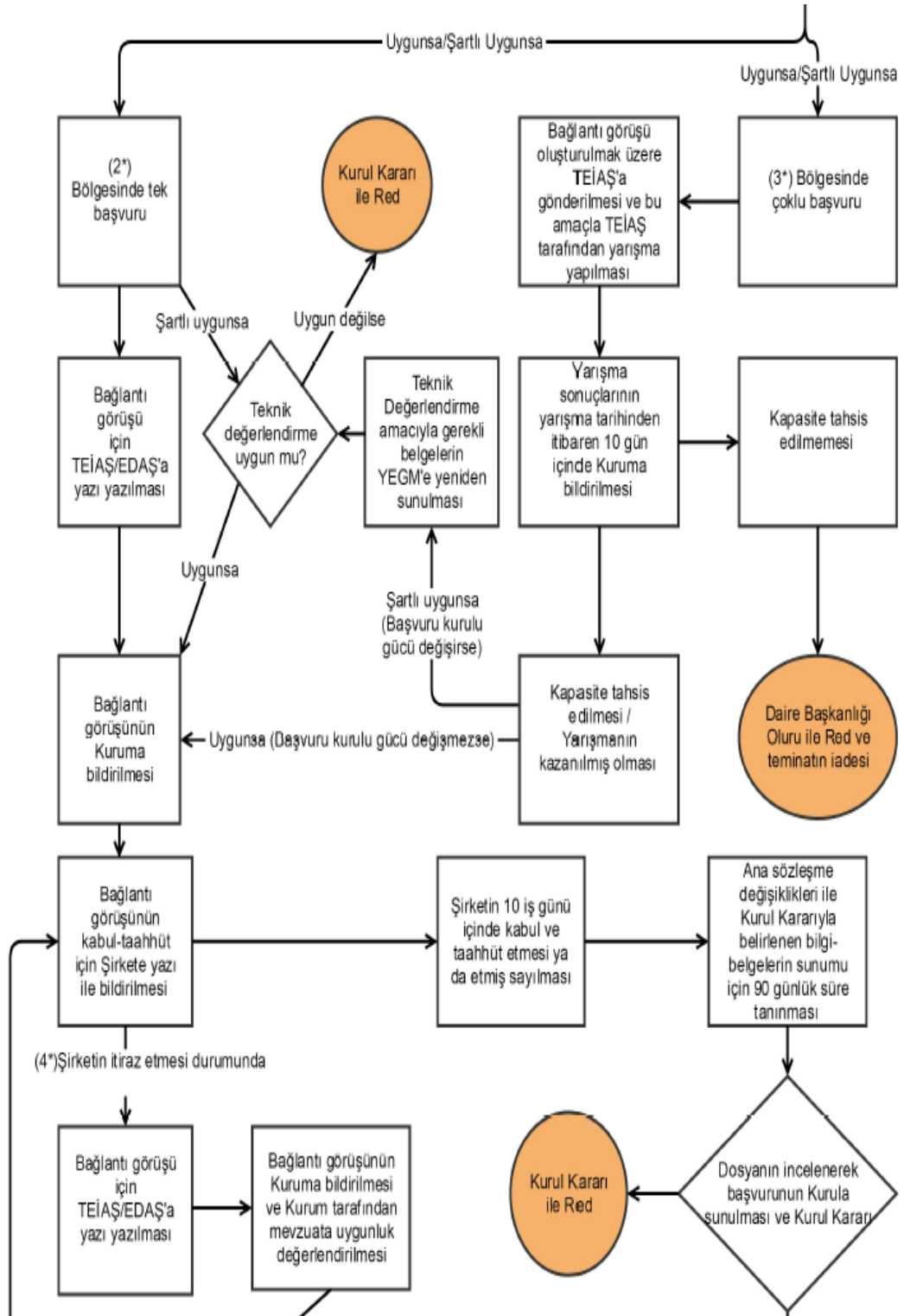
### CEBRAİL GÜNEŞ

#### RÜZGAR-GÜNEŞ LİSANSLANDIRMA SÜRECİ İŞ AKIŞ ŞEMASI



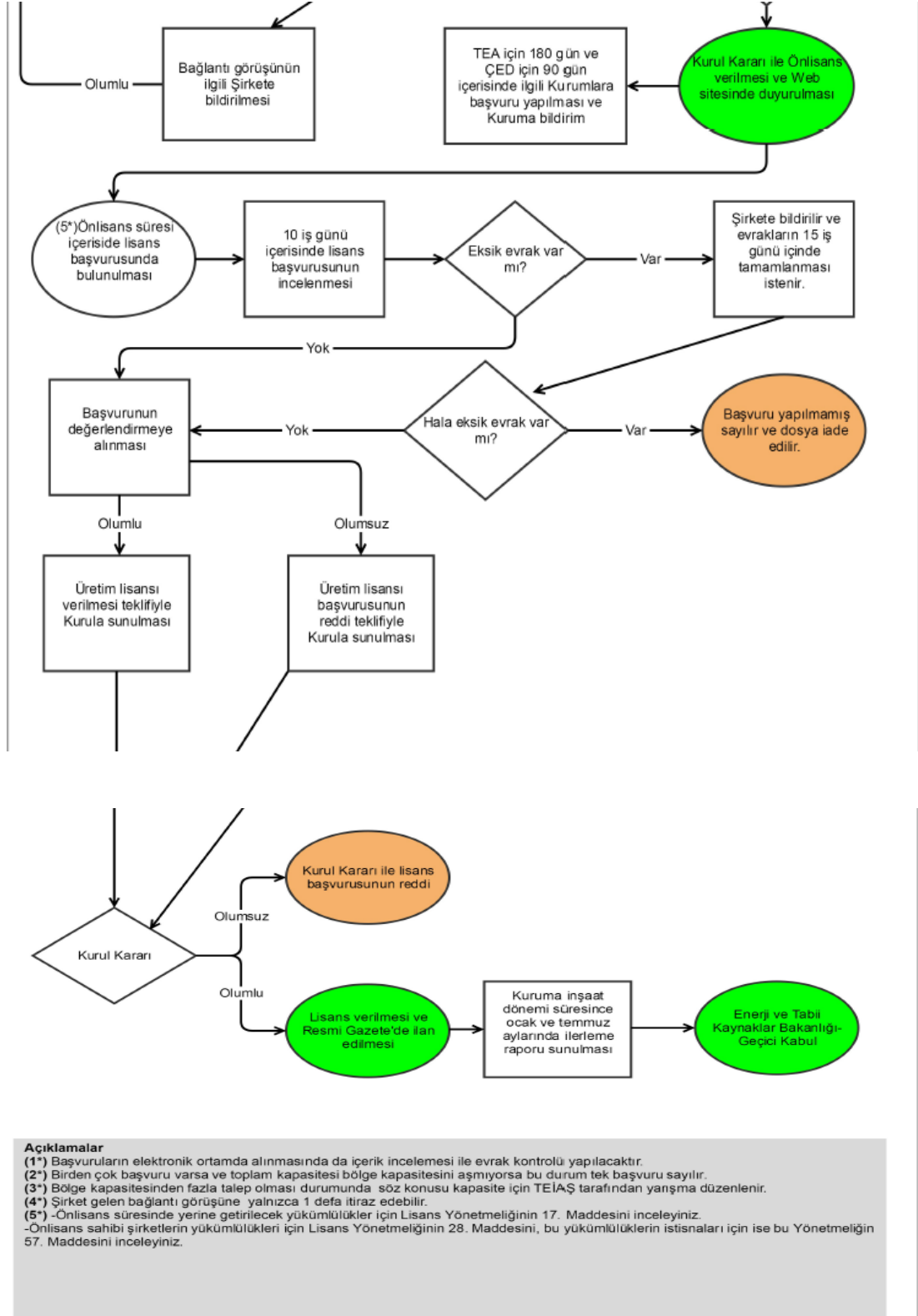
## 5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI

### CEBRAİL GÜNEŞ



## 5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI

### CEBRAİL GÜNEŞ



Resim 5.1 Rüzgâr/güneş lisanslandırma iş akış şeması [102].

### **5.1.2. Lisanssız Santraller**

Lisansız santraller ile ilgili Ülkemizdeki yasal mevzuat dikkatli bir şekilde incelendiğinde kurulu gücü 5MWe'ği aşmayan santraller lisanssız bir şekilde kurulabilir. Mevzuatta lisansız olarak yer almasının sebebi tüketimin olduğu elektrik noktasına en yakın üretim tesisin kurulması ya da kendi elektriğini kendisi kullanacak tüketicilerin şebekeye yük olmasını engellemek, şebekeye bağımlılığını azaltıp küçük işletmelerin ülke ekonomisine kazandırılması ve elektriğin uzun iletim hatlarındaki iletim kayıplarının azaltılmasıdır. Ancak ülkemizde kurulan çoğu lisansız santraller mevzuattaki boşluktan faydalanarak amacının dışında kurulup, çıkartılan teşvikler kapsamında, tamamıyla devlete elektrik satarak ticari bir üretici pozisyon almışlardır. Bundan dolayı da üretim kapasitesi çabuk bir şekilde dolarak günümüzde elektriği satmak isteyen lisansız tüketicinin önü kapanmıştır.

Lisansız elektrik üretimi için lisanslı santrallerdeki gibi ayrı bir firma kurmaya gerek yoktur. Ancak Aynı bölgede, 5MWe'ği aşmak isteyen tüzel ya da gerçek kişi birden fazla gerçek ya da tüzel kişilik kurmak zorundadır.

Lisansız elektriğin başvurusunun yapılacağı yer ilk olarak bölgedeki şebeke işletmecisidir. Adıyaman için Akedaş Adıyaman İl Müdürlüğü'dür. Şebeke işletmecisi bu faaliyetini yürütürken Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın Enerji İşleri Genel Müdürlüğü'yle, DSI ve TEİAŞ ile beraber çalışır.

Genel olarak, mevzuat, genel yürütülmesi başvurunun yapılması kurulacak tesisin projelendirilmesi, sisteme bağlantısı, test alma (gerekli ise) ve kabul yapılması şeklindedir. Üreticinin ürettiği elektrik, şebekeye bağlanacağı noktadaki transformatöre alçak gerilim seviyesinden (AG) ya da orta gerilim seviyesinden (OG) bağlamakla yükümlüdür. Ancak, üreticinin ürettiği elektrik kapasitesi, eğer trafo, şebeke işletmecisine ait ise, şebekeye bağlantı noktasındaki trafo gücünün yüzde ellisini geçemez.

Bu tez Adıyaman Üniversitesi'nde yazıldığı için ve tezin kapsamında bir lisanssız güneş enerji santralinin kurulumu konusu işleneceğinden yapılan medellemeler, projeler ve diğer tüm faaliyetler Adıyaman İli göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Bu yüzden şebeke işletmecisi olarak başvurunun

## **5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI** **CEBRAİL GÜNEŞ**

Adıyaman'da yapılacağı yer Adıyaman Akedaş Adıyaman İl Müdürlüğü'dür. Lisansız elektrik üretimi yönetmeliği kapsamında güneş enerji santrali kurulumu başvurusu için yapılan müracaatlarda Akedaş tarafından üreticiden aşağıdaki şekilde yer alan başvuru belgeleri istenmektedir. Lisanssız üretim yapmak isteyenlerin, başvuru yaparken Akedaş Adıyaman İl Müdürlüğü'ne ibraz etmeleri gereken Akedaş'ın internet sitesinden yapılan inceleme sonucu aşağıdaki gibidir:

- 1.Lisanssız üretim bağlantı başvuru formu
- 2.Tüzel kişiyi temsil ve ilzama yetkili şahıs veya şahısların yetki belgeleri
- 3.Başvuruda bulunan tüzel kişinin, tüzel kişilikle doğrudan veya dolaylı pay sahibi olan gerçek veya tüzel kişilerin ortaklık yapısını ve varlığı halinde kontrol ilişkisini ortaya koyan bilgi ve belgeler
- 4.Üretim tesisinin kurulacağı yere ait tapu, asgari iki yıl süreli ekinde imza sirküleri veya imza beyannamesi yer alan kira sözleşmesi ya da kullanım hakkının edinildiğine dair tevsik edici belge
- 5.Çatı uygulaması dışındaki başvurular için: Mutlak tarım arazileri, özel ürün arazileri, dikili tarım arazileri, sulu tarım arazileri ve çevre arazilerde tarımsal kullanım bütünlüğünü bozan alanları kapsamadığına ilişkin Tarım ve Orman Bakanlığı veya söz konusu Bakanlığın il müdürlüklerinden alınacak belge
- 6.Tüketim tesis(ler)ine ilişkin bilgiler. Mevcut tüketim tesisleri için tekil kod kurulması planlanan tüketim tesisi için; 03 Mayıs 1985 tarihli ve 3194 sayılı İmar Kanununa göre verilen inşaat ruhsatı ve/veya inşaat ruhsatı yerine geçen belge. Onaylı elektrik proje kapağı
- 7.Çatı uygulamaları hariç olmak üzere eşik değerlerin üzerinde olan projeler için Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği kapsamındaki belge
- 8.Başvuru ücretinin ilgili şebeke işletmecisinin hesabına yatırıldığına dair makbuz veya dekont
- 9.Kurulacak tesisin teknik özelliklerini de gösteren tek hat şeması
- 10.Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan formatta teknik değerlendirme formu. (Bir CD ile excel formatında da sunulması gerekiyor)
- 11.Lihkab veya harita mühendisi onaylı, koordinatlı aplikasyon krokisi

**5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI**  
**CEBRAİL GÜNEŞ**

12. Lisanssız elektrik üretim yönetmeliğinin 37 maddesinin onuncu fıkrası kapsamında sunulacak olan ve “Faaliyet yasağına ilişkin beyan” başlığını taşıyan beyan belgesi

13. Tesisin toplam verimliliğine ilişkin belge

14. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım hakkının elde edildiğine dair belge

a) Rüzgâr ve güneş enerjisi ile biyo kütle ve biyo kütleden elde edilen gaza (çöp gazı dahil) dayalı olarak kurulacak üretim tesisleri için herhangi bir belge istenmeyecek.

b) Jeotermal enerji kaynağına dayalı olarak kurulacak üretim tesisleri için işletilmekte olan jeotermal kaynaklarda, 03 Haziran 2007 tarihli ve 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu’na ve uygulanmasına ilişkin ikincil mevzuata göre edinilmiş işletme ruhsatı, henüz işletilme aşamasında olmayan jeotermal kaynaklar için ise arama ruhsatı sunulacak.

c) Kamu veya hazine arazisi veya orman sayılan alanlar üzerine kurulacak üretim tesisinin hidrolik kaynağına dayalı üretim tesisi olması halinde su kullanım hakkının elde edildiğine ilişkin belge sunulacak.

15. Yönetmeliğin 11. maddesi 4. fıkrası kapsamında kurulacak tesisler için DSİ tarafından mer’i mevzuat kapsamında verilen onay belgesi [103]

Yukarıdaki yer alan listenin detaylarına inilirse öncelikli olarak 1. Maddede yer alan bağlantı başvuru formu aşağıdaki gibidir [102].

EK-1

Başvuru Sahibinin Bilgileri	
Adı-Soyadı/Ünvanı	
Adresi	
Telefonu	
Faks Numarası	
E-Posta Adresi	
T.C. Vergi/ T.C. Kimlik Numarası	

**5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI**  
**CEBRAİL GÜNEŞ**

Banka Hesap Numarası			
Üretim Tesisinin Bilgileri			
Adresi			
Coğrafi Koordinatları (UTM 6-ED50)			
Kurulu Gücü			
Bağlantı İçin Talep Edilen Tarih			
Sistem Kullanımına Başlaması İçin Öngörülen Tarih			
Türü / Kullanılan Kaynak			
Bağlantı Şekli	<input type="checkbox"/> AG Tek Faz	<input type="checkbox"/> AG Üç Faz	<input type="checkbox"/> YG
Bağlantı Transformatörü Bilgileri			
Diğer Bilgiler			
<p>Bu formda verilen tüm bilgiler tarafımda doğru bir şekilde doldurulmuştur. Başvurumun kabul edilmesi durumunda; üretim tesisini bu formda belirtilen özelliklere uygun olarak tesis etmeyi, tesis aşamasında, İlgili Şebeke İşletmecisinden gerekli izinleri almadan, bu formda belirtilen bilgilere aykırı bir işlem tesis etmeyeceğimi, bu formda verilen bilgilere aykırı bir durum tespit edilmesi halinde başvurumun her aşamada İlgili Şebeke İşletmecisi tarafından iptal edilmesini kabul ve taahhüt ederim.</p>			
Adı-Soyadı/Ünvanı	İmza	Tarih	

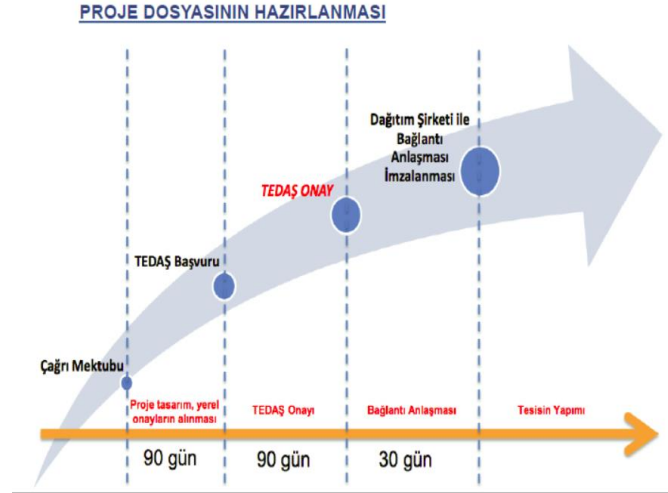
Resim 5.2 Lisanssız elektrik üretim başvuru formu [102].



## 5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI CEBRAİL GÜNEŞ

İki numaralı madde istenilen evraklar ise firmaya adına yetkilin imza sirküsü ve bağlı bulunduğu Odadan (Ticaret Odası/Ticaret ve Sanayi Odası) alacağı “Yetki Belgesi”dir. Üçüncü maddede istenilen evrakı yine üreticinin bağlı olduğu odadan temin edilen bir evraktır. Diğer maddelerde geçen evraklar ise temini zor olmayan ve bilinen evraklardır. Lisansız elektrik üretim başvurusu yapılırken bir başvuru ücretinin de yatırılmış olması gerekmektedir. Bu ücret, Adıyaman İli için Akedaş’ın internet sitesinde 2021 yılı için 947.50TL + KDV (%18) olarak belirtilip üretici gerçek ya da tüzel kişi olarak yatırır.

Akedaş’a yapılan başvurular ile ilgili değerlendirme sonucu başvurunun yapıldığı aydan bir sonraki ay içerisinde internet sitesinden yayınlanarak bildirilir.



Resim 5.3 Proje dosyasını hazırlanması süreci [104]

Yukarıda bahsi geçen lisansız fotovoltaik güneş enerjisi elektrik üretimi başvurusunda, bağlantı anlaşması yapıldıktan 90 gün içerisinde tamamlanması gereken kullanılacak ve daha sonra tesisin pratiğe dökülmesi yani uygulanmasında yol gösterici olan tesisin projelendirilmesi safhası ve gerekli yerlerden alınacak izin belgelerini toplama safhası gelmektedir. Projede vaziyet planı, fotovoltaik güneş panellerinin montajı, dizlimi, inverterlerin yeri ve bağlantı şeması, mühendislik hesaplamaları ve tesis ile ilgili diğer teknik bilgilerin hepsi yer almalıdır. Ayrıca belediyelerden, İl Özel ya da OSB müdürlüklerinden kurulacak tesis ile ilgili ruhsatların ve onay belgelerinin (kurulacak tesise ait mühendislik statik ve zeminle ilgili hesaplamaların ve bilgilerin yer aldığı belge) alınması gerekmektedir [104].

### **5.1.3. Geçici Kabul ve Faturalandırma**

Proje Onay Birimi tarafından onaylanan projenin kurulumu bittikten sonra ön geçici kabul aşamasına geçilir. Ön geçici kabul aşamasında dağıtım şirketinin yetkilendirdiği 1 elektrik/elektrik ve elektronik mühendisi tarafından santralin incelenmesi yapılır. Bu aşamada santralde herhangi bir problem yok ise yetkili mühendis tarafından gerekli tutanaklar tutulduktan ön geçici kabul yapılır. Daha sonra ön geçici kabul tutanakları bir üst yazı ile TEDAŞ'a gönderilir. Bundan sonra geçici kabul aşamasına geçilir. Geçici kabul için aşağıdaki asgari ilk 5 maddede belirtilen evraklar ile birlikte başvuru yapılır. Diğer maddelerin tamamlanması geçici kabul komisyonu tarafından sağlanır. Başvuru dosyasında bulunması gereken dokümanların kontrolü ve içeriklerinin incelenmesi yapılır. İlk 5 maddede belirtilen evraklardan herhangi biri eksik ise kabul kurulu oluşturulmaz, eksik listesi yazılı olarak bildirilir. İlk 5 maddeye ilişkin eksik evrakın tamamlanma tarihi kabul başvuru tarihi olarak kabul edilir. Dosyada ilk 5 maddeye ilişkin eksik evrak yok ve geçici kabul bedeli yatırılmış ise kabul kurulu oluşturulur. Yukarıdaki işlemler iş gücü dikkate alınarak yapılır.

Kabul dosyasında aşağıdaki dokümanların bulunması gerekmekte olup tüm dokümanların kontrolü ve içeriklerinin incelenmesi yapılır

1. Geçici kabul talep dilekçesi,
2. Geçici kabule hazır tutanağı (İlgili Dağıtım Lisansı Sahibi Şirket yetkilisi ve tesis sahibi-vekili tarafından imzalanan),
3. Tesise ait onaylı proje (1 Takım),
4. Geçici kabulde bulunacak sorumlu elektrik mühendisine ait yüklenicinin yetkilendirme yazısı veya yüklenicinin bünyesinde bulunmayan ancak geçici kabulde görevlendirilecek sorumlu elektrik mühendisine yüklenici tarafından verilen vekâletname,
5. Dağıtım lisansı sahibi şirket adına geçici kabulde bulunacak elektrik mühendisine ait yetkilendirme yazısı,
6. Kabul talep eden kişi / şirketin fatura ve iletişim bilgileri ve Ticaret Sicil Gazetesi,

7. Topraklama direnci ölçüm raporu,
8. İlgili malzemenin TEDAŞ teknik şartname, tip proje, usul, esas ve bunun gibi mevzuatlara uygunluğu,
9. Bağlantı Anlaşması ve çağrı mektubu,
10. Kabule tesis sahibi adına katılacak kişiye ait tesis sahibi tarafından verilen yetki yazısı / vekâletname,
11. Kabule tesis sahibi adına katılacak kişiye ait tesis sahibi tarafından verilen yetki yazısı / vekâletname
12. Tesis sahibi ile yüklenici arasında imzalanan sözleşme
13. YEGM Teknik Değerlendirme Raporu (onaylı) (GES ve RES tesislerinde istenecektir.)
14. Röle test raporları

Ön geçici kabulün yapılmasından sonra TEDAŞ gönderilen üst yazılı tutanaklara istinaden, TEDAŞ tarafından geçici komisyonda yer alması için bir ya da iki kişiyi görevlendirir. TEDAŞ tarafından görevlendirilen bir kişi geçici komisyonun doğal başkanıdır. Geçici komisyon en az 4 üyeden oluşur. Üyeler, TEDAŞ'tan görevli bir üye, dağıtım şirketinden bir üye, konstrüksiyon sisteminin incelenmesi için belediye ya da üniversiteden bir inşaat mühendisi ve son olarak santralin sahibi tüzel ya da gerçek kişi tarafından belirlenen bir elektrik/elektrik-elektronik mühendisinden oluşur. TEDAŞ bazı durumlarda geçici kabul komisyonuna 2 üye de gönderebilir

Yeni yapılacak üretim tesislerinde yapı ruhsatı, mevcut binalarda yapılacak tesislerde ise tadilat ruhsatı olmalıdır.

Ancak tadilat ruhsatı gerektirmeyen yerlerde ilgili Belediye/OSB tarafından statik projesinin onaylanması kaydıyla, tadilat ruhsatı gerektirmediği ve kurulmasında ve işletilmesinde sakınca yoktur ibaresi bulunan belirtilen yazı, (GES, HES, JES, RES tesislerinde istenecektir.)

Güneş Enerji Santrallerinin arazi uygulamalarında ilgili Belediye/OSB'den alınan yapı ruhsatı gerektirmediği ve imar mevzuatına uygun olduğu açıkça belirtilmek koşuluyla kurulmasında ve işletilmesinde sakınca yoktur ibaresi bulunan belirtilen yazı,

Tesisin tümünü gösterecek şekilde iki farklı açıdan çekilmiş fotoğraf ile şalt sahasının teçhizatlarına ait çeşitli fotoğraflar eklenecektir.

Geçici kabul komisyonunda özellikle branş mühendislerinin olmasına dikkat edilir. Komisyon tarafından, saha incelemesinde dikkat edilen ilk konulardan bir tanesi, santral içerisinde iş sağlığı ve güvenliğine yönelik montajı yapılmış ekipmanların var ve çalışıp çalışmadığı incelenir. Daha sonra elektriksel hesaplar incelenerek bir durum tespiti yapılır. Eğer herhangi bir konuda eksiklik ve ya hata var ise 15 gün içerisinde düzeltilmesi istenir. Daha sonra geçici kabul yapılmış olur. Santralde geçici kabul yapıldıktan sonra en geç iki yıl içerisinde kesin kabul yapılır.

Faturalandırma sürecinde çift yönlü sayaç hayati derecede önem taşır. Çünkü faturalandırma çift yönlü sayaç üzerinden alınan bilgilere göre fatura kesimi yapılır. Her çift yönlü sayacın kendisine göre bir çarpanı vardır ve üzerinden geçen enerji bu çarpanla çarpıldıktan sonra faturalandırma yapılır. Her bir fatura süreci ayın ilk günü 00.00'da başlayıp ayın son günü 24.00'a kadar devam eder.

Yukarıdaki işlemler yapıldıktan sonra santral devreye alınmış olur ve artık üretilen elektrik sisteme verilmektedir. Bundan sonra eğer santral teşvik sisteminden yararlanarak yapılmış ise devletin belirlediği birim fiyat üzerinden elektrik satın alınıp faturada bu fiyat üzerinden fiyatlandırma yapılarak fatura kesimi yapılır.

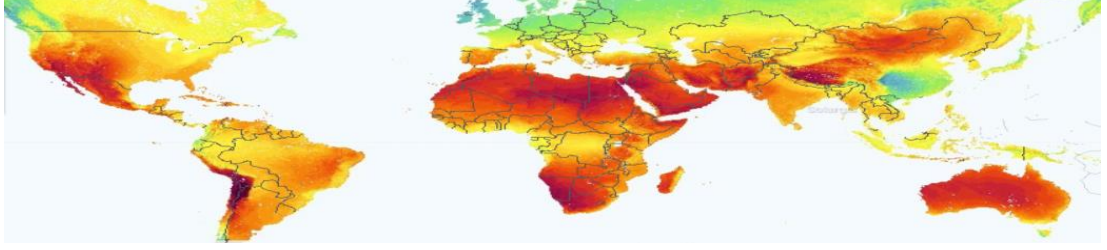
## **5.2. Yer Seçimi**

Bir fotovoltaik güneş enerji santralinin nereye kurulması gerektiği en önemli aşamalardan biridir. Santralin yer seçimi için net bir kurallar dizisi olmasa da genel olarak bir değerlendirme söz konusudur. Bu değerlendirmede güneş kaynağı, mevcut alan, yerel iklim, topografya, arazi kullanımı, yerel düzenlemeler (arazi kullanım politikası) i geoteknik koşullar, jeopolitik riskler, ulaşılabilirlik, şebeke bağlantısı, su mevcudiyeti ve mali teşvikler söz konusudur.

Güneş kaynağı, bir GES santralinde santralin üreteceği  $KW_p$  değerini doğrudan etkilemektedir. Bu yüzden kurulacak tesisin yerinin güneşi doğrudan alması gerektiği ve standart test koşullarına en yakın radyasyon değerinin sahip olması

## 5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI CEBRAİL GÜNEŞ

gerekmektedir. Ülkemizde, bununla ilgili bir çalışma yapılmış olup, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının yayınladığı güneş haritası mevcuttur.



Resim 5.4 Dünya güneş atlası [105]

Yukarıdaki şekil incelendiğinde dünyada güneş enerjisi bakımından en verimli bölgelerin ekvator çizgisi etrafında olduğu görülmektedir. Kırmızıya en yakın renkler radyasyon değerinin en fazla olduğu yerleri göstermekte ve renk sarıya yaklaştıkça radyasyon değerinin azaldığı şeklinde yorumlanır. Ülkemize bakıldığında güneş radyasyon değeri bakımından, özellikle Avrupa ile kıyaslandığında yüksek bir değere sahiptir.



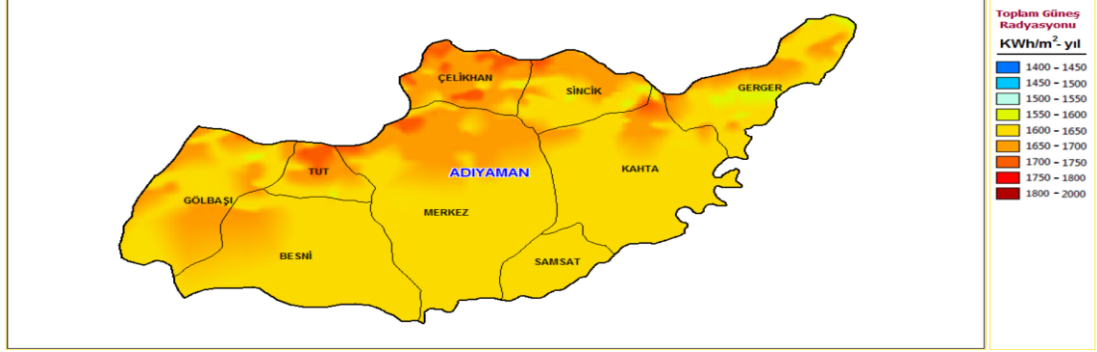
Resim 5.5 Ülkemizin güneş haritası [106]

Türkiye'nin güneş radyasyonu bakımından dünyaya kıyasla oldukça iyi bir düzeyde ışınım aldığı söylenebilir. Özellikle ülkemizin güney kesmi ışınım değeri bakımından kuzey kesmine göre daha zengindir. Ülkemizin güneş haritası incelendiğinde, 1. Derece bölgelerin Antalya Muğla ve Van İllerinin olduğu görülmektedir. Bu bölgelerde güneş ışınım değerleri 1.750-1.800 KWh/m<sup>2</sup>-yıl olarak ölçülmüştür. Işınım değerinin yüksek olması güneş panellerindeki verimini doğrudan etkilemektedir.

Güne ışınımı bakımından il bazında Adıyaman aşağıdaki haritaya göre incelendiğinde 1.600 KWh/m<sup>2</sup>-yıl olduğu görülür. Özellikle Adıyaman İli'nin

## 5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI CEBRAİL GÜNEŞ

Çelikhan İlçesi'nin en verimli bölge olduğu anlaşılmaktadır. Bu bakımdan Adıyaman, ülkemizde radyasyon bakımından 2. Sırada yer alır denilebilir.



Resim 5.6 Adıyaman Güneş Atlası [106]

Mevcut alan, santralin kurulacağı alan hem nicelik hem de nitelik bakımından önemlidir. Santral sahasının büyüklüğü kurulacak olan tesisin büyüklüğü ile doğrudan ilgilidir. Santral sahası ne kadar büyükse kurulacak santral ve enerjide o kadar büyük olur. Eğer belli bir miktar enerji üretimine erişmek saha büyüklüğünden daha öncelikli ise bu durumda santralde kullanılacak olan panellerin daha yüksek verimliliğe sahip paneller arasından seçilmesi gerekir. Günümüz koşullarında piyasada satılan ticari paneller düşünüldüğünde, 1 MW'lık bir santralin kurulması için gereken saha boyutu yaklaşık 16.000 m<sup>2</sup> civarındadır. Dolayısıyla arazinin seçiminde kurulacak olan santralin büyüklüğünün de düşünülmesi gerekir.

Arazi seçiminde rol oynayan faktörlerden birisi de arazinin geoteknik yapısıdır. Çünkü arazinin sertlik ve yumuşaklığı, engebeli olup olmadığı, tarıma elverişli olup olmadığı altında su kaynaklarının olup olmadığı, deprem riskinin ne durumda olduğu araştırılıp ve bunlarla ilgili olarak zemin etüdünün yapılması gerekir. Çünkü santralin kurulum aşamasında, arazi ile ilgili yapılan çalışmalar, santralde sonraki işlerin nasıl bir yol haritasında izlenerek yapılması gerektiği konusunda fikir verecektir. Örneğin arazinin sertlik ve yumuşaklığı, panelleri taşıyacak olan konstrüksiyon sistemin nasıl olması gerektiği konusunda ışık tutacaktır. Eğer arazi sertlik durumu çok yüksek ise taşıyıcı sistemin beton bloklara oturtulması gerekir. Yumuşak arazilerde zemine çakma yöntemi seçilir. Arazinin engebeli oluşu da yine paneller üzerinde oluşabilecek bir gölgeleme durumunu meydana getirebilir. Bu yüzden engebeli bir arazide kurulacak olan santralin proje ve

imalat aşamasında gölgeleme etkisinin mutlaka hesaba katılması gerekir. Çünkü herhangi bir panel üzerinde oluşabilecek gölgeleme durumu panel dizisini, panel dizisi de santralde üretilen enerji miktarını etkiler. Ayrıca zemin etüdü çalışmaları yapılırken arazinin engebeli oluşundan dolayı arazide oluşan yükseklik farklılıkları meydana gelir. Bu durumda arazi tesviyesinin yapılması ihtiyacı hâsıl olur. Özellikle yumuşak arazilerde kış şartlarında oluşabilecek çamur ve yağmurdan kaynaklanan göletlerin meydana gelmemesi için tesviye işlemlerinin daha özenli ve dikkatli yapılması gerekir. Aksi takdirde iş sağlığı ve güvenliği açısından ciddi risklerin ortaya çıkması kaçınılmaz olur. Yenilenebilir Enerji Kanunu (YEK) kapsamında tarıma elverişli arazilerin korunması bağlamında, bu tarz bir enerji üretim tesisinin kurulmasına izin verilmemiştir. Bundan dolayı seçilecek arazinin tarıma elverişsiz olması gerekmektedir. Deprem riskinin çok yüksek olduğu özellikle fay hatlarının üzerinde bulunduğu araziler fotovoltaik güneş santrali tesisleri açısından uygun yerler değildir. Zira bir santraller yüksek teknoloji ürünleri ile yapıldığından ilk yatırım maliyetleri çok yüksektir.

Arazi seçiminde dikkat edilmesi gereken bir diğer husus da şebekeye olan yakınlığıdır. Arazi mümkün olduğunca şebekeye en yakın noktaya kurulmalıdır. Çünkü şebekeden uzak bir noktaya kurulması hem ilk yatırım maliyetini hem de enerji nakil hatlarındaki taşımadan doğan kayıplar artacaktır.

Son olarak arazinin altında su kaynaklarının olması tercih edilmeyen bir durum olmasına rağmen su kaynaklarına yakın olması önemlidir. Çünkü iklimsel ve çevresel koşullardan dolayı kirlenen güneş panellerinin temizlenmesi gerekeceğinden temiz ve mineral ve kireç bakımından seviyesi minimum olan su kaynaklarına yakınlığı istenen bir durumdur [107].

Yukarıda anlatıldığı üzere bir GES santralinin kurulum aşamalarının ele alınması gereken en başındaki başlıklardan biri olan yer seçimi anlatılmıştır. Bundan sonra ikinci aşama olan zemin etüdü aşaması ele alınmıştır.

### **5.2.1.Zemin Etüdü**

Fotovoltaik güneş enerjisi santralinin kurulumunun yapılacağı santral sahasının projelendirilmesinden önce mutlaka bir zemin etüdü gereklidir. Bunun için sahanın değişik yerlerinden 6-7 m derinliğinde sondajlar yapıp numuneler alınır. Alınan bu numuneler Çevre ve Şehircilik İl Müdürlükleri bünyesindeki laboratuvarlarda nokta yükleme testlerine tabi tutulur. Yapılan bu testlerin amacı, santral sahasının zemini hakkında mekanik, fiziksel ve mühendislik bilgilerine öğrenilmek istenilmesidir. Ayrıca alınan numunelere tek eksenli basınç deneyi yapılarak kayaç sınıfı öğrenilir. Sondaj çalışmalarında santral sahasındaki su seviyesinin ölçümü yapılır. Çünkü yer altındaki su seviyeleri mevsimsel değişkenlik gösterdiğinden ve aynı zamanda yer altı su seviyelerinin santralin konstrüksiyon yapısını ve trafo köşkünün temeli gibi yapıları etkileyeceğinden bu hususlar göz önünde bulundurulmalıdır. Zemin etüdünde önemli olan bir diğer konu, kayma modülü (G) hesaplanarak santral sahasının depreme olan dayanıklılığının ölçümü yapılır.

### **5.2.2. Arazide Hafriyat Çalışmaları**

Fotovoltaik güneş enerji santrallerinin kurulumunun yapılacağı yer seçimi yapılırken, bağlantı kapasitesi, arazinin bağlantı noktasına ulan mesafesi, arazi eğimi, arazi sınıfı ve ulaşım imkânı gibi faktörler mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Bunlardan en önemlisi arazinin sınıfı ve bağlantı kapasitesidir. Bu iki faktörün olumsuz ise santralin kurulumu gerçekleşmez. Diğer faktörler maliyet ve malzeme ile ilgilidir. Santralin kurulumundaki en önemli hafriyat çalışmaları, santralin tesviyesi yani santralin kuruluma hazır hale getirilmesi ve santral içindeki ve ulaşım noktasından santrale olan yolların yapılması işidir. Santral çıkışında elde edilen enerji nakil hatları ile bağlantı noktasına taşınır. Bağlantı noktasına olan uzaklık hafriyat maliyetini artırır. Ancak proje sonunda enerji nakil hatları dağıtım işletmesine devredildiği için burada oluşan maliyet belli bir oranda geri alınır.



### **5.2.3. Ulaşım Yolu**

Fotovoltaik güneş enerji santrallerinin kurulumu için genellikle ucuz olduğu için yerleşim yerlerinden uzak ya da yüksek yerler tercih edilir. Bu yüzden buraya ulaşım imkânın sağlanması yatırımcıya aittir. Ulaşım yolunun mutlaka sağlıklı olması gerekir. Çünkü bir santralin kurulumu esnasında santrale götürülmesi gereken paneller, trafo köşkü, inverterler, yer altı kablolarında kullanılacak ince kum, konstrüksiyon sistemi ve kablolar gibi ekipmanlar mevcuttur. Bu ekipmanların tırlar ile taşınması santrale giden yola ciddi anlamda yük getirmektedir. Bu yüzden santral yolunun mutlaka düzgün yapılmış olması gerekmektedir. Hatta santralin çok yüksek bir araziye kurulumu yapılacağı düşünüldüğünde ekipmanları taşıyan tırların yolda kalması devrilmesi veya batması ihtimal dahilindedir. Ayrıca santral kurulduktan sonra periyodik olarak yapılması gereken bakım onarım hizmetleri düşünüldüğünde santral yolunun ne kadar önemli olduğu ortaya çıkar. Yol yapımında dikkat edilmesi gereken hususlardan biri şudur. Özellikle kış aylarında yolların yağın yağmurdan dolayı çamurlu olması veya kar yağışının yolları kapatması ihtimalinden dolayı bu çalışmaların bahar veya yaz ayından yapılması gerekmektedir. Aksi halde kurulum sürecinin zarar görmesi kaçınılmaz olur.



Resim 5.7 Yol yapım çalışması

Santral sahasının tesviyesi çok önemlidir. Çünkü arazinin yapısından kaynaklanan eğim ve sertlik derecesi gibi faktörler maliyeti arttırabilmektedir. Bu yüzden, arazinin yapısı ile ilgili profesyonel bir firmadan yardım alınmalıdır. Örneğin konstrüksiyon işlemi, delme makinaları kullanarak yapılmaktadır. Eğer

arazi, böyle bir makinenin çalışmasına izin vermez ise mutlaka arazi tesviyesi gereklidir. Bazı durumlarda arazide küçük çaplı tepeler ve ya yükselti farkları olabilir. Bu durumda sağlıklı bir konstrüksiyon işleminin yapılması için ya arazinin tesviyesi yapılmalı, eğer arazinin sertlik değeri yüksek ise sehplarının ayaklarının uygun kesilerek montaj işleminin yapılması gerekir.



Resim 5.8 Engebeli bir arazide kurulmuş güneş enerji santrali örneği

#### **5.2.4. İletim hattı**

Enerji Hatları: İnverterlerden çıkan AC kablolar transformatöre bağlanırlar. Transformatörden çıkan enerji hatları, bağlantı görüşünde yer alan noktaya ya havadan ya da yerden olmak üzere iki şekilde iletilirler. Elektrik hattının güvenli olması ve minimum enerji kaybı ile iletilmesi önemlidir. Ayrıca hattın güvenlik durumu arazi durumu, hat güzergâhı ve maliyet dikkat edilmesi gereken konulardır. Günümüzde özellikle şehir içinde enerji hatları yer altına alınarak hem güvenliği hem de görüntü kirliliğini ortadan kaldırmıştır. Güneş enerji santralleri genellikle kırsal alanlara inşa edildiğinden yer altına alınarak yapılacak bir enerji nakil hattının maliyeti yüksek olmaktadır. Bu yüzden genellikle havadan iletim yöntemi tercih edilir. Buna ilaveten havai hatların hem inşası kolay hem de arıza durumlarında müdahale kolaylığı sunması bir avantajdır. Havadan iletilen enerji nakil hatlarında hat güzergâhı önemlidir. Güzergâhta nelerin olduğu özel arazilerin olup olmadığı ve ya ormanlık alan gibi unsurların olup olmadığı önemlidir. Bu yüzden güzergâh tayini özenle yapılmalıdır.

## **5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI** **CEBRAİL GÜNEŞ**

Güzerghâhta direklerin konumu belirlendikten sonra direklerin dikilmesi işlemi için hazırlık yapılır. Öncelikle direğin konumlandırılacağı yer biraz kazılıp direğin çapından daha büyük bir çukur açılır. Daha sonra uygun bir beton kalıp döküldükten sonra direk üzerinde iletim ekipmanları ile birlikte vinç yardımı ile dikilip etrafına beton doldurularak kapatılır.



Resim 5.9 Enerji Nakil Hattı direği Dikme İşlemi [108]



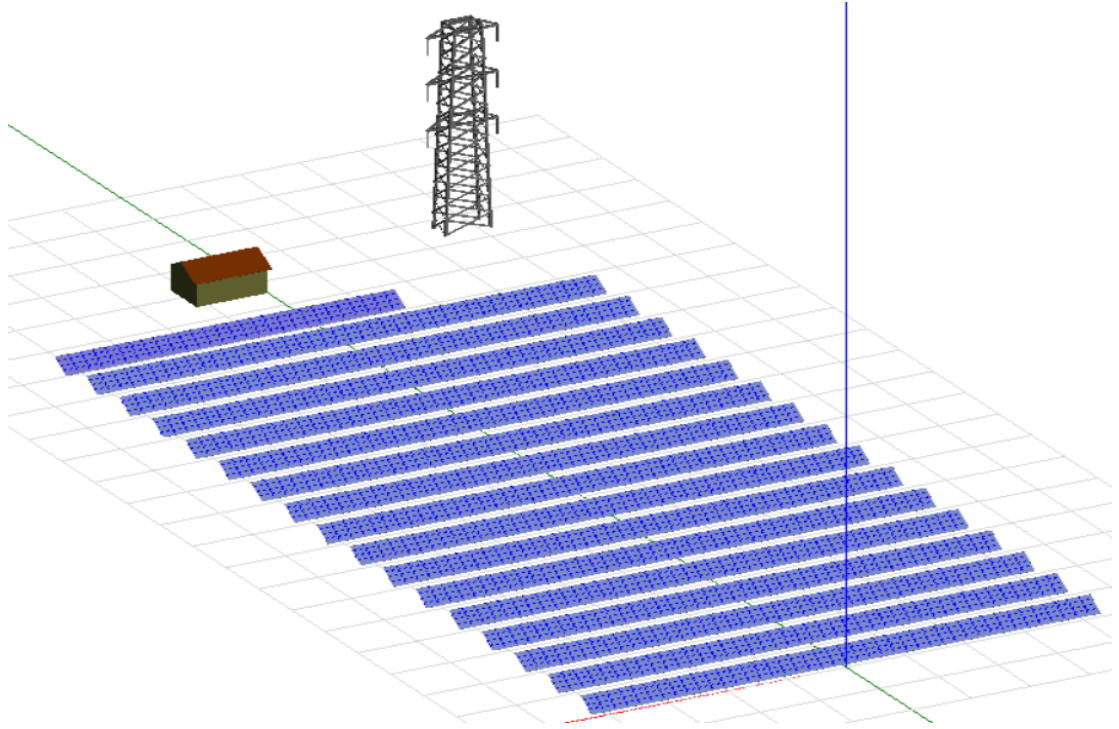
Resim 5.10 Enerji Nakil Hattı [109]

### **5.3. Santralin Modellenmesi ve Tek Hat Şeması**

Bu tezin kapsamında hesapları yapılan olan proje hem Pvsyst hem de Autocad programlarında bölüm 5.4, 5.5, 5.6, 5.7 ve 5.8’de yapılan hesaplamalar ışığında tasarlanmıştır. Panellerin yerleştirilme planı resim 5.11 ve 5.12 de gösterilmiştir. Tez kapsamında tasarımı yapılan projenin simülasyon ve modellemesinin de yapılması gerekir. Bunu için Pvsyst programında, tasarımda daha önce seçilen projenin uygulama lokasyon bilgileri panel ve inverter bilgileri girildiğinde, program tarafından aşağıdaki rapor verilir.



Resim 5.11 Tez için yapılan santralin Autocad programında panellerin yerleşimi



Resim 5.12 Tez için yapılan santralin pvsyst programındaki tasarımı



Version 7.1.8

## PVsyst - Simulation report

### Grid-Connected System

Project: TEZ

Variant: TEZ 2

Sheds, single array

System power: 1120 kWp

Adiyaman - Turkey

*PVsyst student*

*PVsyst student*

*PVsyst student*

**Author**  
Cebrail Güneş (Turkey)

# 5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI

## CEBRAİL GÜNEŞ



PVsyst V7.1.8

VC5, Simulation date:  
16/06/21 01:31  
with v7.1.8

Project: TEZ

Variant: TEZ 2

Cebrail Güneş (Turkey)

### Project summary

Geographical Site	Situation	Project settings
Adiyaman	Latitude 37.76 °N	Albedo 0.20
Turkey	Longitude 38.28 °E	
	Altitude 675 m	
	Time zone UTC+3	
<b>Meteo data</b>		
Adiyaman		
Meteonorm 7.3 (2003-2012), Sat=100% - Synthetic		

### System summary

Grid-Connected System	Sheds, single array	User's needs
<b>PV Field Orientation</b>	<b>Near Shadings</b>	Unlimited load (grid)
Fixed plane	Linear shadings	
Tilt/Azimuth 36 / 0 °		
<b>System information</b>		
<b>PV Array</b>		<b>Inverters</b>
Nb. of modules 2800 units		Nb. of units 16.8 units
Pnom total 1120 kWp		Pnom total 1010 kWac
		Pnom ratio 1.109

### Results summary

Produced Energy	1899 MWh/year	Specific production	1695 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	83.85 %
-----------------	---------------	---------------------	-------------------	----------------	---------

### Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Horizon definition	8
Near shading definition - Iso-shadings diagram	9
Main results	10
Loss diagram	11
Special graphs	12
CO <sub>2</sub> Emission Balance	13

# 5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI CEBRAİL GÜNEŞ



**PVsyst V7.1.8**  
VCS, Simulation date:  
16/06/21 01:31  
with v7.1.8

Project: TEZ

Variant: TEZ 2

Cebrail Güneş (Turkey)

### General parameters

<b>Grid-Connected System</b>		<b>Sheds, single array</b>	
<b>PV Field Orientation</b>		<b>Sheds configuration</b>	
Orientation		Nb. of sheds	18 units
Fixed plane		<b>Sizes</b>	
Tilt/Azimuth	36 / 0 °	Sheds spacing	10.0 m
		Collector width	4.02 m
		Ground Cov. Ratio (GCR)	40.2 %
		<b>Shading limit angle</b>	
		Limit profile angle	19.3 °
<b>Horizon</b>		<b>Near Shadings</b>	
Average Height	1.5 °	Linear shadings	
		<b>Models used</b>	
		Transposition	Perez
		Diffuse	Perez, Meteororm
		Circumsolar	separate
		<b>User's needs</b>	
		Unlimited load (grid)	

### PV Array Characteristics

<b>PV module</b>		<b>Inverter</b>	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	CS3W-400P CS1Y	Model	SUN2000-60KTL-M0
(Custom parameters definition)		(Custom parameters definition)	
Unit Nom. Power	400 Wp	Unit Nom. Power	60.0 kWac
Number of PV modules	2800 units	Number of inverters	16.8 units
Nominal (STC)	1120 kWp	Total power	1010 kWac
<b>Array #1 - PV Array</b>		Number of inverters	6 * MPPT 17% 1 units
Number of PV modules	168 units	Total power	60.0 kWac
Nominal (STC)	67.2 kWp		
Modules	12 Strings x 14 In series	Operating voltage	200-1000 V
<b>At operating cond. (50°C)</b>		Pnom ratio (DC:AC)	1.12
Pmpp	61.0 kWp		
U mpp	544 V		
I mpp	112 A		
<b>Array #2 - Sub-array #2</b>		Number of inverters	6 * MPPT 17% 1 units
Number of PV modules	168 units	Total power	60.0 kWac
Nominal (STC)	67.2 kWp		
Modules	12 Strings x 14 In series	Operating voltage	200-1000 V
<b>At operating cond. (50°C)</b>		Pnom ratio (DC:AC)	1.12
Pmpp	61.0 kWp		
U mpp	544 V		
I mpp	112 A		
<b>Array #3 - Sub-array #3</b>		Number of inverters	6 * MPPT 17% 1 units
Number of PV modules	168 units	Total power	60.0 kWac
Nominal (STC)	67.2 kWp		
Modules	12 Strings x 14 In series	Operating voltage	200-1000 V
<b>At operating cond. (50°C)</b>		Pnom ratio (DC:AC)	1.12
Pmpp	61.0 kWp		
U mpp	544 V		
I mpp	112 A		

# 5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI

## CEBRAİL GÜNEŞ



**PVsyst V7.1.8**  
 VCS, Simulation date:  
 16/06/21 01:31  
 with v7.1.8

Project: TEZ

Variant: TEZ 2

Cebrail Güneş (Turkey)

### PV Array Characteristics

Array #4 - Sub-array #4			
Number of PV modules	168 units	Number of inverters	6 * MPPT 17% 1 units
Nominal (STC)	67.2 kWp	Total power	60.0 kWac
Modules	12 Strings x 14 In series		
<b>At operating cond. (50°C)</b>			
Pmpp	61.0 kWp	Operating voltage	200-1000 V
U mpp	544 V	Pnom ratio (DC:AC)	1.12
I mpp	112 A		
<b>Array #5 - Sub-array #5</b>			
Number of PV modules	168 units	Number of inverters	6 * MPPT 17% 1 units
Nominal (STC)	67.2 kWp	Total power	60.0 kWac
Modules	12 Strings x 14 In series		
<b>At operating cond. (50°C)</b>			
Pmpp	61.0 kWp	Operating voltage	200-1000 V
U mpp	544 V	Pnom ratio (DC:AC)	1.12
I mpp	112 A		
<b>Array #6 - Sub-array #6</b>			
Number of PV modules	168 units	Number of inverters	6 * MPPT 17% 1 units
Nominal (STC)	67.2 kWp	Total power	60.0 kWac
Modules	12 Strings x 14 In series		
<b>At operating cond. (50°C)</b>			
Pmpp	61.0 kWp	Operating voltage	200-1000 V
U mpp	544 V	Pnom ratio (DC:AC)	1.12
I mpp	112 A		
<b>Array #7 - Sub-array #7</b>			
Number of PV modules	168 units	Number of inverters	6 * MPPT 17% 1 units
Nominal (STC)	67.2 kWp	Total power	60.0 kWac
Modules	12 Strings x 14 In series		
<b>At operating cond. (50°C)</b>			
Pmpp	61.0 kWp	Operating voltage	200-1000 V
U mpp	544 V	Pnom ratio (DC:AC)	1.12
I mpp	112 A		
<b>Array #8 - Sub-array #8</b>			
Number of PV modules	168 units	Number of inverters	6 * MPPT 17% 1 units
Nominal (STC)	67.2 kWp	Total power	60.0 kWac
Modules	12 Strings x 14 In series		
<b>At operating cond. (50°C)</b>			
Pmpp	61.0 kWp	Operating voltage	200-1000 V
U mpp	544 V	Pnom ratio (DC:AC)	1.12
I mpp	112 A		
<b>Array #9 - Sub-array #9</b>			
Number of PV modules	168 units	Number of inverters	6 * MPPT 17% 1 units
Nominal (STC)	67.2 kWp	Total power	60.0 kWac
Modules	12 Strings x 14 In series		
<b>At operating cond. (50°C)</b>			
Pmpp	61.0 kWp	Operating voltage	200-1000 V
U mpp	544 V	Pnom ratio (DC:AC)	1.12
I mpp	112 A		



# 5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI

## CEBRAİL GÜNEŞ



**PVsyst V7.1.8**

VC5, Simulation date:  
16/06/21 01:31  
with v7.1.8

Project: TEZ

Variant: TEZ 2

Cebrail Güneş (Turkey)

### PV Array Characteristics

<b>Array #10 - Sub-array #10</b>			
Number of PV modules	168 units	Number of inverters	6 * MPPT 17% 1 units
Nominal (STC)	67.2 kWp	Total power	60.0 kWac
Modules	12 Strings x 14 In series		
<b>At operating cond. (50°C)</b>			
Pmpp	61.0 kWp	Operating voltage	200-1000 V
U mpp	544 V	Pnom ratio (DC:AC)	1.12
I mpp	112 A		
<b>Array #11 - Sub-array #11</b>			
Number of PV modules	168 units	Number of inverters	6 * MPPT 17% 1 units
Nominal (STC)	67.2 kWp	Total power	60.0 kWac
Modules	12 Strings x 14 In series		
<b>At operating cond. (50°C)</b>			
Pmpp	61.0 kWp	Operating voltage	200-1000 V
U mpp	544 V	Pnom ratio (DC:AC)	1.12
I mpp	112 A		
<b>Array #12 - Sub-array #12</b>			
Number of PV modules	168 units	Number of inverters	6 * MPPT 17% 1 units
Nominal (STC)	67.2 kWp	Total power	60.0 kWac
Modules	12 Strings x 14 In series		
<b>At operating cond. (50°C)</b>			
Pmpp	61.0 kWp	Operating voltage	200-1000 V
U mpp	544 V	Pnom ratio (DC:AC)	1.12
I mpp	112 A		
<b>Array #13 - Sub-array #13</b>			
Number of PV modules	168 units	Number of inverters	6 * MPPT 17% 1 units
Nominal (STC)	67.2 kWp	Total power	60.0 kWac
Modules	12 Strings x 14 In series		
<b>At operating cond. (50°C)</b>			
Pmpp	61.0 kWp	Operating voltage	200-1000 V
U mpp	544 V	Pnom ratio (DC:AC)	1.12
I mpp	112 A		
<b>Array #14 - Sub-array #14</b>			
Number of PV modules	168 units	Number of inverters	6 * MPPT 17% 1 units
Nominal (STC)	67.2 kWp	Total power	60.0 kWac
Modules	12 Strings x 14 In series		
<b>At operating cond. (50°C)</b>			
Pmpp	61.0 kWp	Operating voltage	200-1000 V
U mpp	544 V	Pnom ratio (DC:AC)	1.12
I mpp	112 A		
<b>Array #15 - Sub-array #15</b>			
Number of PV modules	168 units	Number of inverters	6 * MPPT 17% 1 units
Nominal (STC)	67.2 kWp	Total power	60.0 kWac
Modules	12 Strings x 14 In series		
<b>At operating cond. (50°C)</b>			
Pmpp	61.0 kWp	Operating voltage	200-1000 V
U mpp	544 V	Pnom ratio (DC:AC)	1.12
I mpp	112 A		

# 5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI

## CEBRAİL GÜNEŞ



**PVsyst V7.1.8**  
 VC5, Simulation date:  
 16/06/21 01:31  
 with v7.1.8

Project: TEZ

Variant: TEZ 2

Cebrail Güneş (Turkey)

### PV Array Characteristics

<b>Array #16 - Sub-array #16</b>			
Number of PV modules	168 units	Number of inverters	6 * MPPT 17% 1 units
Nominal (STC)	67.2 kWp	Total power	60.0 kWac
Modules	12 Strings x 14 In series		
<b>At operating cond. (50°C)</b>			
Pmpp	61.0 kWp	Operating voltage	200-1000 V
U mpp	544 V	Pnom ratio (DC:AC)	1.12
I mpp	112 A		
<b>Array #17 - Sub-array #17</b>			
Number of PV modules	112 units	Number of inverters	5 * MPPT 17% 0.8 units
Nominal (STC)	44.8 kWp	Total power	50.0 kWac
Modules	8 Strings x 14 In series		
<b>At operating cond. (50°C)</b>			
Pmpp	40.7 kWp	Operating voltage	200-1000 V
U mpp	544 V	Pnom ratio (DC:AC)	0.90
I mpp	75 A		
<b>Total PV power</b>		<b>Total inverter power</b>	
Nominal (STC)	1120 kWp	Total power	1010 kWac
Total	2800 modules	Nb. of inverters	17 units
Module area	5636 m <sup>2</sup>		0.2 unused
Cell area	5556 m <sup>2</sup>	Pnom ratio	1.11

# 5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI

## CEBRAİL GÜNEŞ



**PVsyst V7.1.8**  
 VC5, Simulation date:  
 16/06/21 01:31  
 with v7.1.8

Project: TEZ

Variante: TEZ 2

Cebrail Güneş (Turkey)

### Array losses

Thermal Loss factor		Module Quality Loss		Module mismatch losses				
Module temperature according to irradiance		Loss Fraction	-0.3 %	Loss Fraction	2.0 % at MPP			
Uc (const)	20.0 W/m²K							
Uv (wind)	0.0 W/m²K/m/s							
<b>Strings Mismatch loss</b>								
Loss Fraction	0.1 %							
<b>IAM loss factor</b>								
Incidence effect (IAM): User defined profile								
10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
1.000	1.000	1.000	0.990	0.990	0.970	0.920	0.760	0.000

### DC wiring losses

Global wiring resistance	4.8 mΩ		
Loss Fraction	1.5 % at STC		
<b>Array #1 - PV Array</b>			
Global array res.	81 mΩ		
Loss Fraction	1.5 % at STC		
<b>Array #3 - Sub-array #3</b>			
Global array res.	81 mΩ		
Loss Fraction	1.5 % at STC		
<b>Array #5 - Sub-array #5</b>			
Global array res.	81 mΩ		
Loss Fraction	1.5 % at STC		
<b>Array #7 - Sub-array #7</b>			
Global array res.	81 mΩ		
Loss Fraction	1.5 % at STC		
<b>Array #9 - Sub-array #9</b>			
Global array res.	81 mΩ		
Loss Fraction	1.5 % at STC		
<b>Array #11 - Sub-array #11</b>			
Global array res.	81 mΩ		
Loss Fraction	1.5 % at STC		
<b>Array #13 - Sub-array #13</b>			
Global array res.	81 mΩ		
Loss Fraction	1.5 % at STC		
<b>Array #15 - Sub-array #15</b>			
Global array res.	81 mΩ		
Loss Fraction	1.5 % at STC		
<b>Array #17 - Sub-array #17</b>			
Global array res.	121 mΩ		
Loss Fraction	1.5 % at STC		
<b>Array #2 - Sub-array #2</b>			
Global array res.	81 mΩ		
Loss Fraction	1.5 % at STC		
<b>Array #4 - Sub-array #4</b>			
Global array res.	81 mΩ		
Loss Fraction	1.5 % at STC		
<b>Array #6 - Sub-array #6</b>			
Global array res.	81 mΩ		
Loss Fraction	1.5 % at STC		
<b>Array #8 - Sub-array #8</b>			
Global array res.	81 mΩ		
Loss Fraction	1.5 % at STC		
<b>Array #10 - Sub-array #10</b>			
Global array res.	81 mΩ		
Loss Fraction	1.5 % at STC		
<b>Array #12 - Sub-array #12</b>			
Global array res.	81 mΩ		
Loss Fraction	1.5 % at STC		
<b>Array #14 - Sub-array #14</b>			
Global array res.	81 mΩ		
Loss Fraction	1.5 % at STC		
<b>Array #16 - Sub-array #16</b>			
Global array res.	81 mΩ		
Loss Fraction	1.5 % at STC		

# 5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI CEBRAİL GÜNEŞ



**PVsyst V7.1.8**

VC5, Simulation date:  
16/06/21 01:31  
with v7.1.8

Project: TEZ

Variant: TEZ 2

Cebrail Güneş (Turkey)

### Horizon definition

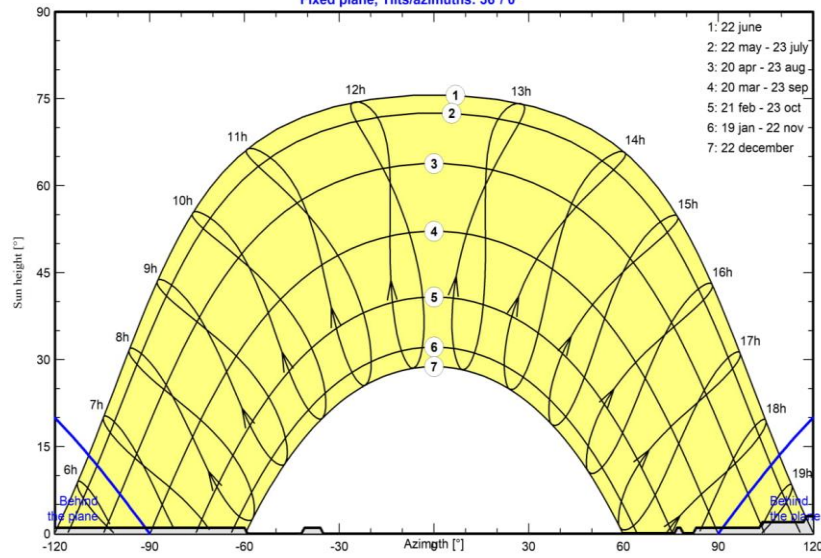
Average Height	1.5 °	Albedo Factor	1.00
Diffuse Factor	1.00	Albedo Fraction	100 %

### Horizon profile

Azimuth [°]	-180	-172	-171	-155	-154	-153	-139	-138	-130	-129	-124	-123
Height [°]	4.0	4.0	3.0	3.0	2.0	3.0	3.0	2.0	2.0	1.0	1.0	0.0
Azimuth [°]	-121	-120	-60	-59	-42	-41	-36	-35	76	77	78	79
Height [°]	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0
Azimuth [°]	82	83	103	104	117	118	123	124	125	126	128	129
Height [°]	0.0	1.0	1.0	2.0	2.0	3.0	3.0	4.0	4.0	3.0	3.0	4.0
Azimuth [°]	130	131	133	134	148	149	156	157	158	171	172	180
Height [°]	4.0	3.0	3.0	4.0	4.0	5.0	5.0	4.0	5.0	5.0	4.0	4.0

### Sun Paths (Height / Azimuth diagram)

Meteonorm horizon for, Lat. = 0.000°, Long. = 0.000°  
Fixed plane, Tilts/azimuths: 36°/ 0°



PVsyst student

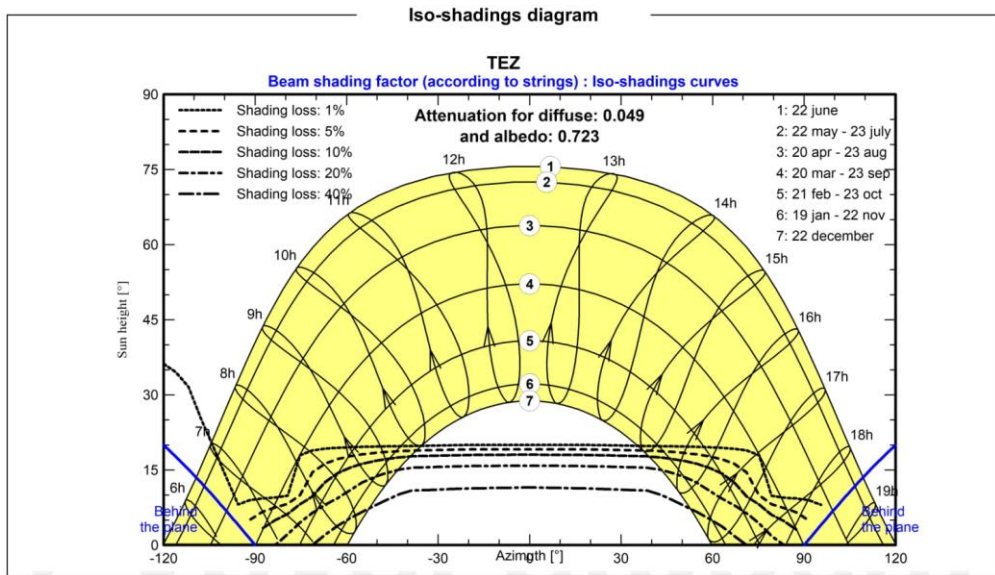
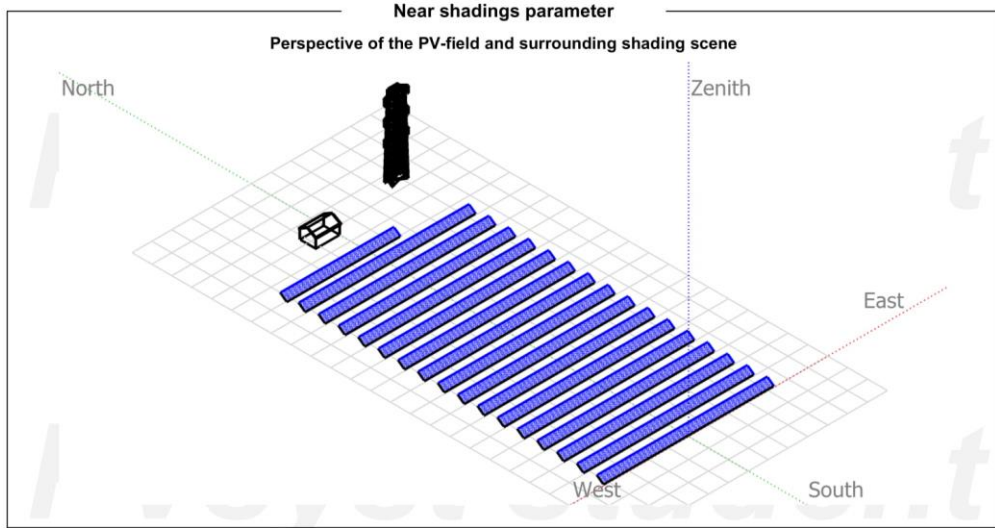
# 5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI

## CEBRAİL GÜNEŞ



**PVsyst V7.1.8**  
VC7, Simulation date:  
27/06/21 23:18  
with v7.1.8

Project: TEZ  
Variant: TEZ 2 HORIZONLU VE TAM  
Cebrail Güneş (Turkey)



# 5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI CEBRAİL GÜNEŞ



**PVsyst V7.1.8**  
VC5, Simulation date:  
16/06/21 01:31  
with v7.1.8

Project: TEZ

Variant: TEZ 2

Cebrail Güneş (Turkey)

## Main results

### System Production

Produced Energy

1899 MWh/year

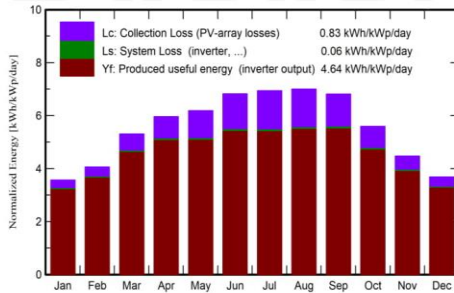
Specific production

1695 kWh/kWp/year

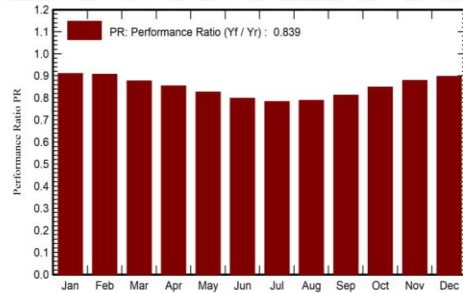
Performance Ratio PR

83.85 %

### Normalized productions (per installed kWp)



### Performance Ratio PR



## Balances and main results

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	°C	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	MWh	MWh	ratio
January	67.4	30.74	-0.34	110.5	106.0	114.1	112.6	0.910
February	80.1	36.82	1.77	113.6	110.0	116.9	115.4	0.907
March	133.3	56.63	7.99	164.5	158.7	163.4	161.4	0.876
April	166.7	69.16	13.08	179.0	172.0	173.5	171.3	0.855
May	203.6	67.41	18.42	191.7	183.5	179.6	177.4	0.826
June	229.9	54.38	24.51	204.6	196.2	185.4	182.9	0.798
July	236.3	59.98	29.30	215.1	206.4	191.1	188.6	0.783
August	213.7	57.86	28.80	217.0	209.1	194.0	191.6	0.789
September	171.4	48.37	22.33	204.4	197.8	188.4	186.0	0.812
October	124.9	41.06	15.47	173.3	168.2	166.8	164.7	0.849
November	81.6	29.36	6.93	134.1	129.6	133.7	132.0	0.879
December	64.4	25.70	1.50	114.1	108.8	116.2	114.7	0.897
Year	1773.3	577.46	14.22	2021.8	1946.3	1923.2	1898.8	0.839

### Legends

GlobHor Global horizontal irradiation  
 DiffHor Horizontal diffuse irradiation  
 T\_Amb Ambient Temperature  
 GlobInc Global incident in coll. plane  
 GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings

EArray Effective energy at the output of the array  
 E\_Grid Energy injected into grid  
 PR Performance Ratio

# 5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI CEBRAİL GÜNEŞ



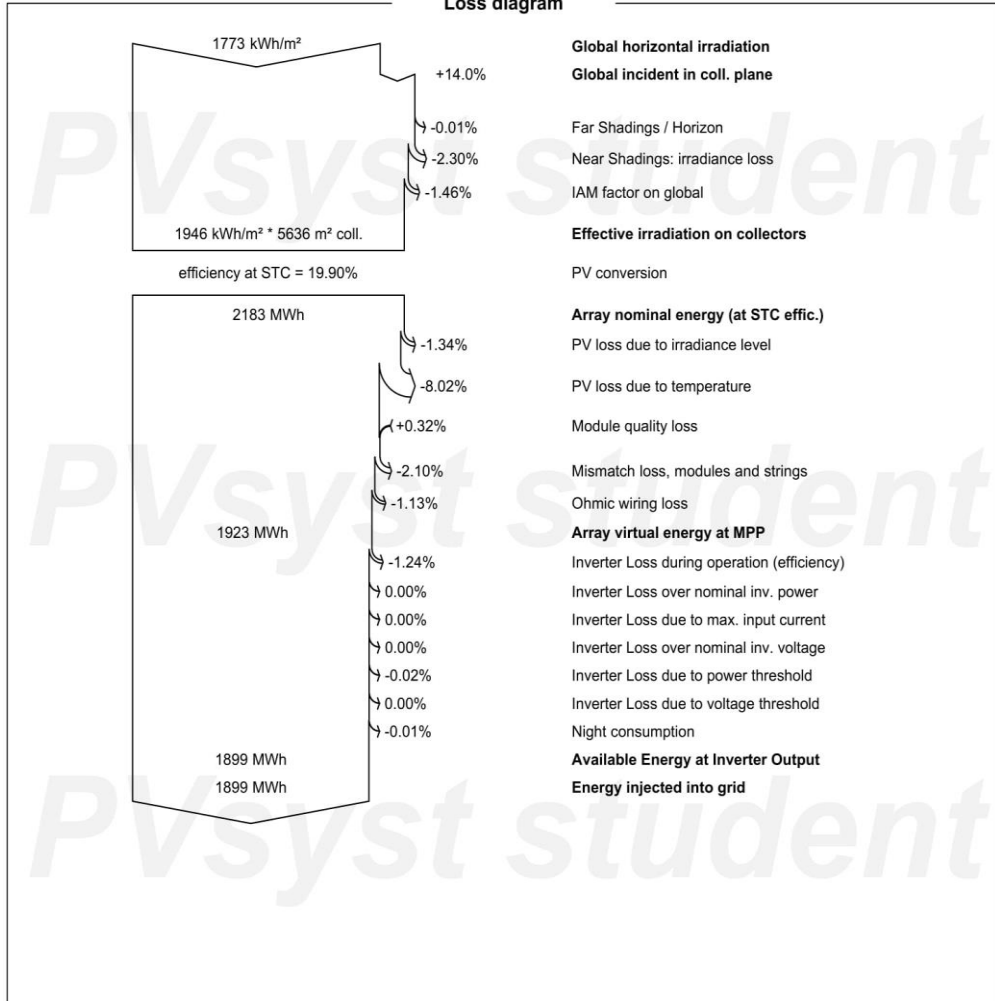
**PVsyst V7.1.8**  
VC5, Simulation date:  
16/06/21 01:31  
with v7.1.8

Project: TEZ

Variant: TEZ 2

Cebrail Güneş (Turkey)

### Loss diagram



# 5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI

## CEBRAİL GÜNEŞ



**PVsyst V7.1.8**  
VC5, Simulation date:  
16/06/21 01:31  
with v7.1.8

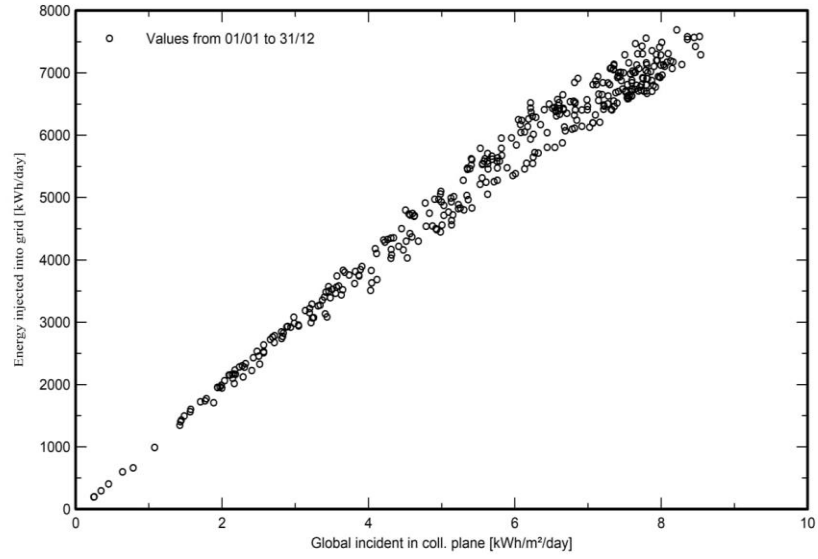
Project: TEZ

Variant: TEZ 2

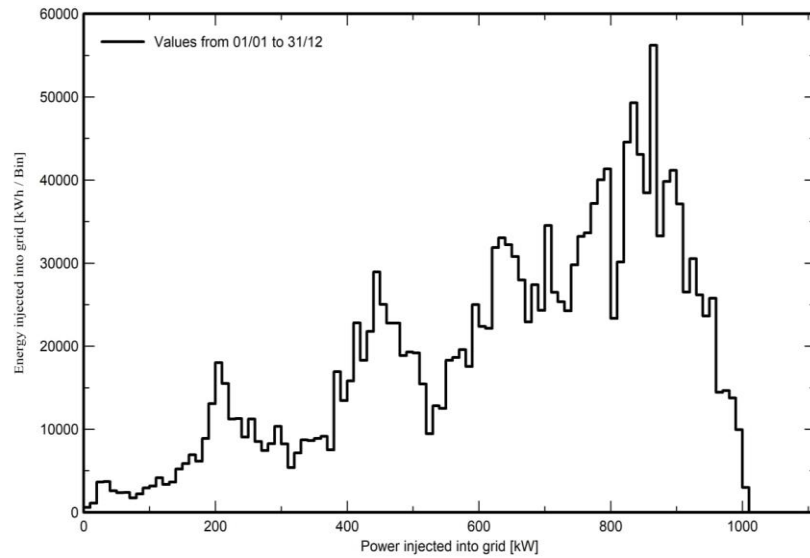
Cebrail Güneş (Turkey)

### Special graphs

#### Daily Input/Output diagram



#### System Output Power Distribution





# 5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI

## CEBRAİL GÜNEŞ



**PVsyst V7.1.8**  
VC5, Simulation date:  
16/06/21 01:31  
with v7.1.8

Project: TEZ

Variant: TEZ 2

Cebrail Güneş (Turkey)

### CO<sub>2</sub> Emission Balance

Total: 22153.5 tCO<sub>2</sub>

#### Generated emissions

Total: 2015.07 tCO<sub>2</sub>

Source: Detailed calculation from table below:

#### Replaced Emissions

Total: 27854.8 tCO<sub>2</sub>

System production: 1898.76 MWh/yr

Grid Lifecycle Emissions: 489 gCO<sub>2</sub>/kWh

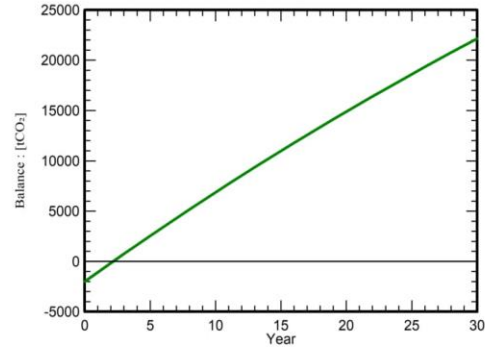
Source: IEA List

Country: Turkey

Lifetime: 30 years

Annual degradation: 1.0 %

### Saved CO<sub>2</sub> Emission vs. Time

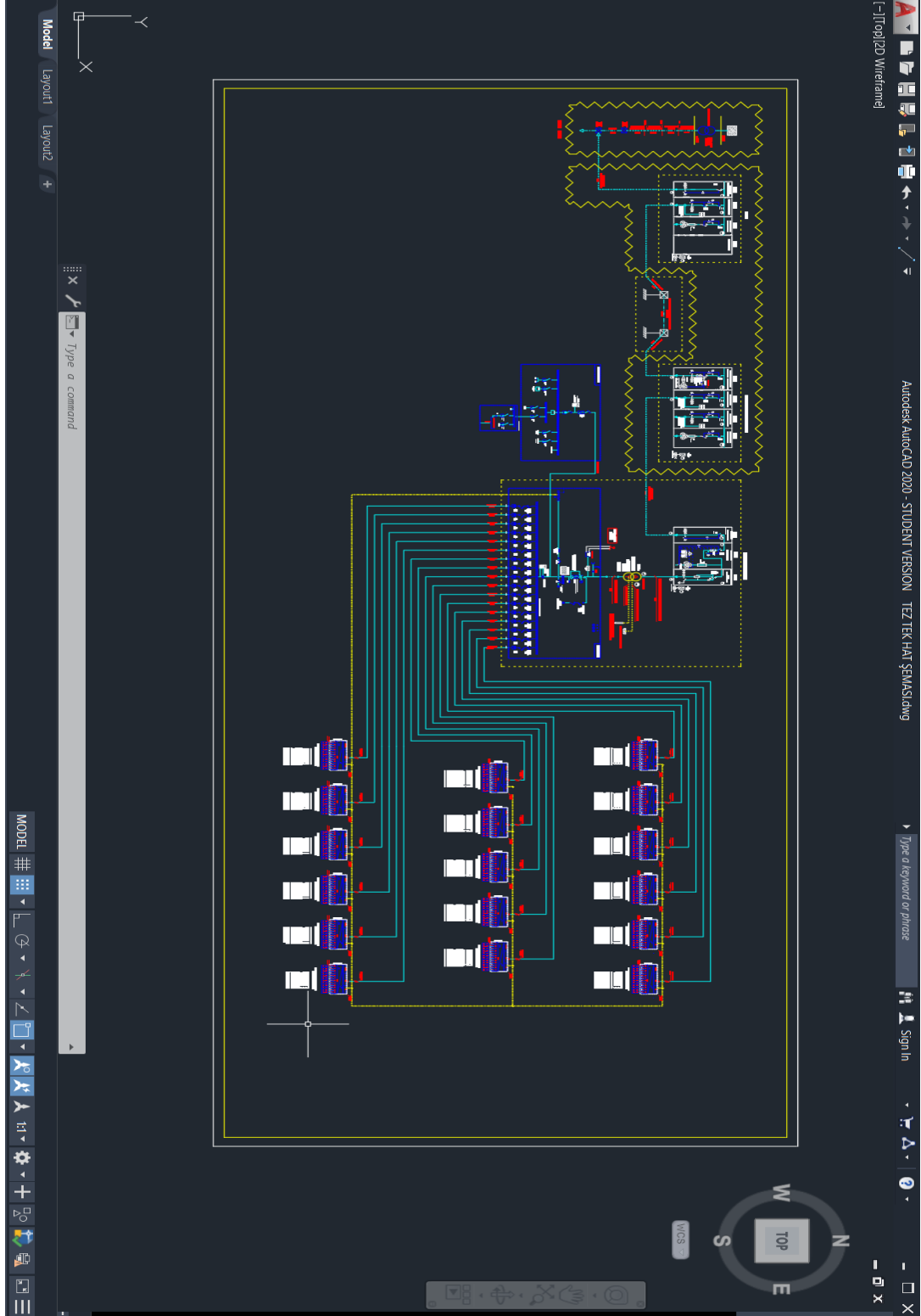


### System Lifecycle Emissions Details

Item	LCE	Quantity	Subtotal [kgCO <sub>2</sub> ]
Modules	1713 kgCO <sub>2</sub> /kWp	1120 kWp	1918246
Supports	3.26 kgCO <sub>2</sub> /kg	28000 kg	91326
Inverters	323 kgCO <sub>2</sub> /units	17.0 units	5493

# 5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI

## CEBRAİL GÜNEŞ



Resim 5.13 Tek Hat şeması

#### **5.4. Panel Seçimi, Hesabı ve Montajı**

Fotovoltaik bir güneş enerji santralinde tasarım yapılırken üzerinde durulması gereken en önemli konuların başında kullanılacak panelin seçimi gelir. Şöyle ki bir fotovoltaik güneş enerji santralini insan vücuduna benzetirsek paneller, sistemin kalbi denilebilir.

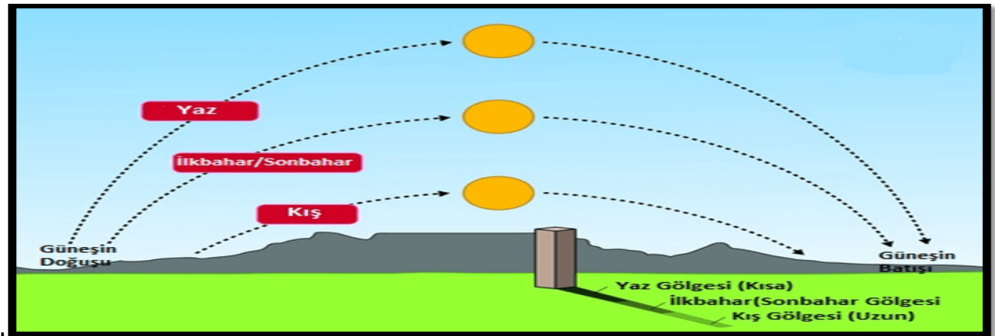
Bir GES santralinde bu aşamada bir harita mühendisi tarafından ilk olarak saha ile ilgili Autocad ortamında vaziyet planının çıkartılması gerekir. Bu aşamada dikkat edilmesi gereken husulardan bazıları şunlardır: Santral sahasında paneller üzerinde gölgelenmeye neden olabilecek yerlerin belirlenmesi, inverter ve trafon gibi elemanların nerede olması gerektiği ve arazide varsa eğim durumunun tam olarak netleştirilmesi ve son olarak montaja olanak tanımayan durumların belirlenmesi gerekmektedir. Daha sonra Bölüm 3.1’de anlatılanlardan yola çıkılarak panelin çeşidinin ve tipinin seçilmesi gerekir. Şebekeye bağlı 1 MW’lık bir GES santralinin maliyeti çok yüksek olduğu için mümkün olduğunca en verimli panelin seçilmesi gerekir ki aynı alandan daha fazla enerji elde edilsin. Panel seçiminde daha önceki bölümlerde anlatılan ışığında panelin seçimi yapıldıktan sonra panelin yönünün ve açısının belirlenmesi gerekir. Ülkemiz kuzey yarım kürede olduğu için yere sabit şebekeye bağlı bir GES santrallerinde panelin yönünün daima güneşe bakması gerekir. Fakat panel açısının belirlenmesi için santralin koordinatlarının belli olması gerekir. Tez Adıyaman Üniversitesi’nde yazıldığı için örnek olarak Adıyaman ele alındığında panel açısının enlem açısına yaz aylarında  $10^{\circ}$  çıkarılarak bulunması ve kış aylarında ise yine  $10^{\circ}$  eklenerek bulunmasıyla hesaplanır. Fakat verimin yüksek olmasının arzu edilmesi sebebiyle saatlik en verimin en yüksek olduğu eğim açılarından günlük tabloya günlük tablolardan aylık tabloya ve aylık tablolardan ise yıllık eğim açısına ulaşılabilir. Anacak pratik olarak eğim açısı şu şekilde olabilir. “Güneş paneli eğim açısı, enlem değeri yardımıyla hesaplanır. Bu açı, eğer enlem değeri  $25^{\circ}$ ’ten küçükse  $0,87$  ile çarpılarak hesaplanır. Enlem değeri  $25$  ile  $50$  arasında ise  $0,87$  ile çarpılır ve sonuca  $3,1$  derece eklenir. Türkiye  $36-42$  derece enlemleri arasında yer aldığı için, ülkemizdeki tüm kuruluşlar için bu hesaplama yöntemi kullanılmalıdır.  $50$  derece ve üzerindeki enlem değerinde ise ideal açı yaklaşık  $45$

## 5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI CEBRAİL GÜNEŞ

derece olarak alınabilir. Türkiye'deki tüm şehirlerde kullanılmak üzere güneş paneli eğim açısı hesabı için ise aşağıdaki formülü kullanabilirsiniz. Panel Eğimi = Enlem x 0,87 + 3,1° [110]. Adıyaman için enlem 37,7639 değeri ile hesaplama yapılırsa yaklaşık 36 derecelik sabit bir eğim açısı bulunmuş olur.

Bugün itibariyle birçok santrale bakıldığında panellerin dikey olarak 2'li ya da 3'lü yatay olarak 3'lü ya da 4'lü yatay olarak montajının yapıldığı görülür. Bu montaj tiplerinin herhangi birinin seçiminde gölgelenmeye durumuna mahal vermeyecek şekilde seçilmesi gerekir.

Panelin eğim açısının önemli olduğu kadar diziler arasındaki mesafenin de önemi büyüktür. Çünkü ardışık dizilerin birbirlerine gölge yapmaması gerekir. Zira gölgelemenin olması gölgelemeye maruz kalan hücrelerin işlevselliğini yitirmesi, hücrenin paneli, panelin diziyi ve dizinin sistemin genel verimini menfi olarak etkilemesine neden olur. Bu yüzden sahada masaların dizimi (taşıyıcı sistem) yapılırken belli bir hesaba göre boşluk bırakılmalıdır ki paneller gölgelemeye maruz kalmassın. Bu hesabın yapılabilmesi için güneşin deklinasyon açısının ( $\delta$  : Güneşin ekvator düzlemi ile yaptığı açı), kurulacak sahanın enlemini ve paneli yerleştirileceği eğim açısının bilinmesi gerekir. Deklinasyon açısı 21 Haziran'da  $23,5^{\circ}$  kuzey enlemi yaz gündönümü ve 21 Aralık tarihinde  $23,5^{\circ}$  güney enlemi kış gündönümü arasında değişmektedir. Nedeni dünyanın döndüğü yörüngede  $66,5^{\circ}$ 'lik eğik bir açıyla ilerlemesidir. Ekinoks tarihleri olan 21 Mart ve 23 Eylül tarihlerinde deklinasyon açısı sıfırdır.

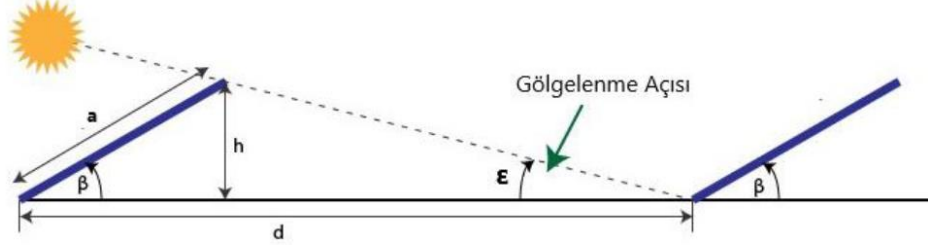


Resim 5.14 Güneşin mevsimlere bağlı olarak geliş durumu [111]

Şekilden anlaşıldığı üzere yazın güneş kuzey yarım küreye daha dik kışın ise daha eğik olarak gelmektedir. Bu yüzden gölge boyu kışın özellikle 21 Aralık tarihinde

## 5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI CEBRAİL GÜNEŞ

en uzun seviyededir. Önceki bölümlerde ülkemizin kuzey yarım kürede olması ve panellerin güneye bakması gerektiği ayrıca Adıyaman için panelin  $36^{\circ}$  açı yerleştirilmesi gerekmektedir. Adıyaman için enlem derecesi  $37,78^{\circ}$  'dir.



Resim 5.15 Gölgelenme açısı

$$\varepsilon = 90^{\circ} - \delta - \varphi$$

$$d/a = \cos \beta + \sin \beta / \tan \varepsilon$$

$\varepsilon$  : Gölgeleme açısı

$\delta$  : Deklinasyon açısı (Adıyaman için 21 Aralık tarihinde  $-23,5^{\circ}$  'dir.)

$\varphi$  : santralin bulunduğu enlem (Adıyaman'ın enlemi  $37,78^{\circ}$  'dir.)

$\beta$  : Panelin eğim açısı

$a$  : Tez için seçilen panel yatay uzunluğu 996 mm'dir. Montaj için paneller arası 20mm boşluk bırakıldığı kabul edildiğinde  $a$  değeri 4,044m olarak hesaplanır.

Yukarıdaki formülde sayılar yerine konulduğunda Adıyaman için gölgeleme açısının ( $\varepsilon$ )  $28,72^{\circ}$  olduğu ve diğer formülden ise  $d$  değerinin 7.61 metre olduğu anlaşılır. Ancak sahada arazi problemi yok ise  $d$  mesafesi, santral kurulumundan sonra santralde yapılacak bakım onarım faaliyetleri için arttırılabilir.

Güneş panelin konumlandırılması hesabına bakıldığında panel güneye  $36^{\circ}$  sabit açıyla ve ardışık taşıyıcı sistemin ön ayağından ön ayağına olan mesafenin 10 metre seçilmesi (arazi büyüklüğü uygunsa ) uygun görülmüştür.

### 5.4.1. Panellerin Seçimi

Fotovoltaik güneş enerji panellerinin çeşitleri, bölüm 3.1'de detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Bu bölümde fotovoltaik güneş enerji panellerinin seçiminin teknik açıdan değerlendirilmesi yapılmıştır. Ayrıca güneş enerji santralinin

kurulacağı yerin coğrafi özellikleri de panel seçiminde önemli rol oynamaktadır. Örneğini santralin çok sıcak bir bölgede kurulması düşünülüyor ise yüksek sıcaklıklarda verim kaybı daha az olan paneller tercih edilmelidir. Ayrıca nemli bölgeler için ise nemin sıcaklık artışına yapacağı ekstra katkı da göz önünde bulundurulmalıdır. Firmalar, güneş panelleri için STC ( Standard Test Condition = 25 °C hücre sıcaklığı 1000W/m<sup>2</sup> ışınım altında) olarak anılan Standard Test Koşulları olarak bilinen şartlarda panellerin testlerini yaparak yatırımcıları net ve doğru bilgilendirmeyi amaçlarlar. Çünkü bir fotovoltaik güneş enerji santralının kurulumu hem maliyet olarak çok yüksek olup hem de uzun süreli sistemler olduğu için yatırımcı kendisi için en doğru panel tipini seçmek durumundadır.

Firmaların ürettikleri paneller dikkatlice incelendiğinde farklı sınıflarda panel üretikleri görülür. Yani paneller kalitesine göre A sınıf B sınıf ve C sınıf olarak sınıflandırılmıştır. Burada önemli olan yatırım maliyetinin yüksek olması ve santralin uzun vadede çalışacak olması hasebiyle üzerinde mikro çatlaklar gibi kusurların olmadığı en iyi en kaliteli sınıfı seçmektir. Ayrıca panel üreticilerinin kendi ürünleriyle ilgili hazırladıkları standart test koşullarında yapılmış ürünlere ait çalışma bilgilerinin bulunduğu dokümanların (data sheet) üretici firmalardan temin edilip, birbiri ile kıyaslanmasında fayda olup yatırımcının, kendi şartlarına göre en doğru paneli seçmesinde fayda sağlanmış olur.

Piyasada hali hazırda en fazla kullanılan panel çeşidi polikristal paneldir. Yatırımcıların, en fazla bu panel tipini tercih etmesindeki nedenler ise monokristal panellere göre, kurulacak tesisin gücü göz önünde bulundurulduğunda daha ucuz olması ve yine kendisinden daha ucuz fakat verimlilik açısından daha düşük bir verime sahip olan ince film panellere göre ise daha az yer kaplamasıdır.

Güneş panellerinin arka tarafında panel ile ilgili teknik bilgilerin olduğu bir etiket mevcuttur. Bu etiketin üzerinde İngilizce olan bazı kavramlar olmakla beraber bunların daha iyi anlaşılması için teknik olarak açıklanması gerekir. Aşağıda bu teknik terimler açıklanmıştır.

Characteristic for STC: Bu panelin imalatının yapılmasından sonraki tabii tutulduğu testlerin şartlarını gösterir. Yani panel, 1,5 atmosfer basıncında, 1000W/m<sup>2</sup> ışınım altında 25 °C sıcaklıkta test edilmiştir.

## **5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI**

### **CEBRAİL GÜNEŞ**

Max Power: Maksimum güç demektir. Bu panelden standart test koşullarında alınabilecek en yüksek güç miktarını ifade eder. Watt kelimesinin kısaltması olan W harfinin yanında yer  $p$  harfi İngilizce peak kelimesinin (Türkçesi pig, en tepe uç) kısaltmasıdır. Maksimum güç konusunda şu hususa dikkat edilmelidir. Günün her saatinde panel yatırımcıya STC'deki gösterilen  $W_p$  değerinde güç vermeyecektir. Günün ilk ışıklarıyla beraber panel çok küçük değerlerden itibaren güç üretmeye başlayarak öğle vakti civarlarında en yüksek değere ulaştıktan sonra tekrar güç üretmede düşüşe geçer. Bu hususun dikkatlerden kaçmaması gerekir

Open circuit voltage: Açık devre Voltajı olarak Türkçe'ye çevirebiliriz. Bu ifadeden kastedilen; panelin artı ve eksi uçları bir voltmetreye bağlandığında okunacak maksimum voltaj değeridir.

Voltage at mak. power: Panelin etiketi üzerinde okunan bu ifadede, panelin bir invertere bağlandığında panelden alınacak maksimum voltaj değeri kastedilmektedir.

Short circuit current: Panelin artı ve eksi uçları bir ampermetreye bağlandığında okunacak akım değerini gösterir.

Current at mak. power: Bu ifadede panelin artı ve eksi uçları bir inverter bağlandığında ampermetreden okunacak en fazla değeri gösterir.

Power tolerance +/-% : Panelde STC'deki görülecek en yüksek güç değerinin yüzdesel olarak altında veya üstünde güç üretebileceği tolerans değerini gösterir. Bu konuda yatırımcı mümkün olduğunca negatif değerli tolerans aralığına sahip bir panelden kaçınmalı, tolerans değeri 0 ve pozitif değerler arasında olan panelin seçilmesinde fayda vardır. Özellikle santralde dizi inverter kullanılacaksa kesinlikle tolerans değeri negatif olan panellerden kaçınılmalıdır ki inverterin bağlı olduğu dizide mpp seviyesi aşağıya çekilmesin. Çünkü mpp aşağıya çekilirse santralin genel verimi de düşüş gözlemlenir.

Overload protection: Bu ifade panellerde herhangi olası ters durumlarda sistemin ya da dizinin geri kalanının zarar görmemesi için by-pass diodları denilen sigortalar mevcuttur. Burada gösterilen değer özellikle kurulumun ya da projelendirmenin hesaplama aşamalarında geriye kalan ekipmanların elektriksel hesaplamalarının doğru bir şekilde yapılabilmesi için bilinmesi gereklidir.

Max. system voltage: Bu değer panellerin birbirine bağlandığı takdirde dizinin oluşturabileceği maksimum gerilim demektir. Şu anda mevcut birçok santralde 1000 Volt'luk sistem mevcut iken 1500 V inverterlerin piyasaya çıkmasıyla birlikte sistemlerde de buna paralel olarak artış görülmektedir. Dizinin gerilim değeri oldukça önemlidir. Sıcaklığın düşük olduğu bölgelerde panellerin sıcaklığında da buna bağlı olarak düşüş görülüp panellerde üretilen voltaj değeri de yükselir. Bu yüzden sistemin tasarımı yapılırken dizinin sıcaklık değişiminden ne kadar etkileneceği dikkate alınmalıdır ve 1000 Voltu geçmemelidir.

Max. number of cells: Güneş panelinin içindeki hücre sayısını gösterir.

Application class A: Panellerin üretiminde özellikle bazı standartlar söz konusudur. Bu standartlara uymayan panellerde örneğin üstünde lekelerin olduğu, su izlerinin olduğu, panellerin renkleri ile ilgili sorunların olduğu ya da bas barlarının tam düzgün olmadığı paneller farklı sınıflandırmada nitelendirilir. Fotovoltaik güneş panelleri uzun süreli yani yaklaşık 30 40 yılı aşkın bir süre boyunca çalışabilecek sistemler olduğu için yatırımcı tarafından A sınıfı bir panel tercih edilmelidir.

Güneş panellerinde dikkat edilmesi gereken noktalardan biri de pid ( Potential Induced Degradation = potansiyel kaynaklı ya da İndüklenmiş Bozulma) etkisi minimum olan paneli seçmektir. Pid etkisi, kısaca güneş panellerinde, panel çerçevesine yakın yerlerde konumlandırılmış olan güneş hücrelerinden panel çerçevesine elektronların geçmesi olayıdır. Bu yüzden güneş panellerinde mümkünse daha ileri bir teknoloji olan çerçevesiz panel seçilmelidir.

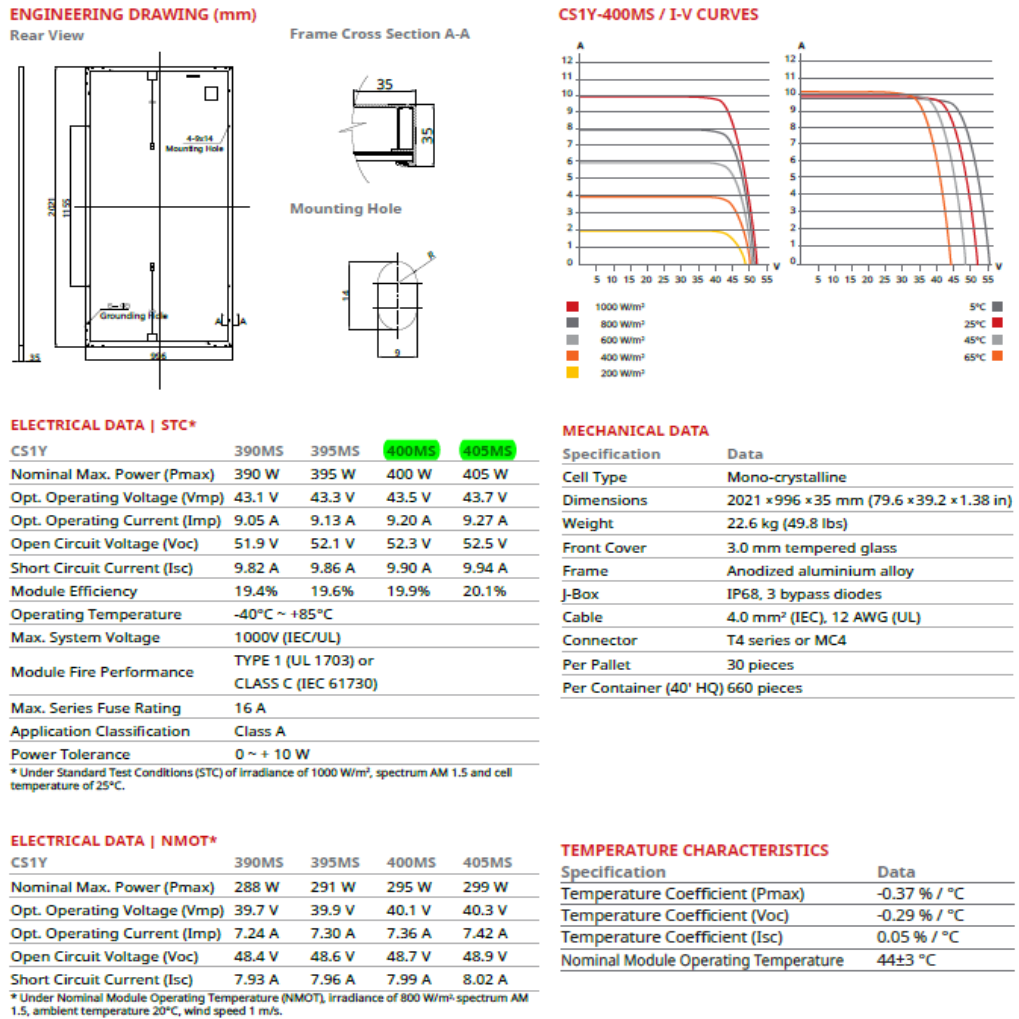
#### **5.4.2. Panellerin Hesabı**

Güneş enerji santrallerinin elektriksel hesaplaması yapılırken piyasada hazır programların yanı sıra manuel olarak da yapılabilmektedir. Pvsyst ve Pvsol gibi hazır paket programları tasarım aşamasında yol gösterici olabilirler. Fakat detaylı bir elektriksel hesabın yapılmasına olanak sağlamazlar. Bu tezde, Adıyaman şartlarında 1 MW'lık örnek bir güneş enerji santrali için genel bir hesaplama yöntemi yapılmıştır.



## 5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI CEBRAİL GÜNEŞ

İlk olarak santralde kullanılması planlanan panel sayısının belirlenmesi gerekir. Bunu için piyasada üretimi yapılan ve özellikle yeni çıkmış bir ticari teknoloji olan bir panel çeşidinin kullanılması tavsiye edilir. Çünkü güneş enerji santrallerinin 25-30 yıllık bir ömrünün olduğu düşünüldüğünde seçilecek olan panelin, üretim bakımından daha uzun bir zaman dilimi boyunca yüksek güç vermesi için yeni ve güçlü bir teknoloji olan ürünlerden seçilmesi gerekir. Bu yüzden bu tezde, üreticisinin özel bir nedeni olmamakla birlikte yeni çıkmış, Canadian solar firmasının 400 W gücünde CS1Y 400MS serisi monokristal panel kullanılacaktır. Üretici firmalar tarafından, paneller ile ilgili detaylı teknik bilgilerin yer aldığı datasheet olarak nitelendirilen doküman yayınlarlar.



Resim 5.16 Panel Datasheet [112]



Resim 5.17 400W Monokristal Solar Panel

Datasheet incelendiğinde hesaplamalarda kullanılacak bazı değerler önemlidir. Bunlar  $P_{max}$ ,  $V_{mp}$ ,  $I_{mp}$ ,  $V_{oc}$ ,  $I_{oc}$  ve sıcaklıkla ilgili karakteristik bilgilerdir.

Genel olarak 1 MW'lık bir güneş enerji santralinin kurulumu için gerekli panel sayısı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Panel sayısı} = \text{Kurulu güç} / \text{Bir panelden elde edilen güç}$$

Kurulu Güç: Elektrik üretimi için gerekli DC güçtür. Bu da üretilecek olan enerjinin pratikte yaklaşık %11-12 fazlasına tekabül eder. Yani 1 MW'lık bir santral için 1100-1200 DC kurulu güce ihtiyaç vardır. Yapılan örnekte ilk olarak 1120 KW güce göre kurulum yapılmak istenmiştir. Bu durumda kullanılacak olan panel sayısı, kurulu gücün panel gücüne oranıyla bulunur.

$$\text{Panel sayısı} = \text{Kurulu güç} / \text{bir panel gücü}$$

$$= 1120 / 0,4 = 2800 \text{ Adet panel gereklidir.}$$

Ayrıca bir panelin dizi bağlantısı için maksimum ve minimum çalışma voltajı sınırları belirlenmelidir. Bunun için aşağıdaki formül kullanılır.

$$\text{Maks. panel gerilimi (Voc,maks)} = V_{oc} \times [1 + \beta V_{oc} \times (T_{min} - T_{stc}) / 100]$$

$V_{oc}$  değerini panel datasheetinden 52,3 V,

$\beta V_{oc}$  değeri panel datasheetinden -0,29 %/ °C olarak bulunur.

$T_{min}$  değeri -10 °C olarak alınabilir.

$T_{stc}$  ise 25°C'dir.

$$\text{Maks. panel gerilimi (Voc,maks)} = 52,3 \times [1 + (-0,29) \times (-10-25)/100] = 57,6V$$

$$\text{Min. panel gerilimi (Voc,min)} = V_{oc} \times [1 + \beta V_{oc} \times (T_{maks} - T_{stc}) / 100]$$

$V_{oc}$  değerini panel datasheetinden 52,3 V,

$\beta V_{oc}$  değeri panel datasheetinden -0,29 %/ °C olarak bulunur.

$T_{maks}$  değeri 70 °C olarak alınabilir.

## **5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI** **CEBRAİL GÜNEŞ**

T<sub>stc</sub> ise 25°C'dir.

Minimum panel gerilimi= 52,3 x [1+ (-0,29) x (70-25)/100] = 45,47 V

Maks. Panel gerilimi (V<sub>mp,maks</sub>) = V<sub>mpp</sub> x [1+ βV<sub>mpp</sub> x (T<sub>min</sub> - T<sub>stc</sub>) / 100 ]

V<sub>mpp</sub> : 43,5 V

βV<sub>mpp</sub> : -0,37 %/ °C

Maks. Panel gerilimi (V<sub>mp</sub>)= 43,5 x[1+ (-0,37) x ((-10-25)/100)] = 49,13 V

Min. Panel gerilimi (V<sub>mp,min</sub>)= V<sub>mpp</sub> x [1+ βV<sub>mpp</sub> x (T<sub>max</sub> - T<sub>stc</sub>) / 100 ]

$$= 43,5 x [1+(-0,37) x ((70-25)/100)] = 36,25 V$$

Paneller ile ilgili yukarıda yapılan hesaplamalardan sonra panellerin seri bağlanacağı dizinin hesabın yapılması gerekir. Fakat dizi hesaplamaları sadece panel ile ilgili değildir. Aynı zamanda kullanılacak invertere ait teknik özelliklerin bilinmesi gereklidir. Çünkü dizi hesapları, inverterin giriş gücüne ve mppt input sayısına göre yapılır.

Piyasada farklı güçlerde inverter tipleri mevcuttur. Pratikteki projeler incelendiğinde her projede teknoloji geliştikçe farklı güçlerdeki inverterlerin kullanıldığı görülür. Bu tez kapsamında projeye uygun 60 KWe güç üreten bir dizi inverter olan Huawei – SUN2000-60KTL-M0 serisi inverter kullanılmıştır. Seçilen invertere ait teknik bilgiler, bölüm 5.5.'de İnverter Seçimi, Hesabı ve Montajı başlığı altında incelenmiştir. İnverter belirlendikten sonra dizi hesaplamaları yapılır.

İnverter dataseheetinde, dizi hesaplamalarında kullanılacak değerler inverter input değerleridir. İnverter datasheeti incelendiğinde inverterin eşik çalışma değerinin 200 V ve maksimum giriş voltajının 1100 V değerinde olduğu görülür. Ayrıca mppt özellikli bir inverter olduğu için bir mppt'nin çalışması için minimum ve maksimum voltaj değerleri sırasıyla 200 V ve 1000 V'dur. Bu bilgiler ışığında bir dizide kullanılacak panellerin toplam maksimum Voc değerinin inverterin Voc değerini aşmaması gerekmektedir ve panellerin toplam minimum Voc değerinin inverterin V<sub>min</sub> değerinin altında olmaması gerekmektedir. Ayrıca dizideki panellerin toplam V<sub>mp,maks</sub> değeri İnverterin V<sub>mpp</sub> değerinden fazla olmamalı ve panellerin toplam V<sub>mp,min</sub> değeri İnverterin V<sub>mpp</sub> değerinin altında olmaması gerekmektedir. Bu bilgiler ışığında dizideki panel sayısı aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

Dizideki maksimum panel sayısı ( $N_{maks}$ ) =  $V_{inverter,mpp} / V_{oc,maks}$

Dizideki maksimum panel sayısı ( $N_{maks}$ ) =  $1000 / 57,6 = 17,36$  adet panel/dizi. Bu sayı maksimum olduğu için 17 panel olarak alınabilir.

Dizideki minimum panel sayısı ( $N_{min}$ ) =  $V_{inverter,min} / V_{oc,min}$

$$= 200 / 45,47 = 4,36 \text{ adet/dizi.}$$

Bu  $N_{min}$  değeri, bir üst sayıya yuvarlanarak 5 olarak alınabilir.

Bir dizideki maksimum ve minimum panel sayısını invertere ait mppt'ye hesaplırsak;

Dizideki maksimum panel sayısı ( $N_{maks}$ ) =  $V_{inverter,mppt,maks} / V_{mp,maks}$

$$= 1000 / 49,13 = 20,35 \text{ adet/dizi. Bu sayı}$$

20 olarak kabul edilir.

Dizideki minimum panel sayısı ( $N_{maks}$ ) =  $V_{inverter,mppt,min} / V_{mp,min}$

$$= 200 / 36,25 = 5,51 \text{ adet/dizi.}$$

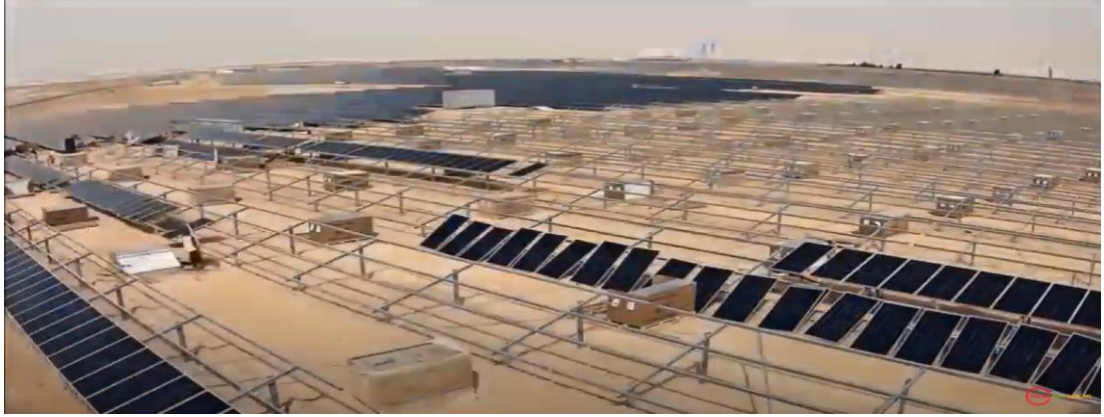
Bu sayı ise 6 olarak kabul edilir. Yukarıdaki hesaplamalar doğrultusunda kullanılan paneller ve invertere göre bir dizide en fazla 17 panel ve en az 6 panel olmalıdır. Fakat inverterlerin bir optimum çalışma voltajı vardır. Örnek invertere ait datasheet incelendiğinde optimum çalışma değerinin 600 -700 V arasında olduğu anlaşılır. Bu durumda inverterin mümkün olduğunca en yakın optimum çalışma noktasına yaklaştırılması gerektiğinden bu tezde ortalama 14 panel, bir dizi için kullanılmıştır. Kullanılan inverterin her mppt için 2 inputu olduğunda 6 mppt'li invertere toplamda 12 adet paralel dizi bağlanabilir. Toplamda 16 adet invertere, (her bir adet inverter için  $12 \times 14 = 168$  adet panel)  $16 \times 168 = 2688$  adet panel gereklidir. 17. İnvertere ise başta 2800 olarak hesaplanan panelden 112 adedi kalacaktır. Bu durumda inverterden maksimum faydalanmak için her bir mppt ye eşit miktarda güç girilmesi gerektiğinden 8 inputa 14 er adet panel toplamda 112 adet panel bağlanması gerekir. Mümkün olduğunca inverter inputlarına girilen DC gücün tüm inputlarda aynı ya da birbirine yakın olmaları inverter verimliliğini artırır.

### **5.4.3. Panellerin Montajı**

Paneller, bir güneş enerji santrali için maliyette en büyük dilime sahip elemanlardır. Bu yüzden bunların montajını yapılırken özen ve hassasiyet

gösterilmelidir. Zira dikkatsiz yapılan bir montaj hem mali hem de üretilecek enerji açısından büyük kayıplara neden olabilirler.

Panellerin montajının en başında montaj işleminin yapılacağı yere en yakın noktaya istiflenmelidir. Montaj yerine getirilirken ve montaj esnasında çok dikkatli olunması gerekir. Çünkü hafif bir darbe ya da panelin taşınması esnasında bir yere çarpması, hücrelerde mikro çatlaklara neden olabilir ki bu da üretilen enerjiyi direkt etkiler.



Resim 5.18 Güneş panellerinin santral sahasında montaj yapılacak en yakın yere getirilmesi ile ilgili örnek resim [113]

Diğer bir hususu ise panelin etrafını saran metal çerçevenin zarar görmemesi gerekir. Olası darbelerde çerçevenin eğilmesine neden olup bu da hem panelin içindeki hücreleri etkiler hem de ilerleyen zamanlarda darbenin olduğu noktada oksitlenmeye neden olup panel ömrünün kısalmasına neden olur. Aynı sehpa da panel dizilerinin montajında, ilerleyen zamanlarda çıkabilecek olası bir yangın veya aşırı rüzgâra maruz kaldığında taşıyıcı sistemden kopmaması için mutlaka paneller arasında ortalama 2 cm'lik boşluklar bırakılması gerekir. Ayrıca panel montajı esnasında panelin üzerine basılmadan montajlanması gerekir. Taşıyıcı istem üzerine montaj esnasında montajı yapan teknik ekibin mutlaka bu işin eğitimini almış kişilerden seçili olması gerekir.

## 5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI CEBRAİL GÜNEŞ



Resim 5.19 Panel montajının özenle yapılması gerektiği ile ilgili örnek resim [114]



Resim 5.20 Panel montajının özenle yapılması gerektiği ile ilgili örnek resim [114]

Panellerin montajında eğim açısı her bir panelin montajında ölçülmelidir ki üretilen enerji maksimum olsun. Diğer bir husus panel montajında montajın bitimine kadar topraklama yapılmalıdır. Santrallerde her bir panelin topraklanması zor olduğundan taşıyıcı sistemin ayakları vasıtasıyla topraklama işlemi yapılır. Son olarak panellerin montajında kullanılan bağlantıların bir tork anahtarı yardımıyla sürekli ölçülmesi gerekir.

## **5.5. İnverter Seçimi Hesabı ve Montajı**

### **5.5.1. İnverter Seçimi**

Fotovoltaik güneş enerji santrallerinde, sistemin beyni olan bir diğer önemli ekipman inverterdir. İnverterler şebeke bağlı şebekeden bağımsız ve hibrit inverter olarak sınıflandırılabilir. Şebekeden bağımsız inverterler, akülü sistemler olup bu sistemlerin şebeke bağlı sistemlerden farkı şarj kontrol cihazlarının ve akülerin olmasıdır. Ülkemizde şebekeden bağımsız sistemlerin miktarı çok az olup yatırımcılar tarafından şebeke bağlı inverter seçilmiştir. On grid (şebeke bağlı) inverterler, eğer şebekede enerji var ise çalışmaktadır. Aksi takdirde santralin çalışmasını durdurmaktadır. Off grid inverterler, akülü sistemler olduğu için bu sistemlerde santralin kendini kapatması diye bir durumun olması söz konusu değildir. Bu çalışma kapsamında özellikle on grid inverterlere değinilecektir.

İnverterlerin seçiminde dikkat edilmesi gereken noktaların başında, yatırımcının santrali kuracağı yerin arazi yapısı gelmektedir. Eğer arazi yapısında inişli çıkışlı bölgeler varsa, arazi eğim konusunda homojen değil ise ya da santral, kayalıklar gibi şekil vermesi zor yapılarda kurulacak ise dizi inverter kullanılması gereklidir. Çünkü farklı eğimlere sahip bölgelerde, kurulacak dizilerden gelen enerjinin miktarını diziler arasında farklılık göstereceğinden, bu dizileri, merkezi inverterlere göre, mppt noktası daha çok olan dizi inverterlere ile bağlamak gerekir. Böylelikle dizilerden gelen farklı miktarda enerjinin kaybolup sistemin veriminin düşmesi engellenir. Dizi inverterlerin bu yönden avantajlı iken özellikle düz yerlerde eğim probleminin çok olmadığı yerlerde kablolama ve bakım maliyetlerinin daha düşük olduğu merkezi inverterler seçilebilir. Özellikle 1 MW<sub>p</sub> ve daha fazla güç üreten tesislerde saha zemininde problem yoksa merkezi inverterler idealdir. Ancak son yıllarda dizi inverterlerin fiyatı düştüğü için yatırımcılar tarafından 1 MW<sub>p</sub> değerinde güç üreten santrallerinde dizi inverter kullanılmıştır.

İnverterlerin seçiminde bir diğer önemli konu da inverterlerin kullanılacağı yerin hava şartlarıdır. Eğer hava şartları gün içerisinde veya mevsimsel olarak çok değişkenlik gösteriyorsa bu durumda çalışma aralığı geniş olan inverterler

## **5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI** **CEBRAİL GÜNEŞ**

seçilmelidir. Ayrıca özellikle ülkemizde kış ayların güneşin geç doğması ve erken batması düşünüldüğünde, santralin enerji üretmesi anlamında, kullanılacak inverterlerin daha erken saatlerde çalışıp daha geç saatlerde durması beklenir.

Yukarıda inverterlerin seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar anlatılmıştır. Bu bilgiler ışığında Adıyaman şartlarında bir dizi inverterin kullanılmasının uygun olacağı düşünülmüştür. Bu tez için 1 MW fotovoltaik güneş enerji santraline uygun 60 KWe güç üreten bir dizi inverter olan Huawei – SUN2000-60KTL-M0 serisi seçilmiştir. İnverter üreticiler tarafından, kendi web sitelerinde elektriksel hesaplamalarda kullanılması amacıyla, ürettikleri inverterler ile ilgili daha detaylı datasheet yayınlanır. Şekilde, örnek olarak bu tezde kullanılan invertere ait datasheet yer almaktadır.

SUN2000-60KTL-M0  
Smart String Inverter



Resim 5.21 Tez için seçilen invertere ait resim [115]



## **5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI** **CEBRAİL GÜNEŞ**

Technical Specification	SUN2000-60KTL-M0
<b>Efficiency</b>	
Max. efficiency	98.9% @480 V; 98.7% @380 V / 400 V
European efficiency	98.7% @480 V; 98.5% @380 V / 400 V
<b>Input</b>	
Max. Input Voltage	1,100 V
Max. Current per MPPT	22 A
Max. Short Circuit Current per MPPT	30 A
Start Voltage	200 V
MPPT Operating Voltage Range	200 V ~ 1,000 V
Rated Input Voltage	600 V @380 Vac / 400 Vac; 720 V @480 Vac
Number of Inputs	12
Number of MPP Trackers	6
<b>Output</b>	
Rated AC Active Power	60,000 W
Max. AC Apparent Power	66,000 VA
Max. AC Active Power (cosφ=1)	66,000 W
Rated Output Voltage	220 V / 380 V, 230 V / 400 V, default 3W + N + PE; 3W + PE optional in settings; 277 V / 480 V, 3W + PE
Rated AC Grid Frequency	50 Hz / 60 Hz
Rated Output Current	91.2 A @380 V, 86.7 A @400 V, 72.2 A @480 V
Max. Output Current	100 A @380 V, 95.3 A @400 V, 79.4 A @480 V
Adjustable Power Factor Range	0.8 leading... 0.8 lagging
Max. Total Harmonic Distortion	< 3%
<b>Protection</b>	
Input-side Disconnection Device	Yes
Anti-islanding Protection	Yes
AC Overcurrent Protection	Yes
DC Reverse-polarity Protection	Yes
PV-array String Fault Monitoring	Yes
DC Surge Arrester	Type II
AC Surge Arrester	Type II
DC Insulation Resistance Detection	Yes
Residual Current Monitoring Unit	Yes

Resim 5.22 Tez için seçilen invertere ait datasheet [115]

### **5.5.2. İnverter Hesabı**

Kullanılacak inverter seçimi yapıldıktan sonra çıkış gücü mümkün olduğunca 1 MW<sub>e</sub> AC güce yaklaştırılmalıdır. Bunun için sistemin kurulu DC gücünün 1120 KW olarak seçildiği bölüm 5.4.'de anlatılmıştır.

Kullanılacak inverter sayısı (N<sub>inv.</sub>) = Maksimum çıkı gücü / İnverter çıkış gücü

$$(N_{inv.}) = 1000 \text{ KW} / 60 \text{ Kw} = 16,66$$

Elde edilen değeri bir üst sayıya yavurlayarak 17 olarak kabul edilebilir. O halde bu tez için tasarımda 17 adet 60 KW<sub>e</sub> inverter kullanılabilir.

### **5.5.3. İnverter Montajı**

Kullanılacak inverterler çeşitli olduğundan yapılan montaj usulleri de değişmektedir. Dizi inverterlerin montajında inverterler, güneş görmeyen ve ön tarafının kuzeye bakacak şekilde konumlandırılmalıdır. Dizi inverterlerin montajı yapılırken etrafında her hangi bir şeyin olmamasına dikkat edilmelidir. İnverterlerin DC girişlerinin izin verilen maksimum DC girişinden yüksek bir gerilim bağlanmamalıdır. Aksi halde cihazın ısınmasına ve kendini kapatmasına neden olur. Dolayısıyla inverter başına düşen gerilimlerin iyi hesaplanmış olması gerekir. Ayrıca inverterler direkt zemine konumlandırılmamalıdır. Hem toprağın etkisinden hem de iklimsel etkilerden (yağmur, kar gibi) etkilenmemesi gerekir. Bu yüzden genellikle dizi inverterler panel sehpalarna montaj edilirler. Dizi inverterler IP65 standardına (Ip65: Toz geçirmez ve her yönden gelebilecek düşük tazyikteki sulara karşı koruma sağlar.) sahiptirler. Yani üreticilerden alınan bilgilere göre -20°C ve +60°C arasında çalışırlar. Bu yüzden açık havada çalışabilirler.

Merkezi inverterlerin montajı daha farklı olup bu tip inverterlerin IP65 standardı olmadığı için bunların özel alanlarda açık havadan muhafaza edilmiş özel kabinlerde montajı yapılmalıdır. Gerek dizi inverter gerek merkezi inverterlerin montajı esnasında dikkat edilmesi gereken önemli husus kablo girişleri yapılırken kablolarda enerjinin olmaması gerekir. Bu yüzden paneller ile inverterler arasına mutlaka şalter konulmalı ve kablolama esnasında şalter enerjisiyle iletmeyecek pozisyonda olması gerekir. Ayrıca inverterlere bağlanan kablolar gevşek bağlanmamalıdır. Aksi halde bağlantı noktasında arklara neden olup sisteme zarar görmesine neden olur. Bu yüzden bir güneş enerji santralinde hem taşıyıcı sistem hem panellerin montajı hem de inverterlerin montajında her zaman bir tork anahtarının kullanılması gerekir.

Tez kapsamında kullanılan dizi inverter için AC kablo montajına ait resim 5.23-24-25-26'da mevcuttur. Resim 5.26'de görüldüğü üzere inverter mutlaka yerden

## **5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI** **CEBRAİL GÜNEŞ**

yükseklikte olmalıdır. Ayrıca inverterin, yağmur ve kar gibi dış etkenlerden korunması amacıyla üstü kapalı olmalıdır.



Resim 5.23 Huawei Sun 2000 60 KTL- M0 serisi dizi inverter [116]

Resim 5.24’de inverterin alt kısmı görülmektedir. Siyah anahtarlar 12 adet dc girişi göstermektedir. Kırmızı renk ile gösterilen switchler dc switchlerdir. Montaja başlamadan önce bunların mutlaka kapalı pozisyonda tutulması gerekir.



Resim 5.24 Huawei Sun 2000 60 KTL- M0 serisi dizi inverterin alttan görünümü [116]

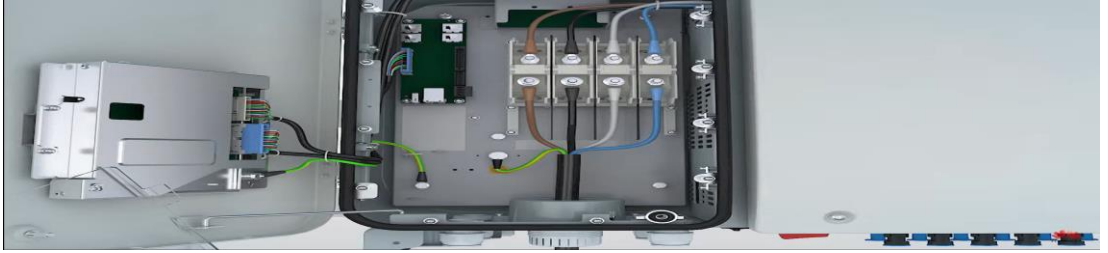
Resim 5.25’de inverterin yan tarafı görülmektedir. Montaj esnasında olası tehlikelerden korunmak amacıyla inverterin topraklanması yapılır. Sarı-yeşil kablo topraklama kablosudur.

## **5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI** **CEBRAİL GÜNEŞ**



Resim 5.25 Huawei Sun 2000 60 KTL- M0 serisi dizi inverterin yandan görünümü ve topraklanması [116]

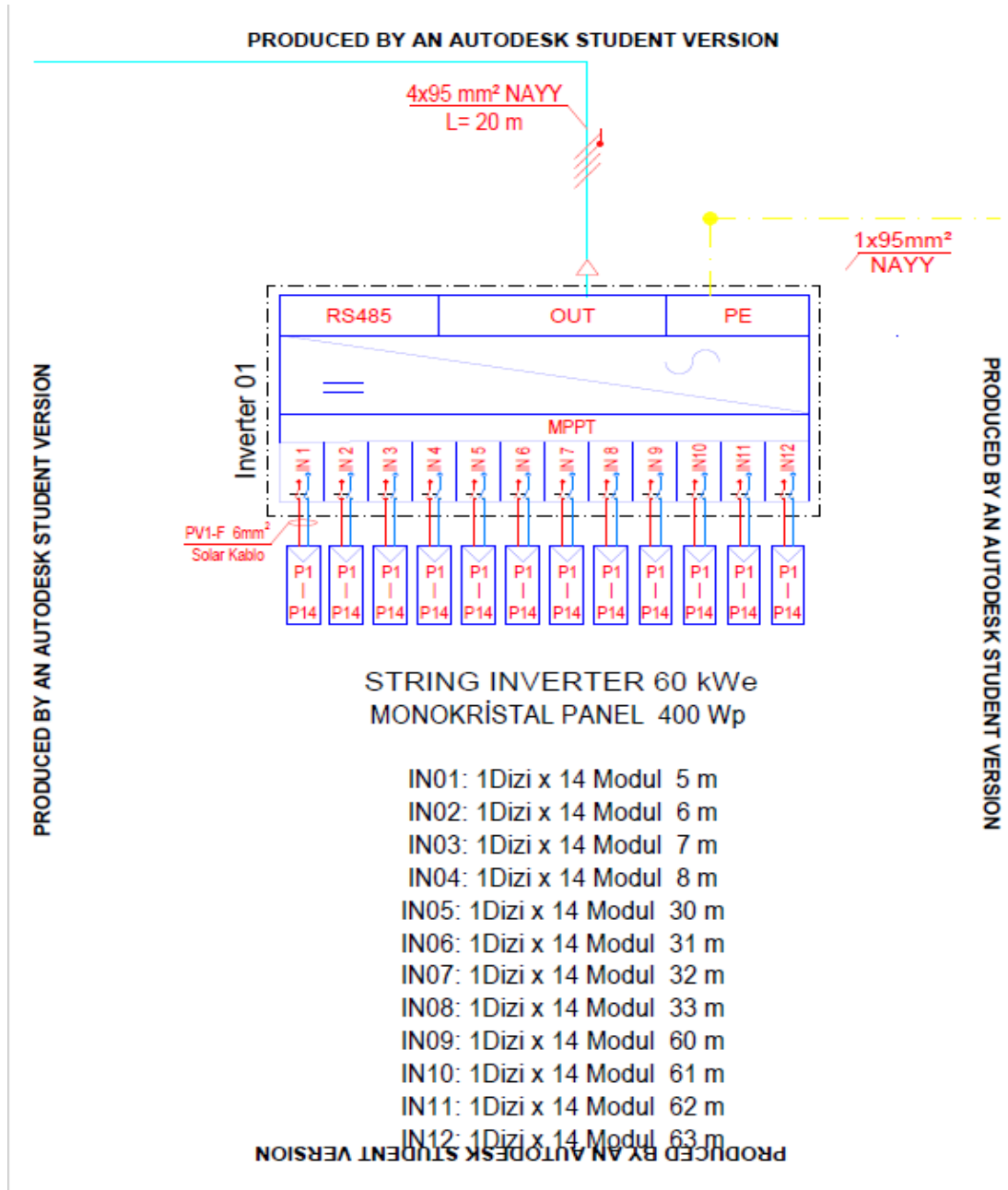
Resim 5.26’da invertere karşıdan bakıldığında sol taraftaki bölme, AC çıkış kablosunun montajının yapıldığı kısımdır. Resimde görüldüğü üzere AC çıkış kablosu beş damarlı bir kablo kullanılmıştır. Bu kablolardan kahverengi siyah ve beyaz olanlar üç fazı temsil ederken mavi olan nötr hattı, sarı-yeşil olan ise toprak hattı temsil eder.



Resim 5.26 Huawei Sun 2000 60 KTL- M0 serisi dizi inverter için Tamamlanmış AC kablo bağlantısı [116]

## 5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI

### CEBRAİL GÜNEŞ



Resim 5.27 İnvertere DC kablo bağlantı Montajı

Resim 5.27’de görüldüğü üzere invertere DC kablo bağlantılarının yapılması AC kablo bağlantılarına benzer şekilde yapılır. Tez için tasarlanan projede kullanılan inverter 6 mppt’li ve 12 inputlu olduğu için her bir invertere 12 adet dizi bağlanmıştır. Bu dizilerin her biri 14 adet panelden oluşmuştur. Toplam inverter sayısı 17 idi. 16 adet inverterdeki dizi sayıları eşit olmakla birlikte 17. İnverterde 8 dizi kullanılmıştır.

## **5.6. Kablo Seçimi Hesabı, Montajı ve Test Aşaması**

### **5.6.1. Kablo Seçimi**

Güneş enerji santrallerinde kablo bağlantıları yapılmadan önce kabloların geçeceği yerlerin net bir şekilde belirlenmesi gerekir. Yer altından döşenmesi gereken kablolar için bir kazı çalışmasının yapılması gerekir. Bu kazı çalışmasında kullanılacak iş makinelerinin özelliği ve zeminin sertlik derecesi kazı çalışmasını etkilemektedir. Örneğin arazi yapısının çok engebeli olduğu durumlarda ekskavatör olarak bilinen paletli iş makinelerine ihtiyaç duyulur. Zemin yapısında sertlik yüksek ise kazıcı makinelerle ilaveten delici olarak tabir edilen makinelerde kullanılır. Lastikli iş makinelerinin manevra kabiliyeti yüksek ise de zeminin çok yumuşak olduğu durumlarda tercih edilmez. Ayrıca bu makinelerin çalıştırılması esnasında sahada bulunan diğer ekipmanların da zarar görmeyeceği şekilde çalıştırılması gerekir. Santrallerde, enerjini toplanmasında rol alan kablolar iki çeşittir. Bunlar DC ve AC kablolardır. Panellerde inverterlere kadar DC kablo döşenirken inverterlerden sonra AC kablolar döşenir. Kabloların seçiminde kablonun uzunluğu, kablodaki voltaj ve güç değerleri önemlidir.

### **5.6.2. Kablo Hesabı**

Güneş enerji santrallerinde DC kablolar panellerin invertere bağlanmasını sağlar. Panellerin birbirine bağlantısı ise panelin üzerinde fabrikadan moteli halde gelen ve  $4\text{mm}^2$  kesitinde olan kablolar sayesinde konektörler yardımıyla birbirine bağlanır. Bir dizideki son panelden invertere kadar gelen kablonun seçim hesabı aşağıdaki gibidir. Aşağıdaki hesaplama bir dizi için yapıldıktan sonra MS Office excel yardımıyla diğer tüm diziler hesaplanarak tablo haline getirilmiştir.

#### **DC Güç Kaybı ve Gerilim Düşümü Hesabı (kablo resmi mutlaka koy)**

##### **Dizi Verileri**

Dizi Gücü ( $P_{Dizi}$ ) : 5.600 W

Dizi Gerilimi ( $U_{Dizi}$ ) :  $14 \times V_{mp} = 14 \times 43,5 = 609 \text{ V}$

## **5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI** **CEBRAİL GÜNEŞ**

Dizi Akımı ( $I_{Dizi}$ ) =  $I_{mp}$  = 9,2 A

Dizi Kablo Uzunluğu ( $L_{Dizi}$ ) : 5m

Dizi Kısa Devre Akımı ( $I_{SC}$ ) : 9,90 A

Dizi Kablo Kesiti ( $S_{DC}$ ): 6mm<sup>2</sup>

### **İnverter Verileri**

Max. Giriş Gerilimi ( $U_{INV-MAKS GİRİŞ}$ ) : 1.000V

Min. Giriş Gerilimi ( $U_{INV-MIN GİRİŞ}$ ) : 2.00V

Max. Çıkış Gücü ( $P_{INV-MAKS ÇIKIŞ}$ ) : 60.000 W

Max. Çıkış Akımı ( $I_{INV-MAKS ÇIKIŞ}$ ) : 100A

### **Formül Verileri**

$P_{Kayıp}$  : Güç Kaybı (W)

K: Elektrik iletkenliği (Bakır=56m/Ω.mm<sup>2</sup>)

%e: Solar Kablo Akım Taşıma Kapasitesi

### **Güç Kaybı Hesabı (INV01-IN01 Dizisi) için**

$$P_{Kayıp} = (2 \times L_{dizi} \times I_{dizi}^2) / (S_{DC} \times K) = (2 \times 5 \times 9.2^2) / (6 \times 56) = 2,51 \text{ W}$$

### **Gerilim Düşümü Hesabı (INV01-IN01 Dizisi)**

$$\%e = (2 \times 100 \times L_{DIZI} \times I_{DIZI}) / (S_{DC} \times U_{dizi} \times K)$$

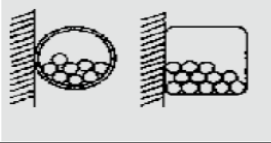
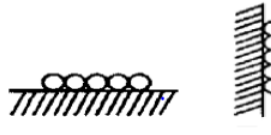
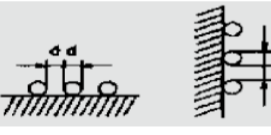
$$\%e = (2 \times 100 \times 5 \times 9,2) / (6 \times 609 \times 56) = 0,044$$

Tablo 5.1 Multicontact Solar Kablo Katalogundan Alınmıştır.

<b>Solar Kablo Katalog Bilgileri *</b>						
Kablo tipi	Kablo Kesiti (mm <sup>2</sup> )	Dış Çap (mm)	Taşıma Kapasitesi (A)	Direnç (20°C) (Ω/km)	Anma Gerilimi (V)	Çalışma Sıcaklığı (°C)
PV1-F	2,5	5,1	41	7,7	1000	-40°C - 90°C
PV1-F	4	5,8	55	4,75	1000	-40°C - 90°C
PV1-F	6	7	70	3,39	1000	-40°C - 90°C
PV1-F	10	8,2	98	1,91	1000	-40°C - 90°C

## 5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI CEBRAİL GÜNEŞ

Tablo 5.2 Elektrik Mühendisleri Odası Elektrik Tesisleri Genel Teknik Şartnamesi ve Uygulama Esasları kitabından alınmıştır.

Döşeme Şekli		Tek Damarlı Kablolar için Düzeltme Faktörleri**														
		SİSTEM SAYISI														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
		1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,48	0,45	0,43	0,41	0,39	0,38
		1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
		1,00	0,94	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90

Tablo 5.3 Multicontact Solar Kablo Katalogundan Alınmıştır.

Ortam Sıcaklığı	Kabloda İzin Verilen veya Önerilen Çalışma Sıcaklığı*					
	40°C	60°C	70°C	80°C	85°C	90°C
30°C	1	1	1	1	1	1,00
35°C	0,71	0,91	0,95	0,95	0,95	0,96
40°C	-	0,82	0,89	0,89	0,95	0,91
45°C	-	0,71	0,84	0,84	0,90	0,87
50°C	-	0,58	0,77	0,77	0,85	0,82
55°C	-	0,41	0,71	0,71	-	0,76
60°C	-	-	0,63	0,63	-	0,71
65°C	-	-	0,55	0,55	-	0,65
70°C	-	-	0,45	0,45	-	0,58
75°C	-	-	-	-	-	0,50
80°C	-	-	-	-	-	0,41
85°C	-	-	-	-	-	0,29

Tesiste, çevre ve hava koşullarına bağlı olarak hatalar meydana gelebilir ve dizi üzerinden yüksek akımlar akabilir. Bir dizi üzerinden geçebilecek maksimum akım, tüm dizi kısa devre akımlarının toplamından, bir diziye ait kısa devre akımının çıkarılmasıyla elde edilecek akımdır.

VDE 0100 Bölüm 712 (IEC60364-7-712) uyarınca; şayet kablunun ve ya hattın kalıcı akım kapasitesi STC altında her noktada kısa devre akımının 1.25 katına eşit ise dizi için aşırı yük korumasına gerek kalmayabilir. Koruma sınıfı II modülleri kullanıldığında, tesisatın topraklanmış ve kısa devreye karşı güvenli yapılmış olması yeterli emniyet sağlayacaktır.



## 5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI

### CEBRAİL GÜNEŞ

$$I_{maks} = 1,25 \times I_{sc}$$

$$I_{maks} = 1,25 \times 9,90 = 12,375 \text{ A}$$

Tablo 5.1'de belirtilen solar kablo katalog bilgileri doğrultusunda proje kapsamında kullanılacak olduğumuz 6mm<sup>2</sup> PV1 kablo için akım taşıma kapasitesi 70A'dır.

Tablo 5.2.'de belirtilen tek damarlı kablolarda düzeltme faktörü kullanıldığında kablo tavaında sık şekilde çok sayıda kablonun yan yana döşenmesi durumu için kullanılacak düzeltme faktörü 0,57 olarak kullanılır.

Tablo 5.3.'de belirtilen sıcaklık koşulları ile ilgili düzeltme faktörü, 55 ° C ortam sıcaklığında PV1 kablo için izin verilen 90 ° C sıcaklık için 0,76 değeri kullanılır.

6mm<sup>2</sup> PV1-F kablo için akım taşıma değeri;

$$I_{TK} = \text{Kablo Akım Taşıma Kapasitesi} \times \text{Sıcaklık Faktörü} \times \text{Düzeltilme Faktörü}$$

$$I_{TK} = 70 \times 0,76 \times 0,57 = 30,324 \text{ A}$$

30,324 A > 12,375 A olduğundan seçilen kablo kesiti akım taşıma kapasitesi, sıcaklık faktörü, kablo döşeme şekline göre düzeltme faktörü ve inverter girişine bağlı tüm paralel dizi kısa devre akımları açısından uygun olduğu görülmektedir.

Bütün diziler aynı sayıda PV modülün seri bağlanmasından oluşmuştur ve benzer şekilde bütün diziler aynı tip bakır kablo ile invertere bağlanmıştır. Buna göre; tüm dizilerin, güçleri, akımları, gerilimleri birbirine eşittir. Yukarıdaki formüller bir excel tablosunda tüm diziler için hesaplandığında aşağıdaki sonuçlar elde edilir. DC kablo tayini akım taşıma ve gerilim düşümü aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Tablo 5.4 DC kablo tayini akım taşıma ve gerilim düşümü tablosu

İNVERTER	Dizi	Dizi Uzunluğu (MT)	Dizi Kablo Kesiti (SDC)	Dizi Akımı (Idizi)	Elektrik iletkenliği (K)	Güç Kaybı Pkayıp (W)	Gerilim Düşümü %e	Güç Kaybı %Pk	Gerilim Düşümü (V)
INV-01	IN-01	5	6	9,2	56	2,52	0,04	0,04	0,27
	IN-02	6	6	9,2	56	3,02	0,05	0,05	0,33
	IN-03	7	6	9,2	56	3,53	0,06	0,06	0,38
	IN-04	8	6	9,2	56	4,03	0,07	0,07	0,44
	IN-05	30	6	9,2	56	15,11	0,27	0,27	1,64
	IN-06	31	6	9,2	56	15,62	0,28	0,28	1,70

**5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI**  
**CEBRAİL GÜNEŞ**

	IN-07	32	6	9,2	56	16,12	0,29	0,29	1,75
	IN-08	33	6	9,2	56	16,63	0,30	0,30	1,81
	IN-09	60	6	9,2	56	30,23	0,54	0,54	3,29
	IN-10	61	6	9,2	56	30,73	0,55	0,55	3,34
	IN-11	62	6	9,2	56	31,24	0,56	0,56	3,40
	IN-12	63	6	9,2	56	31,74	0,57	0,57	3,45
INV-02	IN-01	5	6	9,2	56	2,52	0,04	0,04	0,27
	IN-02	6	6	9,2	56	3,02	0,05	0,05	0,33
	IN-03	7	6	9,2	56	3,53	0,06	0,06	0,38
	IN-04	8	6	9,2	56	4,03	0,07	0,07	0,44
	IN-05	30	6	9,2	56	15,11	0,27	0,27	1,64
	IN-06	31	6	9,2	56	15,62	0,28	0,28	1,70
	IN-07	32	6	9,2	56	16,12	0,29	0,29	1,75
	IN-08	33	6	9,2	56	16,63	0,30	0,30	1,81
	IN-09	60	6	9,2	56	30,23	0,54	0,54	3,29
	IN-10	61	6	9,2	56	30,73	0,55	0,55	3,34
	IN-11	62	6	9,2	56	31,24	0,56	0,56	3,40
	IN-12	63	6	9,2	56	31,74	0,57	0,57	3,45
INV-03	IN-01	5	6	9,2	56	2,52	0,04	0,04	0,27
	IN-02	6	6	9,2	56	3,02	0,05	0,05	0,33
	IN-03	7	6	9,2	56	3,53	0,06	0,06	0,38
	IN-04	8	6	9,2	56	4,03	0,07	0,07	0,44
	IN-05	30	6	9,2	56	15,11	0,27	0,27	1,64
	IN-06	31	6	9,2	56	15,62	0,28	0,28	1,70
	IN-07	32	6	9,2	56	16,12	0,29	0,29	1,75
	IN-08	33	6	9,2	56	16,63	0,30	0,30	1,81
	IN-09	60	6	9,2	56	30,23	0,54	0,54	3,29
	IN-10	61	6	9,2	56	30,73	0,55	0,55	3,34
	IN-11	62	6	9,2	56	31,24	0,56	0,56	3,40
	IN-12	63	6	9,2	56	31,74	0,57	0,57	3,45
INV-04	IN-01	5	6	9,2	56	2,52	0,04	0,04	0,27
	IN-02	6	6	9,2	56	3,02	0,05	0,05	0,33
	IN-03	7	6	9,2	56	3,53	0,06	0,06	0,38
	IN-04	8	6	9,2	56	4,03	0,07	0,07	0,44
	IN-05	30	6	9,2	56	15,11	0,27	0,27	1,64
	IN-06	31	6	9,2	56	15,62	0,28	0,28	1,70
	IN-07	32	6	9,2	56	16,12	0,29	0,29	1,75
	IN-08	33	6	9,2	56	16,63	0,30	0,30	1,81
	IN-09	60	6	9,2	56	30,23	0,54	0,54	3,29
	IN-10	61	6	9,2	56	30,73	0,55	0,55	3,34

**5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI**  
**CEBRAİL GÜNEŞ**

	IN-11	62	6	9,2	56	31,24	0,56	0,56	3,40
	IN-12	63	6	9,2	56	31,74	0,57	0,57	3,45
INV-05	IN-01	5	6	9,2	56	2,52	0,04	0,04	0,27
	IN-02	6	6	9,2	56	3,02	0,05	0,05	0,33
	IN-03	7	6	9,2	56	3,53	0,06	0,06	0,38
	IN-04	8	6	9,2	56	4,03	0,07	0,07	0,44
	IN-05	30	6	9,2	56	15,11	0,27	0,27	1,64
	IN-06	31	6	9,2	56	15,62	0,28	0,28	1,70
	IN-07	32	6	9,2	56	16,12	0,29	0,29	1,75
	IN-08	33	6	9,2	56	16,63	0,30	0,30	1,81
	IN-09	60	6	9,2	56	30,23	0,54	0,54	3,29
	IN-10	61	6	9,2	56	30,73	0,55	0,55	3,34
	IN-11	62	6	9,2	56	31,24	0,56	0,56	3,40
	IN-12	63	6	9,2	56	31,74	0,57	0,57	3,45
INV-06	IN-01	5	6	9,2	56	2,52	0,04	0,04	0,27
	IN-02	6	6	9,2	56	3,02	0,05	0,05	0,33
	IN-03	7	6	9,2	56	3,53	0,06	0,06	0,38
	IN-04	8	6	9,2	56	4,03	0,07	0,07	0,44
	IN-05	30	6	9,2	56	15,11	0,27	0,27	1,64
	IN-06	31	6	9,2	56	15,62	0,28	0,28	1,70
	IN-07	32	6	9,2	56	16,12	0,29	0,29	1,75
	IN-08	33	6	9,2	56	16,63	0,30	0,30	1,81
	IN-09	60	6	9,2	56	30,23	0,54	0,54	3,29
	IN-10	61	6	9,2	56	30,73	0,55	0,55	3,34
	IN-11	62	6	9,2	56	31,24	0,56	0,56	3,40
	IN-12	63	6	9,2	56	31,74	0,57	0,57	3,45
INV-07	IN-01	5	6	9,2	56	2,52	0,04	0,04	0,27
	IN-02	6	6	9,2	56	3,02	0,05	0,05	0,33
	IN-03	7	6	9,2	56	3,53	0,06	0,06	0,38
	IN-04	8	6	9,2	56	4,03	0,07	0,07	0,44
	IN-05	30	6	9,2	56	15,11	0,27	0,27	1,64
	IN-06	31	6	9,2	56	15,62	0,28	0,28	1,70
	IN-07	32	6	9,2	56	16,12	0,29	0,29	1,75
	IN-08	33	6	9,2	56	16,63	0,30	0,30	1,81
	IN-09	60	6	9,2	56	30,23	0,54	0,54	3,29
	IN-10	61	6	9,2	56	30,73	0,55	0,55	3,34
	IN-11	62	6	9,2	56	31,24	0,56	0,56	3,40
	IN-12	63	6	9,2	56	31,74	0,57	0,57	3,45
INV-08	IN-01	5	6	9,2	56	2,52	0,04	0,04	0,27
	IN-02	6	6	9,2	56	3,02	0,05	0,05	0,33

**5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI**  
**CEBRAİL GÜNEŞ**

	IN-03	7	6	9,2	56	3,53	0,06	0,06	0,38	
	IN-04	8	6	9,2	56	4,03	0,07	0,07	0,44	
	IN-05	30	6	9,2	56	15,11	0,27	0,27	1,64	
	IN-06	31	6	9,2	56	15,62	0,28	0,28	1,70	
	IN-07	32	6	9,2	56	16,12	0,29	0,29	1,75	
	IN-08	33	6	9,2	56	16,63	0,30	0,30	1,81	
	IN-09	60	6	9,2	56	30,23	0,54	0,54	3,29	
	IN-10	61	6	9,2	56	30,73	0,55	0,55	3,34	
	IN-11	62	6	9,2	56	31,24	0,56	0,56	3,40	
	IN-12	63	6	9,2	56	31,74	0,57	0,57	3,45	
	INV-09	IN-01	5	6	9,2	56	2,52	0,04	0,04	0,27
		IN-02	6	6	9,2	56	3,02	0,05	0,05	0,33
IN-03		7	6	9,2	56	3,53	0,06	0,06	0,38	
IN-04		8	6	9,2	56	4,03	0,07	0,07	0,44	
IN-05		30	6	9,2	56	15,11	0,27	0,27	1,64	
IN-06		31	6	9,2	56	15,62	0,28	0,28	1,70	
IN-07		32	6	9,2	56	16,12	0,29	0,29	1,75	
IN-08		33	6	9,2	56	16,63	0,30	0,30	1,81	
IN-09		60	6	9,2	56	30,23	0,54	0,54	3,29	
IN-10		61	6	9,2	56	30,73	0,55	0,55	3,34	
IN-11		62	6	9,2	56	31,24	0,56	0,56	3,40	
IN-12		63	6	9,2	56	31,74	0,57	0,57	3,45	
IV-10	IN-01	5	6	9,2	56	2,52	0,04	0,04	0,27	
	IN-02	6	6	9,2	56	3,02	0,05	0,05	0,33	
	IN-03	7	6	9,2	56	3,53	0,06	0,06	0,38	
	IN-04	8	6	9,2	56	4,03	0,07	0,07	0,44	
	IN-05	30	6	9,2	56	15,11	0,27	0,27	1,64	
	IN-06	31	6	9,2	56	15,62	0,28	0,28	1,70	
	IN-07	32	6	9,2	56	16,12	0,29	0,29	1,75	
	IN-08	33	6	9,2	56	16,63	0,30	0,30	1,81	
	IN-09	60	6	9,2	56	30,23	0,54	0,54	3,29	
	IN-10	61	6	9,2	56	30,73	0,55	0,55	3,34	
	IN-11	62	6	9,2	56	31,24	0,56	0,56	3,40	
	IN-12	63	6	9,2	56	31,74	0,57	0,57	3,45	
INV-11	IN-01	5	6	9,2	56	2,52	0,04	0,04	0,27	
	IN-02	6	6	9,2	56	3,02	0,05	0,05	0,33	
	IN-03	7	6	9,2	56	3,53	0,06	0,06	0,38	
	IN-04	8	6	9,2	56	4,03	0,07	0,07	0,44	
	IN-05	30	6	9,2	56	15,11	0,27	0,27	1,64	
	IN-06	31	6	9,2	56	15,62	0,28	0,28	1,70	

**5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI**  
**CEBRAİL GÜNEŞ**

	IN-07	32	6	9,2	56	16,12	0,29	0,29	1,75
	IN-08	33	6	9,2	56	16,63	0,30	0,30	1,81
	IN-09	60	6	9,2	56	30,23	0,54	0,54	3,29
	IN-10	61	6	9,2	56	30,73	0,55	0,55	3,34
	IN-11	62	6	9,2	56	31,24	0,56	0,56	3,40
	IN-12	63	6	9,2	56	31,74	0,57	0,57	3,45
INV-12	IN-01	5	6	9,2	56	2,52	0,04	0,04	0,27
	IN-02	6	6	9,2	56	3,02	0,05	0,05	0,33
	IN-03	7	6	9,2	56	3,53	0,06	0,06	0,38
	IN-04	8	6	9,2	56	4,03	0,07	0,07	0,44
	IN-05	30	6	9,2	56	15,11	0,27	0,27	1,64
	IN-06	31	6	9,2	56	15,62	0,28	0,28	1,70
	IN-07	32	6	9,2	56	16,12	0,29	0,29	1,75
	IN-08	33	6	9,2	56	16,63	0,30	0,30	1,81
	IN-09	60	6	9,2	56	30,23	0,54	0,54	3,29
	IN-10	61	6	9,2	56	30,73	0,55	0,55	3,34
	IN-11	62	6	9,2	56	31,24	0,56	0,56	3,40
	IN-12	63	6	9,2	56	31,74	0,57	0,57	3,45
INV-13	IN-01	5	6	9,2	56	2,52	0,04	0,04	0,27
	IN-02	6	6	9,2	56	3,02	0,05	0,05	0,33
	IN-03	7	6	9,2	56	3,53	0,06	0,06	0,38
	IN-04	8	6	9,2	56	4,03	0,07	0,07	0,44
	IN-05	30	6	9,2	56	15,11	0,27	0,27	1,64
	IN-06	31	6	9,2	56	15,62	0,28	0,28	1,70
	IN-07	32	6	9,2	56	16,12	0,29	0,29	1,75
	IN-08	33	6	9,2	56	16,63	0,30	0,30	1,81
	IN-09	60	6	9,2	56	30,23	0,54	0,54	3,29
	IN-10	61	6	9,2	56	30,73	0,55	0,55	3,34
	IN-11	62	6	9,2	56	31,24	0,56	0,56	3,40
	IN-12	63	6	9,2	56	31,74	0,57	0,57	3,45
INV-14	IN-01	5	6	9,2	56	2,52	0,04	0,04	0,27
	IN-02	6	6	9,2	56	3,02	0,05	0,05	0,33
	IN-03	7	6	9,2	56	3,53	0,06	0,06	0,38
	IN-04	8	6	9,2	56	4,03	0,07	0,07	0,44
	IN-05	30	6	9,2	56	15,11	0,27	0,27	1,64
	IN-06	31	6	9,2	56	15,62	0,28	0,28	1,70
	IN-07	32	6	9,2	56	16,12	0,29	0,29	1,75
	IN-08	33	6	9,2	56	16,63	0,30	0,30	1,81
	IN-09	60	6	9,2	56	30,23	0,54	0,54	3,29
	IN-10	61	6	9,2	56	30,73	0,55	0,55	3,34

**5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI**  
**CEBRAİL GÜNEŞ**

	IN-11	62	6	9,2	56	31,24	0,56	0,56	3,40
	IN-12	63	6	9,2	56	31,74	0,57	0,57	3,45
INV-15	IN-01	5	6	9,2	56	2,52	0,04	0,04	0,27
	IN-02	6	6	9,2	56	3,02	0,05	0,05	0,33
	IN-03	7	6	9,2	56	3,53	0,06	0,06	0,38
	IN-04	8	6	9,2	56	4,03	0,07	0,07	0,44
	IN-05	30	6	9,2	56	15,11	0,27	0,27	1,64
	IN-06	31	6	9,2	56	15,62	0,28	0,28	1,70
	IN-07	32	6	9,2	56	16,12	0,29	0,29	1,75
	IN-08	33	6	9,2	56	16,63	0,30	0,30	1,81
	IN-09	60	6	9,2	56	30,23	0,54	0,54	3,29
	IN-10	61	6	9,2	56	30,73	0,55	0,55	3,34
	IN-11	62	6	9,2	56	31,24	0,56	0,56	3,40
	IN-12	63	6	9,2	56	31,74	0,57	0,57	3,45
INV-16	IN-01	5	6	9,2	56	2,52	0,04	0,04	0,27
	IN-02	6	6	9,2	56	3,02	0,05	0,05	0,33
	IN-03	7	6	9,2	56	3,53	0,06	0,06	0,38
	IN-04	8	6	9,2	56	4,03	0,07	0,07	0,44
	IN-05	30	6	9,2	56	15,11	0,27	0,27	1,64
	IN-06	31	6	9,2	56	15,62	0,28	0,28	1,70
	IN-07	32	6	9,2	56	16,12	0,29	0,29	1,75
	IN-08	33	6	9,2	56	16,63	0,30	0,30	1,81
	IN-09	60	6	9,2	56	30,23	0,54	0,54	3,29
	IN-10	61	6	9,2	56	30,73	0,55	0,55	3,34
	IN-11	62	6	9,2	56	31,24	0,56	0,56	3,40
	IN-12	63	6	9,2	56	31,74	0,57	0,57	3,45
INV-17	IN-01	5	6	9,2	56	2,52	0,04	0,04	0,27
	IN-02	6	6	9,2	56	3,02	0,05	0,05	0,33
	IN-03	7	6	9,2	56	3,53	0,06	0,06	0,38
	IN-04	8	6	9,2	56	4,03	0,07	0,07	0,44
	IN-05	30	6	9,2	56	15,11	0,27	0,27	1,64
	IN-06	31	6	9,2	56	15,62	0,28	0,28	1,70
	IN-07	32	6	9,2	56	16,12	0,29	0,29	1,75
	IN-08	33	6	9,2	56	16,63	0,30	0,30	1,81
	IN-09	60	6	9,2	56	30,23	0,54	0,54	3,29
	IN-10	61	6	9,2	56	30,73	0,55	0,55	3,34

### **AC Güç Kaybı ve Gerilim Düşümü Hesabı**

#### **Ana Toplama Panosu Verileri**

AC Kurulu Gücü (  $N_k$ ): 1.000.000 W<sub>e</sub>

AC Nominal Gerilim (  $U_N$ ): 400 V

Kablo Uzunluğu (  $L_K$ ): 5m

Kablo Kesiti (  $S_K$ ): 5X240 mm<sup>2</sup>

Dizi Kısa Devre Akımı (  $I_{SC}$ ): 9,90A

Trafo Gücü (  $S_K$ ): 1250 KVA

#### **Formül Açıklamaları**

$P_{Kayıp}$ : Güç Kaybı(W)

**K**: Elektrik İletkenliği (Cu=56, Al=35 m/Ω.mm<sup>2</sup>)

**%e**: Gerilim Düşümü Oranı

$I_{TK}$ : Solar Kablo Akım Taşıma Kapasitesi

$I_N$ : İşletme akımı

cosØ : 1,00

$$I_N = N_k / (U_N \times \sqrt{3} \times \cos\phi)$$

$$I_{Ana\ Pano} = 1.000.000 / (400 \times \sqrt{3} \times 1) = \mathbf{1.443,38\ A}$$

#### **Trafo-Ana Pano Arası Güç Kaybı Hesabı**

$$P_{Kayıp} = (3 \times L_K \times I_N^2) / (S_K \times K)$$

$$P_{Kayıp} = (3 \times 8 \times 1,443^2) / (5 \times 240 \times 56)$$

$$P_{Kayıp} = \mathbf{744,05\ W}$$

#### **Trafo-Ana Pano Arası Gerilim Düşümü Hesabı**







$$\%e = (\sqrt{3} \times 100 \times L_K \times I_N) / (S_K \times U_N \times K)$$

$$\%e = (\sqrt{3} \times 100 \times 8 \times 1443,38) / (5 \times 240 \times 400 \times 56)$$



$$\%e = 0,074$$

## 5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI CEBRAİL GÜNEŞ

Tablo 5.5 Yukarıdaki Tablo HES Kablo katalogundan alınmıştır. Projede HES Kablo kullanılmıştır.

İletkenin Kesiti (mm <sup>2</sup> )	B2	C	D	B2	C	D
						
1	2	3	4	5	6	7
	Bakır			Aluminyum		
4	30	41	47	24	28	29
6	38	52	59	30	36	36
10	52	71	78	41	53	59
16	69	94	101	54	71	77
25	90	126	131	71	83	99
35	111	155	157	86	102	118
50	133	189	185	104	124	142
70	168	215	212	131	158	176
95	201	244	275	157	190	211
120	232	282	313	181	221	242
150	-	324	353	-	252	270
185	-	371	399	-	289	308
240	-	436	464	-	339	363
300	-	481	524	-	377	402

Tablo 5.6 Tablo Elektrik Mühendisleri Odası Elektrik Tesisleri Genel Teknik Şartnamesi ve Uygulama Esasları kitabından alınmıştır.

Devre Sayısı	Kablolar arası açıklık (a)					
	Kablolar birbirine dokunuyor	Bir kablo çapı	0.125 m	0.25 m	0.5 m	
2	0,75	0,80	0,85	0,90	0,90	
3	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	
4	0,60	0,60	0,70	0,75	0,80	
5	0,55	0,55	0,65	0,70	0,80	
6	0,50	0,55	0,60	0,70	0,80	
K1	Çok Damarlı Kablolar					
	Tek Damarlı Kablolar					



**5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI**  
**CEBRAİL GÜNEŞ**

Tablo 5.7 Elektrik Mühendisleri Odası Elektrik Tesisleri Genel Teknik Şartnamesi ve Uygulama Esasları kitabından alınmıştır.

K2	Ortam sıcaklığı °C	Tablo A-14'deki hava sıcaklıklarına göre iletkenlerin düzeltme faktörleri			
		Yalıtım			
		PVC	XLPE ve EPR	Mineral*	
				PVC kılıflı yahut çıplak ve dokunma etkisine açık 70°C	Çıplak dokunma etkisine açık değil 105°C
10	1,22	1,15	1,26	1,14	
15	1,17	1,12	1,20	1,11	
20	1,12	1,08	1,14	1,07	
25	1,06	1,04	1,07	1,04	
30	1,00	1,00	1,00	1,00	
35	0,94	0,96	0,93	0,96	
40	0,87	0,91	0,85	0,92	

Tablo 5.8 Elektrik Mühendisleri Odası Elektrik Tesisleri Genel Teknik Şartnamesi ve Uygulama Esasları kitabından alınmıştır.

K3	Toprak sıcaklığı °C	Tablo A-15'deki toprak sıcaklıklarına göre iletkenlerin düzeltme faktörleri	
		Yalıtım	
		PVC	XLPE ve EPR
		10,00	1,10
15,00	1,05	1,04	
20,00	1,00	1,00	
25,00	0,95	0,96	
30,00	0,69	0,93	
35,00	0,84	0,89	
40,00	0,77	0,85	

Tablo 5.9 Elektrik Mühendisleri Odası Elektrik Tesisleri Genel Teknik Şartnamesi ve Uygulama Esasları kitabından alınmıştır.

K4	Toprağın Termik Direncine Göre Düzeltme faktörleri	
	Toprak Tipi Düzeltme katsayısı	
	Toprağın Tipi	
	Çok Nemli	1,21
	Nemli	1,13
	Az Nemli	1,05
Kuru	1,00	
Çok Kuru	0,86	

Tablo 5.10 Elektrik Mühendisleri Odası Elektrik Tesisleri Genel Teknik Şartnamesi ve Uygulama Esasları kitabından alınmıştır.

**5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI**  
**CEBRAİL GÜNEŞ**

Kabloların topraktaki derinliğine göre düzeltme faktörleri	
Döşeme Derinliği Düzeltme katsayısı	
Döşeme Derinliği (m)	
0,5	1,10
0,7	1,05
0,6	1,01
1	1,00
1,2	0,98
1,5	0,96

$I_{TK} = \text{Kablonun Nominal Akım Taşıma Değeri} \times \text{Hattaki döşeme sayısı} \times K1 \times (K2 \text{ veya } K3) \times K4 \times K5$

**Trafo-Ana Pano Arası Akım Taşıma Kontrolü**

5 adet yan yana tava içinde her devre arasında 50 cm mesafe olacak şekilde montaj edilen bakır kablonun akım taşıma kapasitesi;

$$I_{TK} = 464 \text{ A} \times 5 \times 0,70 \times 1,12 \times 1 \times 1$$

$$I_{TK} = 1818,88 \text{ A}$$

$I_{\text{Ana Pano}} = 1.443,38 \text{ A}$  bulunmuştu. Kullanılan 5 adet 240 mm<sup>2</sup> bakır kablonun akım taşıma kapasitesi, çıkış akımından büyük olduğundan uygundur.

**Ana Pano İle Inv01 Arası Akım Taşıma Kontrolü**

95 mm<sup>2</sup> aralarında 25 cm kalacak şekilde döşenmiş 17 adet alüminyum kablo akım taşıma kapasitesi;

$$I_{TK} = 211 \text{ A} \times 1 \times 0,65 \times 1 \times 1,05 \times 1,05$$

$$I_{TK} = 151,21 \text{ A}$$

$I_{\text{INVERTER}} = 100 \text{ A}$  olduğuna göre

Kullanılan 95 mm<sup>2</sup> alüminyum kablonun akım taşıma kapasitesi, çıkış akımından büyük olduğundan uygundur. Tüm inverterlerin ve ana panonun hesabı tablo şeklinde aşağıya çıkartılmıştır.

Tablo 5.11 inverter sonrası AC kablo hesapları

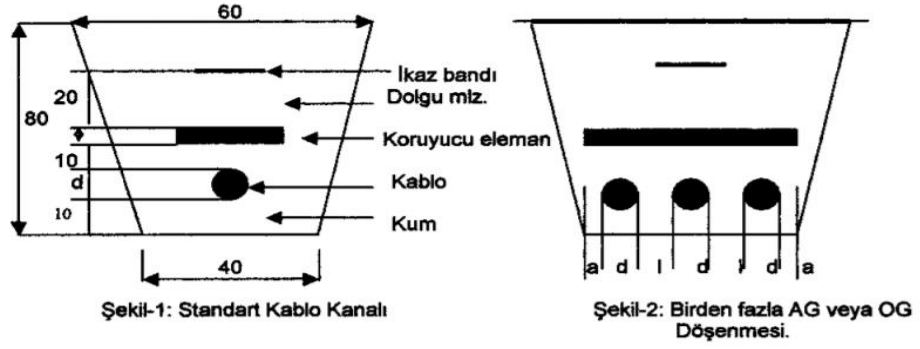
Ana Pano/Inverter No	AC Kurulu Güç(kWe)	In (İşletme akımı)	Kablo Kesiti(mm <sup>2</sup> )		Mesafe(m)	Güç Kaybı(We)	Yüzde Güç kaybı (%PK)	Gerilim Düşümü(%)	Gerilim Düşümü Kontrolü Toplam (‰e)	Isınma Kontrolü Akım-Kablo Akım Taşıma Kapasitesi				
Ana Pano	999	1445,09	240	5	6	559,36	0,06	0,06	0,06	< 2 UYGUN	1445,09	<	1818,88 A	UYGUN

## **5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI** **CEBRAİL GÜNEŞ**

INV-01	60	86,71	95	1	20	84,79	0,14	0,14	0,14	< 2 UYGUN	86,71	<	151,21 A	UYGUN
INV-02	60	86,71	95	1	29	122,94	0,20	0,20	0,20	< 2 UYGUN	86,71	<	151,21 A	UYGUN
INV-03	60	86,71	95	1	38	161,10	0,27	0,27	0,27	< 2 UYGUN	86,71	<	151,21 A	UYGUN
INV-04	60	86,71	95	1	47	199,25	0,33	0,33	0,33	< 2 UYGUN	86,71	<	151,21 A	UYGUN
INV-05	60	86,71	95	1	56	237,40	0,40	0,39	0,39	< 2 UYGUN	86,71	<	151,21 A	UYGUN
INV-06	60	86,71	95	1	65	275,56	0,46	0,46	0,46	< 2 UYGUN	86,71	<	151,21 A	UYGUN
INV-07	60	86,71	95	1	74	313,71	0,52	0,52	0,52	< 2 UYGUN	86,71	<	151,21 A	UYGUN
INV-08	60	86,71	95	1	83	351,87	0,59	0,59	0,59	< 2 UYGUN	86,71	<	151,21 A	UYGUN
INV-09	60	86,71	95	1	92	390,02	0,65	0,65	0,65	< 2 UYGUN	86,71	<	151,21 A	UYGUN
INV-10	60	86,71	95	1	101	428,18	0,71	0,71	0,71	< 2 UYGUN	86,71	<	151,21 A	UYGUN
INV-11	60	86,71	95	1	110	466,33	0,78	0,78	0,78	< 2 UYGUN	86,71	<	151,21 A	UYGUN
INV-12	60	86,71	95	1	119	504,48	0,84	0,84	0,84	< 2 UYGUN	86,71	<	151,21 A	UYGUN
INV-13	60	86,71	95	1	128	542,64	0,90	0,90	0,90	< 2 UYGUN	86,71	<	151,21 A	UYGUN
INV-14	60000	86,71	95	1	137	580,79	0,97	0,97	0,97	< 2 UYGUN	86,71	<	151,21 A	UYGUN
INV-15	60	86,71	95	1	146	618,95	1,03	1,03	1,03	< 2 UYGUN	86,71	<	151,21 A	UYGUN
INV-16	60	86,71	95	1	155	657,10	1,10	1,09	1,09	< 2 UYGUN	86,71	<	151,21 A	UYGUN
INV-17	39,9	57,80	95	1	164	308,99	0,77	0,77	0,77	< 2 UYGUN	57,80	<	151,21 A	UYGUN

### **5.6.3.DC Kablo Montajı**

DC güç kabloları, santralde solar kablo olarak nitelendirilip dış ortamda kullanılırlar. Bu kablolar için herhangi bir kazı çalışmasına gerek yoktur. Ancak yer altından döşenmesi gereken solar kablolar da mevcuttur. DC kablolar içerdiği iletkene göre bakır ve alüminyum olmak üzere 2'ye ayrılır. Uygulamada, siyah renkli DC kablolar invertere kadar döşenebilmektedir. Ancak son zamanlarda artı tarafın kırmızı, eksi tarafın siyah olduğu kablolar da döşenmektedir. Dış ortamda kalacak DC kabloların dış ortam şartlarına göre seçilmesi gerekmektedir. Özellikle kablonun çalışma sıcaklığı bandının geniş olması arzu edilen bir durumdur. Yer altında döşenmesi gerek DC kablolarda kanal açma yöntemiyle yapılır. Bu kanalın standardı ilgili sahanın elektrik dağıtım şebekesinin belirlediği standartlara göre yapılır. Ayrıca kablolar döşenirken herhangi bir kırılmaya maruz bırakılmaması ya da içinden geçecek enerjinin negatif etkilenmeyeceği şekilde döşenmesi gerekmektedir.



Resim 5.28 Dağıtım Şebekesi Kablo Montaj Usulü [117]

Kabloların döşenmesi toprakta açılan kanallarda da yapılabilmektedir. Bu durumda kabloların döşenmesi mekanik yüklere maruz kalınmayacak şekilde yapılmalıdır. Doğru akım güç kablosunun tüm uçları tesisten kolaylıkla ayrılabilir şekilde şalterlerle donatılır. Bunun için de doğru akım şalterleri ve ayırıcılar kullanılır. Topraklama ve kısa devre koruması yapmak için artı ve eksi doğru akım güç hatları birbirinden bağımsız izoleli solar güç kabloları ile yapılır. Yıldırım düşmelerine karşın güneş enerji santral tesislerinde yalıtımlı hatların kullanılması kaçınılmazdır. [118].

Santrallerde kullanılan AC kablolar, bakır ve alüminyum olmak üzere 2'ye ayrılır. İnverterlerden sonra çekilen AC kablolar, genelde tek bir kablo içinde 5 damar adetli kablolardan seçilirler. Bu beş kablonun renkleri: 3 faz için siyah kahverengi ve gri, toprak için sarı-yeşil ve nötr hat için mavidir.

Kablolar sahada döşendikten sonra kabloların uçlarına standarda uygun pabuçlar takılması gerekir. Aksi halde ortam neminden ya da herhangi bir dış nedenden dolayı kablo uçları negatif etkilenip elektriksel arızalara neden olabilir. Günümüzde üretilen farklı pabuç tipleri vardır. Bunlardan bir kısmının bağlantısı özel aletler kullanılarak yapılırken bir kısmının kullanılmasında her hangi bir özel alete gereksinim duyulmaz.

Sahadaki tüm enerji kablolarının döşenmesi işlemi esnasında bazı testlerde sistem güvenliği açısından bazı testlerde uygulanır. Bunlar izolasyon testidir. Diğer bir test hipot testi olup kablonun elektrik dayanımı ölçülür. Diğer bir test olan VLF testi uygulanır. VLF Testi Çok Düşük Frekans anlamına gelen "Very Low Frequency" kelimelerinin baş harflerinden oluşur. VLF testi geleneksel DC dayanım testine alternatif olarak son 20 yıl içinde geliştirilmiş, kablo izolasyonuna zarar vermeyen ve

işletme akımında (AC) kabloyu test edebilen bir test yöntemidir [119]. Ayrıca son olarak sisteme süreklilik testi uygulanıp sistemde herhangi bir kopukluğun olup olmadığı araştırılır.

#### **5.6.4.AC Kablo hesabı**

OG Kablo Hesabı

I: İşletme Akımı (A)

N:Trafo Gücü(kVA)

U: İşletme Gerilimi (V)

%e: Gerilim Düşümü

L: Mesafe (km)

K: Sabit ( m/Ω.mm<sup>2</sup>)

C: Sabit(V)

Pk: Güç Kaybı (kW)

P: Aktif Trafo Gücü (Pk x 0,8)

#### **Akım Taşıma Kontrolü;**

$$I= N/(\sqrt{3} \times U)=1250/(\sqrt{3} \times 31,5) =\mathbf{22,91 \text{ A}}$$

3 adet 1x50mm<sup>2</sup> N2XSY kablonun toprak kanal içerisinde düz tertip dizildiğinde akım taşıma kapasitesi katalog bilgisinden 3x241A olarak görülmektedir. (HES Kablo kataloğundan alınmıştır.)

22,91 < 241A olduğundan seçilen kablo uygundur.

#### **Gerilim Düşümü Hesabı**

$$\%e= 10^{-4} \times K \times L =10^{-4} \times 0,641 \times 1250 \times 0,028=\mathbf{0,00224}$$
 şeklinde hesaplanır.

Güç Kaybı Hesabı

$$Pk=10^{-6} \times C \times P^2 \times L$$

$$Pk=10^{-6} \times 0,162 \times 504^2 \times 0,028 = \mathbf{0,001152 \text{ W}}$$

$$I= N/(\sqrt{3} \times U)=\mathbf{1250/(\sqrt{3} \times 31,5) =22,91 \text{ A}}$$

3 adet 1x120mm<sup>2</sup> NA2XSY kablonun toprak kablo kanalı içerisinde düz tertip dizildiğinde akım taşıma kapasitesi katalog bilgisinden 3x322A olarak görülmektedir. (HES Kablo kataloğundan alınmıştır.)

22,91 <966A olduğundan seçilen kablo kesiti uygundur.

Gerilim Düşümü Hesabı

$\%e = 10^{-4} \times K \times L = 10^{-4} \times 0,253 \times 1250 \times 1,096 = 0,03466$  şeklinde hesaplanır.

Güç Kaybı Hesabı

$P_k = 10^{-6} \times C \times P^2 \times L$

$P_k = 10^{-6} \times 0,162 \times 504^2 \times 1,096 = 0,045101 \text{ kW}$

## **5.7.Trafo ve Bara Seçimi ve Hesabı**

### **5.7.1.Trafo Seçimi ve Hesabı**

Trafo ve çeşitleri bölüm 3.5.'de detaylıca anlatılmıştır. Bölüm 3.5.'deki bilgiler ışığında, bu tez için hermetik tip yağlı trafonun seçilmesi uygundur.

### **Trafo Hesabı**

Kurulu Güç (Pk) =999 kW

Kayıp Faktörü = %10

Talep Faktörü (k) = 1

Cosφ = 0,98

Trafo Gücü = (Pk x k x 1) / Cosφ = 1123 kVA minimum

Adet 1250 kVA gücünde bir trafo seçilmiştir.

### **5.7.2.Bara Seçimi ve Hesabı**

I<sub>Ana pano</sub> akımı daha önce 1445,09 A bulunmuştu. Buna göre aşağıdaki tablo incelendiğinde; 120 mm x 10 mm çıplak bakır bara 2000 A akım taşıma kapasitesi sahiptir. 2000>1445,09 olduğundan çıplak bakır bara kullanıma uygundur.

**5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI**  
**CEBRAİL GÜNEŞ**

Tablo 5.12 Elektrik Mühendisleri Odası Elektrik Tesisleri Genel Teknik Şartnamesi ve Uygulama Esasları kitabından alınmıştır.

ÇEVRE SICAKLIĞI:25 °C ISINMA: 30 °C										
			DEVAMLIL YÜKLEME AKIMI (A) – 50 Hz. A.C.							
Boyutlar	Kesit	Ağırlık	BOYALI BARA ADEDİ				ÇIPLAK BARA ADEDİ			
			I	II	III	IIII	I	II	III	IIII
mm	mm <sup>2</sup>	kg/m								
12X2	24	0,21	125	250	-	-	110	220	-	-
15X2	30	0,27	155	270	-	-	140	240	-	-
15X3	45	0,40	185	330	-	-	170	300	-	-
20X2	40	0,36	205	350	-	-	185	315	-	-
20X3	60	0,54	245	425	-	-	220	380	-	-
20X5	100	0,89	325	550	-	-	290	495	-	-
25X3	75	0,67	300	510	-	-	270	460	-	-
25X5	125	1,12	385	670	-	-	350	600	-	-
30X3	90	0,80	350	-	-	-	315	540	-	-
30X5	150	1,34	450	-31	-	-	400	700	-	-
40X3	120	1,07	460	780	-	-	420	710	-	-
40X5	200	1,78	600	1000	-	-	520	900	-	-
40X10	400	3,56	835	1500	2060	2800	750	1350	1850	2500
50X5	250	2,23	720	1200	1750	2300	630	1100	1500	2100
50X10	500	4,45	1025	1800	2450	3330	920	1620	2200	3000
60X5	300	2,67	825	1400	1980	2650	750	1300	1740	2400
60X10	600	5,34	1200	2100	2800	3800	1100	1860	2500	3400
80X5	400	3,56	1060	1800	2450	3300	950	1650	2200	2900
80X10	800	7,12	1540	2600	3300	4600	1400	2300	3100	4200
100X5	500	4,45	1310	2200	2950	3800	1100	2000	2600	3400
100X10	1000	8,90	1880	3100	4000	5400	1700	2700	3600	4800
120X10	1200	10,68	2200	3500	4600	6100	2000	3200	4200	5500
160X10	1600	14,24	2880	4400	5800	7800	2600	3900	5200	7000

### **5.8.Topraklama Hesabı**

Topraklama hesabı santral içerisindeki tüm ekipmanların güvenliğinin sağlanması ve üretim sürecinin aksamadan devam etmesi için en önemli hesaplardan biridir. Çünkü düzgün bir topraklamanın yapılmayışı dışsal ya da içsel faktörlerin neden olabileceği hasarlar karşısında sistemin korunamaması anlamına gelmektedir. Bu yüzden, bir güneş enerji santrali için topraklamanın hesabı ve standartlara uygun imalatı oldukça hayati önem taşımaktadır. Topraklama yapılırken topraklama iletkenleri ve topraklama çubuklarından yararlanır. Piyasada kullanılan topraklama iletkeni bakır veya galvaniz şerit olabilirken, topraklama çubuğu ise bakır veya sıcak daldırmalı galvaniz çubuklardandır.

Topraklama yapılırken santraldeki tüm ekipmanların topraklanması gerekir. Ayrıca trafo bazı önemli bölgelerin ise yine topraklamasının ayrıca ele alınıp yapılması gerekir. Dolayısıyla hem santralin geneli hem de trafo merkezi topraklanacaktır.

Santralin en sağlıklı bir şekilde çevresel topraklanması için yıldırım koruma merkezinin internet sayfasın yayınladığı bilgilere göre arazi 20 x20 metre gözlemlere ayrılması gerekir. Bu sayede kullanılacak topraklama elektrotunun sayısı ortaya çıkacaktır.

Çevresel topraklama için kullanılacak elektrot sayısı (N) olmak üzere

$N = (\text{Santralin eni}/20) \times (\text{Santralin boyu} /20) = (100/20) \times (160/20) = 40$  Adet çubuk gerekir.

Topraklama Çubuğu Direnci : ( Rç)

(d = 0,02 m, h = 1,5 m. Topraklama Elektrotu Kullanılmıştır.)

$\rho$  =Toprak direnci (Adıyaman için 100 Ohm/m kabul edilmiştir.)

L = Çubuk Uzunluğu (m)

d = Topraklama çubuğu çapı (m)

Kullanılan Topraklama Elektrotu Sayısı= 40

$\rho$ = 100

L=1,5

d= 0,02 m

$Rç = (\rho / (2 \times \pi \times L)) \times \ln((4 \times L / d))$



## 5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI CEBRAİL GÜNEŞ

$R_{\text{ç}} = 60,5497$  Ohm (Bir çubuk için)

40 Çubuk için 1,51 Ohm

Temel Topraklaması İletken Direnci : (  $R_t$  )

$$R_t = (\rho / (2 \times \pi \times L)) \times \ln(2xL/d) \times [1 + \ln((L/2 \times h) / \ln(2xL/d))]$$

$\rho$  = Toprak Direnci (100 Ohm/m.) olarak kabul edilmiştir.  $\rho = 100$

$L$  = İletken Uzunluğu (m) (Santralin çevre uzunluğu)  $L = 2 \times 260 = 520$  m

$d$  = İletken Çapı Veya İletken Kalınlığının Yarısı (m)  $d = 0,001$  m

$h$  = Topraklayıcının Gömülme Derinliği (m)  $h = 1,5$  m

$R_t = 0,58$  Ohm'dur.

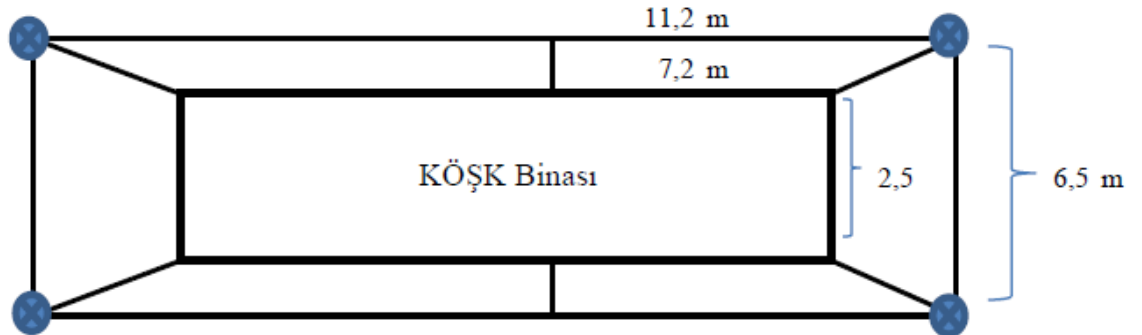
Eş Değer Direnç

$$1/R_{\text{eş}} = 1/R_{\text{ç}} + 1/R_t$$

$R_{\text{eş}} = 0,42$  Ohm (  $< 2$  Ohm olduğu için uygundur)

Yukarıdaki hesaplamalar yapılan topraklamanın uygun olduğunu göstermektedir.

Trafo merkezi için ayrı bir topraklama hesabının da yapılması gerekir. Trafoda dikkat edilmesi gereken husus, topraklama, trafo temeli dökülürken 4 adet topraklama çubuğuyla yapılır hem de trafo binası zemine oturtulduktan sonra 4 adet daha topraklama çubuğu yardımıyla yapılır. Toplamada 8 adet topraklama çubuğu kullanılmış olur.



Resim 5.29 Trafo (Köşk ) Binası

Topraklama Çubuğu Direnci : ( R<sub>ç</sub>)

(d = 0,02 m, h = 1,5 m. topraklama elektrotu kullanılmıştır.)

ρ = Toprak direnci ( Adıyaman için 100 Ohm/m kabul edilmiştir.)

L = Çubuk Uzunluğu (m)

d = Topraklama çubuğu çapı (m)

Kullanılan Topraklama Elektrotu Sayısı= 8

ρ = 100

L = 2

d = 0,02 m

$R_{ç} = (\rho / (2 \times \pi \times L)) \times \ln((4 \times L / d))$

R<sub>ç</sub> = 60,5497 Ohm (Bir Çubuk için)

8 Çubuk için 5,96 Ohm

Temel Topraklaması İletken Direnci : ( R<sub>t</sub> )

$R_t = (\rho / (2 \times \pi \times L)) \times \ln(2 \times L / d) \times [1 + \ln((L / 2 \times h) / \ln(2 \times L / d))]$

ρ = Toprak Direnci (100 Ohm/m.) olarak kabul edilmiştir. ρ = 100

L = İletken Uzunluğu (m)

L = 80 m olarak

alınmıştır.

d = İletken çapı veya iletken kalınlığının yarısı (m)

d = 0,00175 m

h = Topraklayıcının Gömülme Derinliği (m)

h = 2 m

R<sub>t</sub> = 3,04 Ohm'dur.

Eş Değer Direnç

$1/R_{eş} = 1/R_{ç} + 1/R_t$

R<sub>eş</sub> = 1,96 Ohm ( < 2 Ohm olduğu için uygundur)

### 5.8.1. Yıldırım Riski Hesaplaması

Güneş enerjisi santrallerin yıldırımdan korunması santralin güvenliği açısından oldukça önemlidir

Yıldırım Risk Hesabı

**5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI**  
**CEBRAİL GÜNEŞ**

Çevresel Katsayı C1				
C1	0,25	Yapı Aynı & Daha Yüksek Ağaç Ve Yapılar Arasında İse		
	0,5	Yüksekliği Az Olan Yapılarla Çevrili İse		
	1	En Yakın Yapıya Uzaklık 3h Mesafede İse		
	2	Bölgede En Yüksekte İse		
Yapısal Katsayı C2				
C2	Yapı/Çatı	Metal	Kiremit	Yanıcı
	Metal	0,5	1	2
	Tuğla/Beton	1	1,5	2,5
	Tutuşabilir	2	2,5	3
Yapısal Katsayı C3				
C3	0,5	Değersiz Yanıcı Olmayan		
	1	Normal, Yanıcı		
	2	Değerli, Yanıcı		
	3	Parlayıcı, Yanıcı		
Yapı Doluluğu C4				
C4	0,5	Personelsiz Bina		
	1	Normal Kalabalık		
	3	Panik Rizikolu, Tahliye Zorluğu		
Yapının Çevredeki Değeri C5				
C5	1	Sürekli Kullanımı Yok, Çevrede Değersiz		
	5	Sürekli Kullanımda, Çevrede Değersiz		
	10	Çevrede Değerli		
Etkinlik Ve Koruma				
Etkinlik	Koruma Seviyesi	Kafes Aralığı	İniş Aralığı	
E>0,98	Seviye1+Ek Önlem	5x5	10	
0,95<E<0,98	Seviye1	5x5	10	
0,90<E<0,95	Seviye2	10x10	15	
0,80<E<0,90	Seviye3	15x15	20	
E<0	Seviye4	20x20	25	
Hesaplar				
Yapının	Boy - L	160,00		
	Eni - W	100,00		

**5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI**  
**CEBRAİL GÜNEŞ**

	Yüksekliği - H	10,00		
			Açıklamalar	
Faktör	Yapının Konumu C1:	1	En Yakın Yapıya Uzaklık 3h Mesafede	
	Yapı-Çatı Konumu C2:	2		
	Yapının Değeri C3:	2	Değerli, Yanıcı	
	Yapı DoluluğunC4:	0,5	Personelsiz Bina	
	Yıldırım Sonucu C5:	10	Çevrede Değerli	
			Formüller	Tanımlar
Formüller	Ae=	34426,000000	$Ae=Lxw+6xhx(L+W)$	Etkili Eşdeğer Alan
	Ng=	1,691794	$Ng=0,04xnk^{1,25}$	Yıldırım Yoğunluğu
	Nd=	0,058242	$Nd=Ngxaexc1x10^{-6}$	Tesis İçin Beklenen Yıldırım Sayısı
	Nk=	20,000000	Nk=20	Adıyaman için yıldırımlı gün sayısı
	C=	20,000000	$C=C2xc3xc4xc5$	
	Nc=	0,000275	$Nc=5,5x10^{-3}/C$	Onaylı yıldırım darbe sayısı
	E=	0,995278	$E=1-(Nc/Nd)$	Etkinlik
Sonuç				
Etkinlik	Değer	Koruma Seviyesi	Kafes Aralığı	İniş Aralığı
E=	0,995278	Seviye1+Ek Önlem		

Tablo 5.13 Yıldırım Risk Hesabı

$Rç = \sqrt{[ h \times (2xD-h) + \Delta L \times (2xD+\Delta L) ]}$  formülünde

Rç: Paratonerin koruma yarıçapı

h: Çatı direği serbest yüksekliği

D = NFC 17-102 Standartına göre tetikleme mesafesi

Seviye 1 Koruma alanı = 20 m

Seviye 2 Koruma alanı = 45 m

## **5.1 MW FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN TASARIMI** **CEBRAİL GÜNEŞ**

---

Seviye 3 Koruma alanı = 60 m

$\Delta L$ : Uyarım yolu (m) =  $V(m/\mu s) \cdot \Delta T(/\mu s)$

V: yıldırım şartlarında yakalama ucu etrafında oluşan iyonların yıldırıma ilerleme hızıdır ve standartlarda  $V=1m/\mu s$ 'dir.

$\Delta T$ : Paratoner sistemlerinin yıldırımını hissetme süresidir.

$\Delta L$ :  $\Delta T$  sürede yıldırımını yakalama mesafesi yani iyonların yıldırıma doğru kat ettiği mesafedir.

Formülde  $h=5$  ve  $\Delta L=60$  alınırsa Koruma yarıçapı  $R\phi$  79 olarak bulunur.

## **6. FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN BAKIM ONARIM ve İŞLETİLMESİ FAALİYETLERİ**

### **6.1. Bakım-Onarımın**

Genel anlamda bakım-onarım iki şekilde sınıflandırılır. Bunlar planlı bakım onarım ve planlanmamış bakım onarımıdır.

**Planlı/Önleyici Bakım Onarım:** Önceden planlanmış ve arıza önlemeyi hedeflemenin yanı sıra tesisin optimum seviyede çalışmasını sağlamak.

**Planlanmamış bakım onarım:** Arızalara yanıt olarak gerçekleştirilir.

Uygun şekilde kapsamlı ve düzenli olarak planlanmış bakım, planlanmamış bakım gereksinimini en aza indirmelidir, ancak kaçınılmaz olarak, bazı öngörülemeyen arızalar yine de meydana gelecektir. Bu nedenle, hem planlanmış hem de planlanmamış bakım için sağlam ve iyi planlanmış bir yaklaşım önemlidir.

#### **6.1.1. Planlı/ Önleyici Bakım Onarım**

Önleyici bakımın uygun zamanlaması ve sıklığı bir dizi faktör tarafından belirlenir. Bunlar, seçilen teknolojiyi, sistenin çevre koşullarını, garanti koşullarını ve mevsimsel farklılıkları içerir. Planlı bakım genellikle üreticinin tavsiyelerine göre planlanan aralıklarla ve ekipman garantilerinin gerektirdiği şekilde gerçekleştirilir. Tesisin kapatılmasını gerektiren planlı bakım, sabah erken veya akşam gibi yoğun olmayan üretim dönemlerinde mümkün olduğunca yapılmalıdır. Planlı bakım-onarımında: panel temizliği, modül bağlantı bütünlüğü kontrolü, dizi toplayıcı kutularının kontrolü, sıcak noktaların kontrolü, inverter bakımı, yapısal bütünlük kontrolü, sistemin genel uyum kontrolü, bitki örtüsü ve zeminin kontrolü şeklinde sıralanabilir.

Halid Osmani ve arkadaşları bir pv santralinde planlı/önleyici bakım kapsamı içinde yer alan düzenleyici bakım olarak nitelendirdikleri ve aşağıda tablo 6.1.'de sıralanmış olan olayları ve bu olaylar karşısında alınması gereken tutumun nasıl olması gerektiği ile ilgili durumları bir tablo haline getirerek bu yol haritası üzerinden bir bakım planlanması gerektiğini belirtmiştir [120].

**6.FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN BAKIMI, ONARIMI ve İŞLETİLMESİ** **CEBRAİL GÜNEŞ**

	Düzeltilici teknikler					
	Yapay zekâ	Su temizleme	Kuru temizleme	Kar temizleme	Ekipman teknik bakımı	Gölgeleme azaltma
Etkinlikler						
Kar birikimi				✓		
Toz/partikül birikimi		✓	✓			
Gölgelendirme	✓					✓
Ekipman arızası					✓	
Düzeltilici görevler						
Değiştir					✓	
Düzeltil					✓	
Kaldırmak		✓	✓		✓	
Onarım					✓	✓
Kod						✓

Tablo 6.1 Her düzeltilici teknik için olay-görev ilişkisi [120]

Düzeltilici görevler yerine getirilirken bakım –onarım ile ilgili standartlara göre yapılıp mevcut sisteme zarar verilmemesine dikkat edilmelidir.

**6.1.1.1. Panel Temizliği**

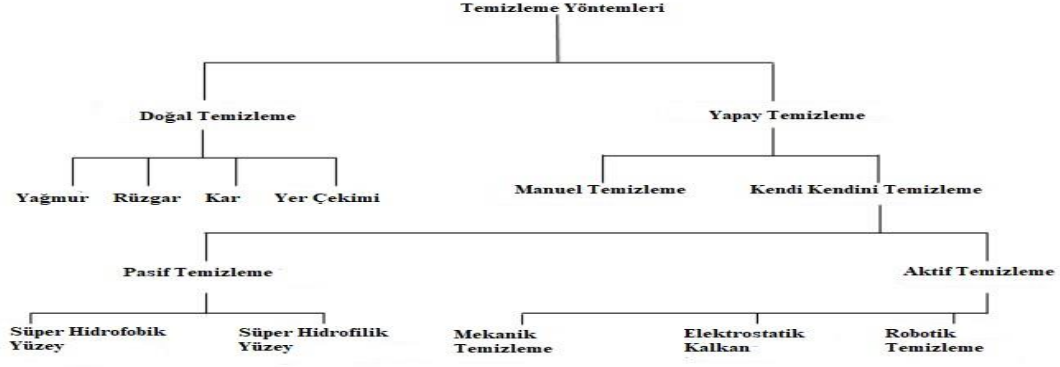
Pv panellerinin temizliği (toz / pisliklerin giderilmesi için), genel sistem çıkış gücünü yükseltmek için çok önemlidir. Toz ve biriken diğer parçacıklar, güneş ışınımının hedef hücrelere ulaşmasını engelleyen bir ara yüz görevi gördüğünden,

paneller kirlendiğinde voltaj düşüşü ve diğer rahatsızlıklar görülür. Modül temizliği basit ama önemli bir görevdir. Enerji verimi açısından önemli ve anında faydalar sağlayabilir. Modül temizleme sıklığı, yerel saha koşullarına ve yılın zamanına bağlı olacaktır. Modül kirlenme seviyesi bölgeye özgü olduğundan, temizlik işlemleri arasındaki süre alanlar arasında önemli ölçüde değişiklik gösterecektir. Modüllerin temizlenmesi sıklığı, saha ve çevresindeki alan zemin kaplaması (tozlu ve kurak alanlar daha fazla kirlenmeye neden olur) ve yerel yağış modelleri (daha kuru alanlar daha fazla kirlenmeye neden olur) gibi faktörler tarafından belirlenir. Bu tür toz veya yaprak birikiminden kaynaklanan harici arızalar için Tablo 6.2.'deki gibi genel güç çıkışını büyük ölçüde azalmış gösterir. On altı farklı aylık okuma arasında, en sıcak üç yaz ayı boyunca temiz ve kirli panellerin çıkış gücü arasında yalnızca negatif bir yüzde farkı görünmektedir. Bunun nedeni, pv panel setlerinin yerleştirilmesinden olarak söz edilebilir: Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında gelen güneş radyasyonu açısından diğer aylara göre önemli değişiklik nedeniyle, çalışmadaki kirli panellerin konumunun temiz olanlardan daha fazla güneş ışını aldığı varsayılmaktadır. Kalan aylarda ise temiz panellerin çıkış gücünün kirli olanlardan daha fazla olduğu görüldü. Toplanan tüm yüzde farklarını ekleyerek ve bunları örnek sayısına bölerek (on altı ay) % 8,7'lik bir fark elde ederiz. Başka bir deyişle, temiz paneller için, kirli paneller için elektrik üretiminden % 8,7 oranında daha büyük bir enerji üretimi söz konusudur. [120].

Ay yıl	Temiz paneller	Kirli paneller	Yüzde farkı
Kas.13	11.365	10.717	5,7
Ara.13	10.809	10.194	5,69
Oca.14	11.344	10.685	5.81
Şub.14	12.382	11.865	4.18
Mar.14	11.735	11.343	3.34
Nis.14	12.196	11.569	5.14
May.14	11.862	11.412	3.79
Haz.14	11.048	11.035	0.12
Tem.14	0.9201	0.9355	-1.67
Ağu.14	0.7544	0,7619	0,99
Eyl.14	0.6810	0.7106	-4,35
Eki.14	12.093	0.6631	45.17
Kas.14	0.9560	0.6026	36.97
Ara.14	10.479	0.9785	6.62
Oca.15	10.487	0.9821	6.35
Şub.15	12.037	11.512	4.36
Genel	10.612	0.9687	8.72



Tablo 6.2 Temiz ve kirli panellerden güneş enerjisi ile üretilen güçler arasındaki fark [121]



Resim 6.1 Farklı temizleme stratejileri [122]

Panelleri temizlemek için yalnızca yumuşak bir bez ve suyla çalışan bir işçiye ihtiyaç duyduğu için en ilkel form olarak kabul edilir. Elle Temizleme, küçük ölçekli pv enerji santralleri için bu, en verimli temizleme tekniklerinden biridir [123]. Sert kirler için temizliği iyileştirmenin bir yolu olarak deterjan formülleri ekleyebilen jetler ve fırçalar kullanılır [124]. Kendi kendini temizleyen yöntemler seti ise, insan işçisinin, otomotiv sistemleri ve bazen de su tüketiminden tasarrufta daha yüksek verimlilik elde etmek için robotlar ile değiştirilebileceği teknikleri belirtir. Aktif Temizleme seti, mekanik yöntemlerden başlayarak, işlevi yürütmek için sürekli güç gerektiren tüm temizleme tekniklerine karşılık gelir. Paspaslama, fırçalama ve üfleme ile donatılmıştır. Bir merkezi işlemci, bir dişli kutusu ve bir kademeli motordan oluşan bir sistem, güneş ışınımını pv modül yüzeyine normal tutacak şekilde döner. 180° dönerken fırça, yerçekimi kuvveti nedeniyle döner ve pv yüzeyini temizler. Fırçanın tuttuğu diğer temizleme işlemi farklı zamanlarda 360 derecede gerçekleştirilir [125] Elektrostatik kalkanlar temizleme tekniklerine geçerse, yüklü hava tozu elemanlarını enine bir şekilde taşıyan elektrik alanından kaynaklanan hareket eden dalga teorisine dayanmaktadır [122]. Elektrostatik toz giderme sistemi, iki paralel elektrot oluşur, her karşılıklı olarak yüklü toz elemanlarında negatif elektrot indükler negatif yük pv yüzeyinde mevcut belirli bir ortama yerleştirilebilir çok özel kimyasal bileşenlerden yapılmıştır. Toz birikintileri, çekimden sonra pozitif elektrotta mevcuttur. Sonuç, temassız bir temizleme tekniğidir ve toz gidermenin % 80'i için her bir pv modülünün performansının % 90

arttığını, Mazumder ve diğerleri, 2007 ve yine Mazumder ve diğerleri, 2013 yaptığı çalışmalarda belirtilmiştir [126], [127].

Aktif temizlemenin son alt bölümünde ise elektrik motoru ve fırçadan oluşan robotik temizleme, elektrik üretimini hafifletirken temizlik sonrası su kullanımını azaltmada etkinlik göstermiştir [128].

Öte yandan, pasif temizleme yöntemleri ailesi, pv modülünün yüzey özelliğinin süper hidrofobik özellik ile değiştirilmesi arasındaki ilişkiye dayanmaktadır. Bu özellik, su tutma ve yüksek su damlacığı hareketliliği özelliklerine sahip yüzeyler içindir. Bu tür temizlik yüzeylerinin üretimi nano yapılar gerektirir. Süper Hidrofilik Yüzeyler için su, hidrofobik yapılara göre ters çalışma topolojisinde toz parçacıkları boyunca taşıyarak yüzeyine çekilir. Fark, fabrikasyonda kullanılan kimyasal elementler ve reaksiyon içindedir. Her biri, yağmurun şiddetli veya nadiren sel yaptığı belirli coğrafi alanlara karşılık gelir [129].

Su temizleme işlemi ucuz ve basittir. İşçilik konusunda uzmanlık gerektirmez ve bunu gerçekleştirmek için özel ekipman gerekmez. Temiz ve kirli pv panelleri arasındaki güç çıkışının % 8,7'lik bir fark periyodik temizleme rutinleri uygulanmasının uygun olduğunu gösterebilir. Temizlik için su ve işçilik maliyetleri, yüksek elektrik çıktıları ile telafi edilir. Dikkat edilmesi gereken nokta, temizliğin sadece su ile yapılması gerektiğidir. Sabun veya diğer temizlik deterjanlarının eklenmesi, pv panellerin üst yüzeyinde gelecekte birikmeye yol açarak ekstra fütüristtik arızalara neden olabilir. Bazı kimyasal deterjanlar cam montajında iz bırakarak ışık sapsmasına ve diğer arızalara neden olabilir.

Su kullanımı olmadan, pv paneller, toz parçacıklarını temizlemek için bir Silikon fırça kullanan kuru robotik temizleme sistemi kullanılarak silinebilir. Resim 6.2.'de bir kuru temizleme robotu için tüm mekanik parçaları, pv panel taşıyıcı sistem üzerine kurulmuş ve dönen motorları tahrik devresini gösteren simüle edilmiş bir prototipi gösterir.



Resim 6.2 Kuru temizleme robotu [62]

Kullanılan silikon kauçuk köpük fırça, fırça üzerinde toz / kalıntı birikmesine, su emilimine ve yüksek temizleme verimliliğine karşı yüksek direnç göstermiştir. Aynı perspektiften, bir mikro denetleyici kullanılarak otomatik, susuz bir güneş enerjisi temizleme servis ünitesi yapılmıştır. Algoritması, robotun canlı konumunu algılayacağı ve önceden tanımlanmış veri kümelerini kullanarak panel temizleme derecesini otomatik olarak yöneteceği bir şekilde çift DC (Doğru Akım) motor sürücüsüne komut verir. Kontrol işlemi, sürüş aparatının yanal yönde (panellere paralel) çalıştığına karar veren bir Bluetooth modülü kullanılarak gerçekleştirilir [62]. Resim 6.3’de susuz temizleme robotunun gerçek prototipini göstermektedir.



Resim 6.3 Susuz servis ünitesi [62]

Kuru temizleme, su ile temizleme yerine ileri bir teknoloji olarak kabul edilmektedir. Ancak dezavantajları, ekstra makinelere (robotlar, elektronikler) ihtiyaç duyulması ve makinelerin performansının sürekli gözetim, bakım ve izlenmesidir. Bu, ekonomik dezavantaj olarak kabul edilen pv sistemi bakım performansı için ekstra maliyetler ekler. Bir pv enerji santralinin güç çıkışını yalnızca toz ve kuş pisliği etkilemez. Soğuk bölgelerde, pv paneller üzerindeki kar birikimi, genel güç çıkışını büyük ölçüde azaltır [130]. Toz ve kar yapısı arasındaki büyük fark nedeniyle, tozun / birikintilerin olumsuz etkisini azaltmak için kullanılan teknikler, karı pv yüzeylerinin üstünden kaldırmak için işe yaramaz [131] .

Resim 6.4'te özetlenen sekiz teknik arasında, eğim açısının artırılması, biriken karın daha hızlı kaymasına ve dolayısıyla güç üretimi kayıplarının azalmasına neden olur [132]. Bu, gece (güneş ışınımı ve pv çıkışlarına güç bağlantısı kapalıyken) yapılıır; burada, panel enerji ürettiği pozisyona ertesi günü hızlıca geri döner. Pv panelin arkası her zaman kardan temizlendiğinden, panellerin arka yüzeylerini dağınık ışığı emmeye zorlayabiliriz, bu da panellerin arkasından yansarak pv sıcaklığının artmasına ve dolayısıyla erime sürecini hızlandırmaya neden olur. Bu da pv panellerinin önündeki karın erimesine neden olur. [133].



Resim 6.4 Kar temizleme teknikleri

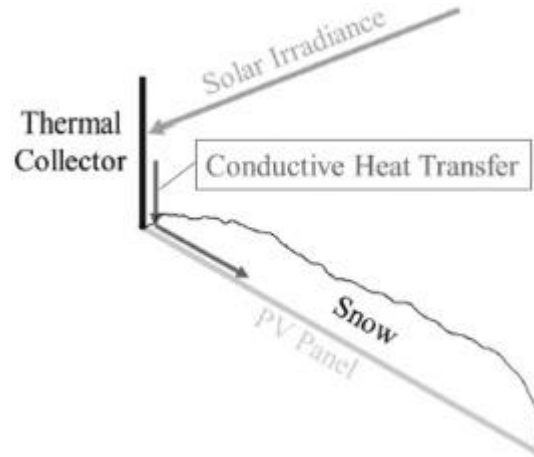
Kullanılan yüzey kaplamaları, kar örtüsünü parçalamak için güneş ışınlarının miktarlarını emerek yapışma azaltma ve sürtünme biçimleridir. Alternatif olarak,

Isıtma süreçleri karı pv panellerinden çıkarmak için basit yöntemdir. Karın Kaldırılması görevini gerçekleştirmenin iki genel biçimi şu şekildedir:

Gerilim Uygulaması Isıtma: Pv panellerin direnç özelliklerinden yararlanılarak, kar düştükten sonra bir gerilim kaynağı uygulanarak ısı üretmeleri sağlanır [134].

Harici Isıtma Kaynağı: Panelin ön veya arka yüzeylerine harici dirençli ısıtıcılar eklenerek yapılır [135]. Bu strateji, çevredeki soğuk ortamdan kaynaklanan ısı kayıplarını azaltarak daha hızlı ve odaklanmış bir kar temizleme sağlar.

Termal Toplayıcı işlemi, güneş ışınımının soğurucunun (toplayıcının) ısınmasına ve dolayısıyla ısıyı iletken yollardan kara aktarmasına neden olduğu kar yağışı ile aynı şekilde (kar toplamayan) dikey bir metal panelden ısı transferi teorisini uygular.



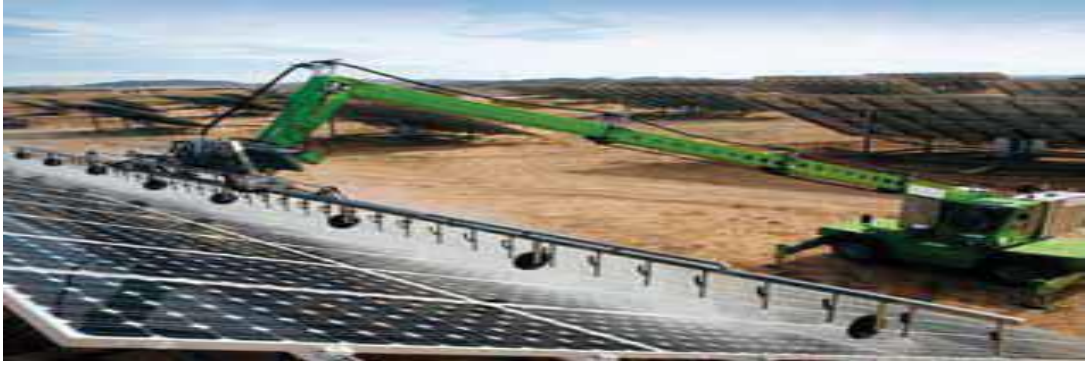
Resim 6.5 Termal toplayıcı [136]

Hareketli parçası olmayan basit bir cihaz olan Venturi Deflektör, havayı pv panelinin önünden aşağı doğru itmek için tek yönlü rüzgâr kullanır ve böylece kar birikmesini önler [136].

Kimyasal arıtmanın (tuzlu su ve tuzun püskürtülmesi) buz çözmede etkili olduğu ancak bir şekilde pv modülünü bozabileceği bulunmuştur [137]. Böyle bir düzeltici teknik, soğuk, karlı alanlarda bir zorunluluktur. Pv yüzeylerinin üzerine kar yığılması, güneş radyasyonunun emilimini engeller. Bu stratejide sunulan tüm teknikler, yüzey kaplaması haricinde panellerin rafina elektro-mekanik ekipman montajı gerektirir. Dirençsiz, kayan bir yüzey kaplaması kullanmak, ısıtma veya

titreşim için herhangi bir güç gereksinimi olmadan karın kabarmasını engelleyecektir. Öte yandan, elektrostatik kuvvet ve ısıtma başlatıcıları olan teknikler, ekipmanı çalıştırmak için fabrikasyon gücün bir kısmını bölüştürerek sistemin toplam güç çıkışını azaltabilir. Isıtma mekanizmaları, çalışma sıcaklığı dikkatlice incelenmezse ciddi yanmalara neden olabilir ve kalıcı olarak hasar görmüş pv panellerine neden olabilir [120].

Resim 6.6'da görüldüğü gibi vinç kullanılarak yapılan bir modül temizliği görülmektedir. Panel temizliğinde genellikle su kullanılır. Ancak şu noktaya dikkat edilmelidir. Temizlik esnasında kullanılan su saf su haline getirilirse panel temizliği o kadar kaliteli olacaktır. Çünkü saf olmayan suyun panel üzerinde kireç gibi zamanla birikime neden olacak ve bu da panelin çalışmasına negatif etki edecektir.



Resim 6.6 Vinç kullanılarak yapılan panel temizliği

Resim 6.6'da her ne kadar vinç yardımıyla panel temizliği yapılıyor olsa da vincin şart olmadığı durumlar da vardır. Panel temizliğinde ya özel uzun saplı ve geniş ağızlı fırçalar ya da daha robotik sistemlerden kurulu yine fırça mantığıyla çalışan sistemler kullanılmaktadır.

Panel temizliğini planlarken aşağıdakilere dikkat edilmelidir:

Çevresel ve insan faktörleri (örneğin, sonbaharda sonbahar kalıntıları ve yerel tarım ve endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan kirlilik).

Hava koşulları: Yağmurlu dönemlerde temizlik yapılması daha az gerekli olur.

Rüzgârla çöllerden taşınan ve yağmurun ardından da görünebilen toz

Araç trafiğinin neden olduğu toz

Hava tahminlerine dayalı tesis yerinin erişilebilirliği

Su ve temizlik malzemelerinin mevcudiyeti

Sistem verimliliğinin beklenen seviyenin altında olduğu tespit edilirse, modüllerin temizliği kontrol edilmeli ve gerektiği gibi temizlik yapılmalıdır.

Optimum modül temizliği sıklığı, prosedürü gerçekleştirmenin maliyetleri ve faydaları değerlendirilerek belirlenebilir. Temizlemenin yararı, daha düşük kir kaybı ve sonuçta elde edilen gelir artışı nedeniyle iyileştirilmiş bir sistem performans oranında (PR) görülmelidir. Pv modüllerini temizlemek için bir maliyet tahmini bakım onarım yüklenicisinden alınmalı ve potansiyel gelir artışı ile karşılaştırılmalıdır. Mutabık kalınan bakım onarım sözleşmesi, üzerinde anlaşmaya varılan yıllık temizlik sayısını ve bunların sıklığını detaylandırmalıdır. Ayrıca, bu maliyet-fayda analizinin yapılmasına izin vermek için, mal sahibinin tesis genelinde ek bir modül temizliği talep edebileceği işgücü oranını veya birim fiyatı da özetlemelidir.

#### **6.1.1.2. Modül Bağlantı Bütünlüğü**

Modül dizisi düzeyinde izleme içermeyen sistemler için modül bağlantı bütünlüğünün kontrol edilmesi önemlidir. Bu, merkezi inverter teknolojisini kullanan tesisler için daha olasıdır. Bu gibi durumlarda, her bir dizideki akımın izlenmediği ve diğer dizilerle sürekli olarak karşılaştırılmadığı göz önüne alındığında, her bir modül dizisindeki arızaların tespit edilmesi zor olabilir. Dizi düzeyinde izleme kullanılmıyorsa, bakım onarım yüklenicisi her dizideki modüller arasındaki bağlantıları en azından yıllık olarak periyodik olarak kontrol etmelidir.

#### **6.1.1.3. Dize Birleştirici Kutusu**

Tüm dize birleştirme kutuları, su girişi, kir veya toz birikmesi ve kutular içindeki bağlantıların bütünlüğü açısından periyodik olarak kontrol edilmelidir. Gevşek bağlantılar, pv sisteminin genel performansını etkileyebilir. Herhangi bir su, kir veya toz birikmesi bağlantı kutusu içinde korozyona veya kısa devreye neden olabilir. Dizi seviyesinde izlemenin kullanılmadığı durumlarda, bakım onarım yüklenicisi bağlantı kutularındaki, birleştirici kutulardaki ve bazı durumlarda modül

bağlantı kutusundaki sigortaların bütünlüğünün periyodik kontrollerini en azından yıllık olarak yapmalıdır.

#### **6.1.1.4. Sıcak Noktalar**

Pv tesisindeki olası arızalar genellikle termografi ile tespit edilebilir. Bu teknik, gündüz ve gece sıcaklıkları arasındaki büyük değişikliklerin temasların gevşemesine neden olabileceği sıcak iklimlerde yaygın bir problem olan bağlantı kutuları ve inverter bağlantılarındaki zayıf ve gevşek bağlantıların belirlenmesine yardımcı olur. Termografi, inverter bileşenleri içinde ve beklendiği gibi performans göstermeyen modüller üzerindeki sıcak noktaları da tespit edebilir. Eğitimli bir uzman, en azından yıllık olarak bir termografik kamera kullanarak termografi yapmalıdır.

#### **6.1.1.5. İnverter Bakımı**

Genel olarak, inverter arızaları, fotovoltaik enerji santrallerinde sistem kesintilerinin en yaygın nedenidir. Bu nedenle, inverterlerin planlı bakımı, bakım-onarım stratejisinin merkezi olarak önemli bir parçası olarak ele alınmalıdır. İnverterlerin bakım gereksinimleri boyuta, tipe ve üreticiye göre değişir. Herhangi bir invertörün özel gereksinimleri, üretici tarafından onaylanmalı ve bakım programının planlanmasında temel olarak kullanılmalıdır.

Bir inverter için düzenli koruyucu bakım, asgari olarak şunları içermelidir:

Göz ile inceleme.

Soğutma fanı filtrelerinin temizlenmesi / değiştirilmesi

Elektronik bileşenlerden tozun giderilmesi

Herhangi bir gevşek bağlantının sıkılması

Üretici tarafından önerilen herhangi bir ek analiz ve teşhis



#### **6.1.1.6. Trafo Bakımı**

Trafo bakımına başlamadan önce özel güvenlik tedbirleri alınarak yapılması gerekmektedir. Elektrik şebekesinden ayırmadan ve fazların, yıldız noktasının topraklaması yapılmadan trafo kabineye girilmesi ölümcül sonuçlar doğurur. Zira trafoda çok yüksek miktarda gerilim olduğu için bu gerilimin yarattığı bir manyetik alan söz konusudur. Bu yüzden trafo, şebeke sisteminden ayrılır ve yüksek gerilim kontrol kalemi ile fazlar tek tek kontrol edilir. Şebeke beslemesinden dolayı trafoya tersten enerji gelebilir. Bakım esnasında, trafonun hem yüksek gerilim tarafının hem de alçak gerilim tarafının toprak bağlantılarını yapmak gerekir. En az yılda 1 kez olacak şekilde bakım ve gerekli kontrollerin yapılması sistemin, trafonun, beslediği şebekenin veya tesisin verimliliği, güvenliği ve stabilizesi yönünden büyük önem arz eder. Trafoların büyüklüğünü gücü belirler, güce göre sargı sayısı, sargı kalınlığı ve yağ miktarı hesaplanır. Trafo içindeki yağın iki görevi vardır. Trafo içindeki gerilim çeviren sargılar arasındaki izolasyonu ve akım ve gerilim değişimi sırasında meydana gelen ısıyı soğutmayı sağlar.

Trafo bakımında yapılması gereken kontroller şunlardır:

1. Termal kamera ile buşingler, kablo başlıkları, trafo yüzeyi kontrol edilir.
2. Trafo yağ seviyesi ve yağ kaçağı olup olmadığı kontrol edilir. Trafonun yağ seviyesi ve kalitesi ömrünü etkileyen en önemli kriterdir.
3. Buşinglerin contalarındaki yağ kaçaqları kontrol edilir.
4. Trafo üzerindeki civatalar tek tek sıkılır.
5. Yüksek gerilim kablo başlık-buşing civatalar sıkılır
6. Alçak gerilim kablo başlık-buşing civatalar sıkılır. (Buşingler bazen çatlak olabilir.)
7. Ark boynuzları kontrol edilir. Kararmalar varsa atlama yapılma ihtimali vardır.
8. Yıldız noktası topraklaması ölçülür.
9. Trafo, kablo başlıkları iyice kurulanmak şartıyla tiner ile silinebilir,
10. Yağ kalite ölçümü yapılır, gerekirse yağ treathman yapılır [138].

#### **6.1.1.7. Yapısal Bütünlük**

Solar pv enerji santrali için inşa edilen modül sehpaları, kablo kanalları ve diğer yapılar, mekanik bütünlük ve korozyon belirtileri açısından periyodik olarak kontrol edilmelidir.

#### **6.1.1.8. Sistemin Genel Uyum Kontrolü**

İzleme ve güvenlik sistemleri, yardımcı güç kaynakları ve iletişim sistemleri dahil olmak üzere bir güneş pv enerji santralindeki geriye kalan sistemler düzenli olarak kontrol edilmeli ve bakımı yapılmalıdır. Pv tesisi içindeki ve harici olarak bağlanan iletişim sistemleri, sinyal gücü ve bağlantısı açısından kontrol edilmelidir.

#### **6.1.1.9. Bitki Örtüsü Kontrolü**

Bitki örtüsü kontrolü ve tesisin zeminin kontrolü, güneş enerjisi santralleri için önemli planlanmış görevlerdir. Bitki örtüsü (örneğin, uzun otlar, ağaçlar veya çalılar) modülleri gölgeleme ve performansı düşürme potansiyeline sahiptir. İhtiyatlı bir tesisin zeminin kontrolü, modüller üzerindeki yapraklar, polen veya tozdan kaynaklanan kirlenme riskini de azaltabilir. Ayrıca olası bir yangın riskinin de büyümesine engel olur.

#### **6.1.2. Planlanmamış Bakım Onarım**

Arızalara yanıt olarak plansız bakım yapılır. Bu nedenle, planlanmamış bakımı dikkate alırken temel parametreler teşhis, yanıt hızı ve onarım süresidir. Enerji verimini artırmak için mümkün olan en kısa yanıt tercih edilmekle birlikte, bu, daha kısa yanıt süreleri elde etmenin artan sözleşme maliyetleri olasılığına karşı dengelenmelidir. Mutabık kalınan yanıt süreleri bakım-onarım sözleşmesinde açıkça belirtilmelidir ve tesisin konumuna ve insanlı olup olmadığına bağlı olacaktır. Arıza

türüne bağlı olarak, gösterge niteliğinde bir yanıt süresi 48 saat içinde olabilir ve bu sınır aşılsa yüklenici tarafından tasfiye edilmiş hasarlar ödenebilir. Bakım onarım sözleşmesinde bir kullanılabilirlik garantisinin varlığı, yükleniciye ekipman arızası ve bunun sonucunda tesisin çalışmama süresi olması durumunda verimli ve hızlı bir onarım sağlaması için motivasyon sağlayacaktır. İyi tasarlanmış ve iyi inşa edilmiş bir tesis için, planlanmamış bakım sorunlarının büyük bir kısmı inverter arızalarıyla ilgili olabilir. Arızanın niteliğine bağlı olarak, arızayı uzaktan düzeltmek mümkün olabilir. Mümkünse bu seçenek açıkça tercih edilir.

Diğer yaygın planlanmamış bakım gereksinimleri şunları içerir:

1. Gevşemiş kablo bağlantılarının sıkılması
2. Atan sigortaların değiştirilmesi
3. Yıldırım hasarının onarılması
4. İzinsiz giriş yapan kişiler tarafından veya modül temizliği sırasında hasar gören ekipmanın onarımı
5. SCADA hatalarını gidermek
6. Montaj yapısı hatalarının onarılması

### **6.1.2.1 Yedek Parçalar**

Ekipman arızası durumunda hızlı müdahaleyi kolaylaştırmak için, uygun şekilde stoklanmış bir yedek parça envanteri gereklidir. Yedek parçaların maliyeti yüksek olduğu için, satın alımlarının tesis arıza süresinin azaltılması ve gelir kaybının önlenmesinde getirdikleri fayda ile gerekçelendirilmesi gerekir. Optimum yedek parça stratejisi, tesisin boyutuna, yedek parçaların yerel mevcudiyetine ve ortak mülkiyet altındaki bir dizi tesis arasında kritik ekipmanın paylaşılma potansiyeline bağlı olacaktır. Genel olarak, aşağıdaki temel bileşenlerin yeterli tedariki bulundurulmalıdır:

- Montaj yapı parçaları
- Bağlantı / birleştirici kutuları
- Sigortalar
- DC ve AC kablolama bileşenleri

İletişim ekipmanları

Modüller (modül hasarı durumunda)

Yedek inverterler (dizi inverterler kullanılıyorsa) veya merkezi inverterler durumunda üreticinin tavsiyelerine göre bileşenler.

Yedek stok seviyelerinin korunması önemlidir. Bu nedenle, bakım onarım yüklenicisi yedek parça envanterindeki bileşenleri kullandığında, yüklenici, stokları mümkün olan en kısa sürede yenilemekten sorumlu olmalıdır. Bu düzenleme, arızanın tanımlanması ile çalışmayan bileşenin değiştirilmesi arasındaki zaman boşluğunu azaltacaktır. Bu, yetersiz erişilebilirliğin veya olumsuz hava koşullarının bileşenlerin sahaya teslimatını geciktirebileceği uzak konumlar için özellikle önemli olabilir. Tahmini bileşen ömürlerine ve arıza oranlarına dayalı olarak yedek parça envanterinin ayrıntılandırılması için üreticilerle istişare yapılması önerilir.

#### **6.1.2.2. Performans İzleme, Değerlendirme ve Optimizasyon**

Sistem performansını optimize etmek için, tesis bileşenlerinin tesisin ömrü boyunca verimli bir şekilde çalışmasını sağlamaya ihtiyaç vardır. Sistemin kullanılabilirliğini ve verimini en üst düzeye çıkarmak için pv sistemlerinin sürekli izlenmesi önemlidir. Bir SCADA sistemi, pv sisteminin gerçek zamanlı verimliliğini izleyebilir ve sistemin en iyi şekilde çalışıp çalışmadığını değerlendirmek için teorik verimlilikle sürekli olarak karşılaştırabilir. Bu bilgiler, bakım-onarım yüklenicisi tarafından sistemin genel durumunu belirlemek ve temizlik gibi acil onarım veya bakım faaliyetlerini planlamak için kullanılabilir.

#### **6.1.3. Bakım Onarım Sözleşmeleri**

Güneş pv projelerinde, bakım-onarım faaliyeti, inverter servisi, topraklama, güvenlik veya modül temizliği gibi uzman hizmetleri sunmak üzere görevlendirilebilecek alt yükleniciler tarafından gerçekleştirilen işler de dahil olmak üzere, bakım-onarımın tüm yönlerinden sorumlu olan bir ana yüklenici tarafından yürütülmesi yaygın bir uygulamadır. Proje şirketi ile bakım-onarım sağlayıcısı

arasında bakım-onarım hükmünün yasal ve teknik yönlerini detaylandıran bir bakım-onarım sözleşmesi gereklidir.

Bakım-onarım sözleşmelerinin süresi proje bazında değişecektir. Bazı tesis sahipleri (tipik olarak yatırım fonları), uzun bir sözleşme döneminin getirebileceği maliyet garantisini ve öngörülebilirliği severler. Bu nedenle, öngörülen proje ömrünü kapsayan 20 yılı aşan sözleşme süreleri sıklıkla görülmektedir. Diğer sahipler için, bir ila beş yıl gibi daha kısa bir süre, sahiplerin düşen piyasa maliyetlerinden yararlanmalarına ve mevcut sözleşmeleri sona erdiğinde daha uygun şartlar için pazarlık yapmalarına olanak tanıdığından daha arzu edilebilir olabilir. Her durumda, fesih olayları, yüklenicinin temerrüdü, yetersiz performans veya aciz durumunda, süresine bakılmaksızın mal sahibinin sözleşmeyi feshetmesine izin verecek şekilde açıkça tanımlanmalıdır.

Bir bakım-onarım sözleşmesinin amacı, tesisin performansını belirlenen maliyet parametreleri dahilinde optimize etmektir. Bunu etkili bir şekilde yapmak için, sözleşmenin uygun şekilde ayrıntılı ve kapsamlı olması gerekir. Özellikle, bakım onarım sözleşmesi açıkça belirtilmelidir:

- Yüklenici tarafından yürütülecek hizmetler ve yüklenici yükümlülükleri
- Hizmetlerin sıklığı
- Mal sahibinin yükümlülükleri
- Yüklenicinin uyması gereken standartlar, yasalar ve yönergeler
- Ödeme yapısı
- Performans garantileri ve operasyonel hedefler
- Tesis kullanılabilirliğini ve / veya performans oranını hesaplamak için metodolojiler
- Tesisin düşük veya aşırı performans göstermesi durumunda tasfiye edilmiş hasarların / prim ödemelerinin hesaplanması için metodolojiler
- Şartlar ve koşullar
- Yasal yönler

- Sigorta gereksinimleri ve sorumlulukları

Bu konular aşağıda sırasıyla anlatılmaktadır

**Yüklenici Hizmetleri Ve Yükümlülükleri:** Bakım-onarım sözleşmesi, yüklenici tarafından gerçekleştirilecek hizmetleri listelemelidir. Bu liste sahaya ve ekipmana özgü olmalı ve aşağıdakileri içermelidir:

- Tesis izleme gereksinimleri
- Planlı bakım gereksinimleri
- Planlanmamış bakım gereksinimleri
- Mutabık kalınan hedefler ve / veya garantiler (örneğin, yanıt süresi veya sistem kullanılabilirliği figürü)
- Raporlama gereksinimleri (performans, çevre, sağlık ve güvenlik ve çalışma ilişkileri raporlaması dahil)

Bakım-onarım yüklenicisinin birincil rolü tesisi korumak, tesisin ve tüm alt bileşenlerin çalıştığından ve şebekeye elektrik enerjisini ihraç edebildiğinden emin olmak olsa da, yüklenici de sözleşmeye bağlı olarak tesis performansını optimize etmekle yükümlü olmalıdır. Ek olarak, tüm bakım görevlerinin, sistemin verimliliğine olan etkileri en aza indirilecek şekilde yapılması şart koşulmalıdır. Sözleşmede özellikle, ekipmanın hizmetten çıkarılmasını gerektiren önleyici bakım görevlerinin asgari düzeyde tutulması ve düşük ışınlama saatlerinde yapılması gerektiği belirtilmelidir.

Bakım-onarım sözleşmesi tipik olarak yüklenicinin aşağıdakileri yapacağı şartları tanımlar. Buna göre yüklenici, görünür hasar ve kusurlar için sistem bileşenlerini aralıklarla görsel olarak kontrol eder. Aralıklarla, sistem bileşenlerinin işlevsel bir testini sağlar. Sistemin tüm bileşenlerinde gerekli bakımın yapılmasını sağlar. Asgari olarak, bu faaliyetler üreticinin tavsiyelerine ve ekipman garantilerinin koşullarına uygun olmalıdır. Modüllerin uygun şekilde temizlenmesini ve yağın karın kaldırılmasını sağlar. (sahaya özel). Gölgelemeyi önlemek ve bakım faaliyetlerine yardımcı olmak için sistemin doğal ortamının korunmasını sağlar. Arızalı sistem bileşenlerini ve arızalanması muhtemel görülen sistem bileşenlerini değiştirir.

Performansın ayarlanan tetikleme seviyelerinin altına düştüğünü belirlemek için pv tesisinin performansının günlük olarak (tipik olarak iş saatlerinde) uzaktan izlenmesini sağlar.

Kararlaştırılan zaman çizelgesine uyulup uyulmadığını kolayca izlemek için önleyici bakım faaliyetleri çizelgesi hazırlanmalı ve bakım-onarım sözleşmesine eklenmelidir. Bu, tüm ekipmanın üreticinin yönergelerine uygun şekilde bakımının yapılmasını sağlamanın yanı sıra, yüklenici performansının da ölçülmesine olanak tanır.

**İş Sahibinin Yükümlülükleri:** Bir bakım-onarım sözleşmesinde, iş sahibinin / geliştiricinin yükümlülükleri genellikle aşağıdakilerle sınırlıdır:

- Bakım-onarım yüklenicisine sisteme ve ilgili tüm arazi ve erişim noktalarına erişim izni vermek.
- Tesisin yasal işletimi için gerekli tüm onayları, lisansları ve izinleri almak.
- Bakım-onarım yüklenicisine, yukarıda ayrıntıları verilenler gibi, tesisin operasyonel yönetimi için gerekli olan tüm ilgili belge ve bilgileri sağlamak.

**Standartlar, Mevzuat Ve Kılavuzlar:** Sözleşmenin bu bölümü, tesisin bakım-onarımını yürütürken bakım-onarım yüklenicisinin uyması gereken çeşitli koşulları ana hatlarıyla açıklamaktadır. Bu koşullar aşağıdaki belgelerden alınmalıdır:

- İnşaat veya inşaat izinleri
- Planlama izinleri ve lisansları
- Şebeke bağlantı beyanı, şebeke bağlantı anlaşması ve elektrik satın alma anlaşması
- Sistem bileşenleri için kullanım kılavuzları
- Uygulanabilir mevzuat
- Yerel mühendislik uygulamaları
- Ödeme
- Bakım-onarım sözleşmesinin maliyeti ve ücreti genellikle şu şekilde ayrılır:

- Sabit ücret ve ödeme tarihleri.
- Diğer hizmetlerin ücretlendirilmesi ve harcama geri ödemesi.

Sabit ücret, yüklenici tarafından bakım-onarım sözleşmesi kapsamında sağlanacak temel hizmetler için ödemeyi ana hatlarıyla belirtir. Bu bölüm aşağıdakileri içermelidir:

- Maliyet — genellikle kurulu kWp başına sabit bir fiyattır.
- Ödeme yapısı (aylık veya üç aylık).
- Sözleşme süresi boyunca ödeme endekslemesi.

Diğer hizmetler için ücret, sözleşme kapsamı dışındaki herhangi bir hizmet için ödemeyi içerir. Bu şunları içermelidir:

- Gerçekleştirilen diğer hizmetlerin düzeyini belirleme yöntemi.
- Bu hizmetleri yürütmek için kabul edilen oranlar.
- Mal sahibi ile ek masrafları veya hizmetleri onaylamak için anlaşmaya varılmış yöntem.
- Bireysel garantiler kapsamına girmeyen veya sahibinin envanterinde tutulan gerekli yedek parçalar ve diğer bileşenler

Garantiler / Performans Garantileri: Sözleşme, düzenli olarak hesaplanacak tesis çapında bir performans garantisini içermelidir. Büyük ölçekli güneş pv enerji santrallerinde bu genellikle bir kullanılabilirlik veya performans oranı (PO) garantisini şeklini alır. Kullanılabilirlik garantisi, tesisin çalışma süresinin bir ölçüsünü ve yüklenicinin tesisi çalışır durumda tutmada ve elektrik enerjisini şebekeye aktarmada ne kadar başarılı olduğunu gösterir. PO garantisi, güneş ışınımını elektrik enerjisine dönüştürmede tesis verimliliğinin bir ölçüsünü sağlar. Bir PO garantisi, yükleniciyi sadece operasyonel hazırlığı sağlamaktan ziyade tesis performansını optimize etmeye teşvik ettiği için tercih edilebilirken, bazı üçüncü taraf bakım-onarım sağlayıcıları, tasarlamadıkları veya inşa etmedikleri sistemler için böyle bir garanti sunma konusunda isteksizdir. Bir PO garantisi bir endüstri standardıdır ve uygun bir uzun vadeli işletme ve bakım stratejisi için bir ön koşul olarak kabul edilir. Garanti, tesisin garanti edilen değerden daha yüksek bir PO seviyesine ulaşmasını sağlamayı bakım-onarım yüklenicisinin sorumluluğunda yapar. Tesisin bu değer altında çalışması halinde yüklenici, mal sahibine tasfiye edilmiş zararlar şeklinde tazminat ödemekle yükümlü olacaktır. Hasarlar, tesisin yetersiz performans göstermesi durumunda mal



sahibinin uğrayacağı kayıp veya hasarın gerçek bir tahmini olan bir seviyede belirlenmelidir.

**Yasal Yönü:** Sözleşmede, bakım-onarım sözleşmesinin tabi olduğu yasa ve yargı yetkisini özetleyen bir bölüm olacaktır. Geçerli kanun normalde projenin bulunduğu ülkenin kanunudur. Geliştiricinin bakım-onarım sözleşmesini üçüncü bir tarafa devretme hakkını saklı tutması için yasal bir miras veya hakların devri koşulu gereklidir. Ayrıca her sözleşmenin bir ifşa etmeme sözleşmesi olması tavsiye edilir. Bakım-onarım yüklenicisi ve geliştirici arasındaki bu anlaşma, gizli olarak ele alınacak bilgilerin yanı sıra üçüncü şahıslara ifşa edilebilecek bilgileri ana hatlarıyla belirtecektir.

**Sigorta:** Sözleşmede, yüklenicinin bakım-onarım faaliyetleri için sigorta sorumluluklarını özetleyen bir bölüm olmalıdır. Bu sigorta, tesisteki hasarı kapsamlı ve aynı zamanda bakım yapan çalışanlar için teminat sağlamalıdır. Bakım-onarım yüklenicisinin tam saha sigortasını ayarlaması ve ödemesi normaldir.

**Anlaşma Şartı:** Her bakım-onarım sözleşmesinin, sözleşmenin ne zaman yürürlüğe gireceğini ve geçerlilik tarihinden itibaren sözleşmenin süresini özetleyen bir bölümü olmalıdır. Bu bölüm, başlangıçta kararlaştırılan sürenin bitiminden sonra sözleşmeyi yenilemek veya uzatmak için hükümler içermelidir. Ayrıca bu bölümün, bakım yüklenicisinin veya geliştiricinin sözleşmeyi feshetme hakkına sahip olacağı durumları içermesi önerilir.

**Tepki Süresi:** Bir bakım yüklenicisinin garantili yanıt süresi, bakım-onarım sözleşmesinin önemli bir bileşenidir. Bir arıza bildirimini meydana gelir gelmez, belirli bir süre içinde şantiyeye gitmek yüklenicinin sorumluluğundadır. Yanıt süresi ne kadar hızlı olursa, sorunlar o kadar hızlı teşhis edilebilir ve sistem tam üretime geri döndürülebilir. Pv tesisi ile yüklenicinin binası arasındaki mesafe, garantili yanıt süresinin süresiyle doğrudan bir korelasyona sahiptir. Şantiyeye erişilebilirlikle birleştiğinde yılın zamanı, herhangi bir planlanmamış bakım olayı için fiili müdahale süresi üzerinde bir etkiye sahip olabilir. Yılın belirli zamanlarında yollara erişim kısıtlamaları müdahaleyi geciktirebilir. Olumsuz koşullar, sahaya taşınabilen yükün boyutunu da azaltabilir, böylece bakım çalışmasının süresini uzatabilir. Güçlü bir PO garantisinin varlığı, yüklenicinin bir arıza durumunda uyarıldığında verimli bir yanıt

verme ve sistem performansını geri yükleme konusunda motive olmasını sağlar. Bu tür garantiler yeterince güçlüyse, bir sözleşmedeki açık yanıt sürelerine duyulan ihtiyaç azaltılabilir.

**Yüklenici Seçme:** Bir bakım-onarım yüklenicisi seçerken, şirketin kapasitesi iyice incelenmelidir. Özellikle aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır:

- Yüklenicinin sahaya ve teknolojiye aşinalığı
- Yüklenicinin tesislerinin yeri
- Personel sayısı ve yetkinliği
- Deneyim ve sicil kaydı
- Mali güç ve garanti yükümlülüklerini yerine getirme yeteneği
- Amaç, proje süresince sözleşmenin gereklerini karşılayabilecek, uygun tecrübeye sahip bir yüklenici seçmek olmalıdır

Bakım-onarım sözleşmeleri hakkında daha fazla bilgi aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

Sözleşmenin başlığı

Proje ismi

Kapasite (KW<sub>p</sub>)

Projenin sahibi (İşveren)

Bakım-onarım yüklenicisi

**Ücretlendirme:** Mal Sahibi, Yükleniciye her işletme yılı için her MW<sub>p</sub> kurulu güç için [x] tutarında sabit bir ücret ödeyecektir. Bu, her iki tarafın kararlaştıracığı yıllık bir oranda artırılabilecektir. Ücret, aylık ya da üç ayda bir şekilde ödenecektir.

**Bakım-onarımın başlangıç tarihi:** Yüklenici, Tesis Devralma Belgesinin düzenlendiği tarihte başlayan hizmetleri ilgili mevzuat ve standartlar çerçevesine uygun olarak yerine getirecektir.

**Bakım-onarımın kapsamı:** Tüm önleyici ve düzeltici bakımın performansı, tesisin sözleşme süresinin her bir işletim yılı boyunca garantili kullanılabilirlik düzeyine ve / veya Garantili Performans Oranına ulaşmasını sağlamayı gerektirir. Yüklenici, anormal operasyonu tespit etmek ve uygun bakım eylemlerini uygulamak için sözleşme süresi boyunca sürekli olarak tesis performansını izleyecektir.

**Önleyici bakım:** Güneş pv tesisi bileşenlerinin, sözleşme süresi boyunca sürekli olarak operasyonel ve performans kapasitesi açısından incelenmesi ve özellikle sarf

malzemesinin değiştirilmesi yoluyla, gelecekteki hataların, kesintilerin veya performansta düşüşün olası oluşumunu önlemeyi amaçlayan görevlerin gerçekleştirilmesi güneş pv tesisinin parçaları veya münferit bileşenlerinin bakımı kapsar.

Yüklenici, İstisnasız olarak, tesisi ve bileşenlerini üretici yönergelerine (üçüncü taraf garanti koşullarının geçerliliğini koruyacak şekilde), bakım-onarım kılavuzuna ve şebeke operatörü gereksinimlerine uygun olarak tutacaktır. Bunlar, tesis işletme ve bakım kılavuzunda ek olarak tutulan önleyici bir bakım programı dahilinde yüklenici tarafından iş sahibine iletilecektir.

Yüklenici tarafından, tesisin çalışması ve performansı üzerindeki etkiyi en aza indirmek için önleyici bakım koordine edilecek ve planlanacaktır.

İzleme: Yüklenici, tesisin operasyonel hazırlığını ve üretim kapasitesini kontrol ederek her gün belirlenen saatler arasında tesisin çalışmasını izleyecektir. İzleme, mühendislik proje sözleşmesi kapsamında sağlanan yerinde izleme yazılımı ve sistemleri kullanılarak gerçekleştirilecektir. Yüklenici, tesis tarafından üretilen herhangi bir kesinti mesajının her gün alınmasını ve analiz edilmesini sağlayacaktır. Özellikle yüklenici, en azından [DC birleştirici kutusu] seviyesinde izleme yapacaktır. Uzaktan düzeltilemeyenler için arıza mesajlarının düzeltilmesi için önlemler, arızanın ciddiyetine göre alınacak ve müdahale süreleri içerisinde giderilecektir.

Raporlama: Yüklenici, iş sahibine içeriği bakım-onarım sözleşmesinde detaylandırılacak olan aşağıdaki raporları sağlayacaktır:

Her ayın yedinci takvim gününe kadar iş sahibine teslim edilecek aylık rapor.

Faaliyet raporu, işletme yılının sonunu takip eden 21 takvim günü içerisinde iş sahibine teslim edilecektir.

Önemli Kesintilerle İlgili Raporlar – Yüklenici, izleme veya test sırasında ciddi kesintiler, hasar veya kusurlar tespit ederse, yüklenici, kusuru, en geç 24 saat içinde iş sahibini kusurun türünü detaylandırarak bilgilendirecektir ve onarım için beklenen süre tamamlandıktan sonraki 7 gün içinde iş sahibine kusurun giderildiğine dair rapor verilecektir.

Zemin bakımı: Yüklenici, tesiste bitki örtüsünden kaynaklanacak herhangi bir gölgelemeye mahal vermeyecek olup, olası yangın gibi diğer risklerin ortaya çıkma ihtimaline karşın önlem alacaktır.

Güvenlik: Yüklenici, sözleşme süresi boyunca tesis güvenliği ve gözetim sağlanmasından sorumlu olacaktır. Bu, 24 saat / gün, 365 gün / yıl esasına göre sağlanacaktır.

Yedek Parça Yönetimi: Mal Sahibi, hizmetlerin gerçekleştirilmesinde kullanılmak üzere yükleniciye bir yedek parça envanterini sağlayacaktır (Yedek parçalar daha önce mühendislik proje sözleşmesi yüklenicisi tarafından sağlanmış olacaktır.) Yüklenici, hizmetlerini gerçekleştirmek için, gerekli diğer tüm malzeme, ekipman, alet ve sarf malzemelerini sağlamaktan sorumludur. Yüklenici, tüm yedek parçaların envantere alındığında veya envanterden çekildiğinde günlük olarak kaydını tutacak ve envanterin muhafaza edilmesini sağlayacaktır. Yüklenici, masrafları kendisine ait olmak üzere, kullandığı yedek parçaları, eşit veya daha iyi kalite ve garanti seviyelerinde yeni parçalarla değiştirecektir. Tüm Yedek Parçalar, mal sahibinin münhasır mülkü olarak kalır ve sözleşme süresinin sonunda mal sahibine iade edilir. Tüm yedek parçalar, yüklenici tarafından şantiyede veya şantiyeye hızlı ulaşım için kabul edilebilir bir mesafede tutulacaktır. Yüklenici, mal sahibine, yapılan her kurulum veya onarımın, montaj veya onarım tarihinden itibaren 12 aylık bir süre boyunca malzeme veya işçilikte kusur içermeyeceğini garanti eder.

Kullanılabilirlik Garantisi: Yüklenici, sözleşme süresinin başlangıç tarihinden itibaren her işletme yılı boyunca tesisin kullanılabilirlik seviyesinin en az % 99 (Garantili Kullanılabilirlik Seviyesi) olacağını garanti eder. Tesis kullanılabilirliği, bakım-onarım sözleşmesinde yer alan metodolojiye göre inverter seviyesinde hesaplanacaktır. Ölçülen tesis kullanılabilirliği, garantili kullanılabilirlik seviyesi ile karşılaştırılacaktır. Ölçülen tesis kullanılabilirliği, garantili kullanılabilirlik seviyesinin altına düşerse, tasfiye edilmiş hasarlar işletme ve bakım sözleşmesine uygun olarak mal sahibine ödenecektir.

Performans Oranı Garantisi: Yüklenici, üzerinde mutabık kalınan yıllık bozulma oranını dikkate alarak, sözleşme başlangıç tarihinden itibaren sözleşme süresinin her işletme yılı boyunca tesisin performans Oranının (PO) en az% [x]

(Garantili Performans Oranı) olacağını garanti eder. Performans oranının hesaplanması amacıyla, bakım-onarım sözleşmesinde yer alan metodolojiye uygun olarak, hem tesisin enerji çıktısı, hizmet ölçerle ölçülecek hem de dizi düzlemi ışınlanması, en az iki standart piranometre ile ölçülecektir. Ölçülen Tesis PO değeri garantili PO değeri ile karşılaştırılacaktır. Ölçülen tesis PO, garantili performans oranının altına düşerse, tasfiye edilmiş hasarlar, bakım-onarım sözleşmesi uyarınca iş sahibine ödenecektir.

**Tasfiye Edilmiş Zararlar:** Tesisin sözleşme süresi boyunca garantili elde edilebilirlik seviyesi ve / veya garantili performans oranında eksik performans gösterdiği tespit edilirse, yüklenici tasfiye edilen zararları tazminat yoluyla mal sahibine ödeyecektir. Her iki taraf da, tasfiye edilmiş hasarların garantili kullanılabilirlik seviyesi ve / veya garantili performans oranına ulaşamaması nedeniyle beklenebilecek gerçek bir kayıp ön tahminini temsil eden bir seviyede boyutlandırılacağını kabul eder.

**Sağlık ve güvenlik:** Yüklenici, Şantiyedeki tüm Yüklenici ve Alt Yüklenici personelinin güvenliğinden sorumlu olacaktır. Yüklenici, Şantiyede gerçekleştirilen tüm bakım faaliyetlerinin güvenliğini sağlamaktan sorumlu olacaktır.

**Düzeltilici bakım:**

Düzeltilici bakım, garantili kullanılabilirlik seviyesi ve / veya garantili performans oranına ulaşılmasını sağlamak için yapılır.

Tesis faaliyetlerini etkileyen bir arıza veya arıza tespit edildiğinde, yüklenici, tesisi mutabık kalınan müdahale sürelerine uygun olarak normal hizmet koşullarında işletmeye döndürmek için gerekli düzeltici bakım faaliyetlerini derhal başlatacaktır.

Bakım şu şekilde ayrılabilir:

**Programlı bakım:** Önceden planlanmış ve arıza önlemeyi hedeflemenin yanı sıra tesisin optimum seviyede çalışmasını sağlamak.

**Planlanmamış bakım:** Arızalara yanıt olarak gerçekleştirilir.

Uygun şekilde kapsamlı ve düzenli olarak planlanmış bakım, planlanmamış bakım gereksinimini en aza indirmelidir, ancak kaçınılmaz olarak bazı öngörülemeyen arızalar yine de meydana gelecektir. Bu nedenle, hem planlanmış

hem de planlanmamış bakım için sağlam ve iyi planlanmış bir yaklaşım önemlidir. [107].

## **6.2. Santralin İşletilmesi**

Bir fotovoltaik güneş enerji santralının işletilmesi denildiğinde hem teknik olarak işletilmesi hem de idare olarak işletilmesi gerekliliği anlaşılmalıdır. İdare olarak santralin işletilmesi için santralin gelir gider yani muhasebesel olarak kaydının sürekli tutulması gereklidir. Bunun için santralin ekonomik işlerinden sorumlu 1 adet muhasebe personelinin olması gerekmektedir. Diğer yandan güneş enerji santralleri kendi kendine çalışan ve duran sistemler olduğu için santralin kamera sistemine ek olarak santralin güvenliğinden sorumlu olacak personele ihtiyaç duyulur. Bu personeller, hem santralin güvenliğini sağlarken hem de santralde, yangın çıkması ya da sabotaj gibi olağanüstü bir durumda müdahale müdahale eder. Ancak güvenlik görevlilerinin sayısının asgari 3 olması gerekmektedir. Çünkü ilgili kanun ve yönetmeliklerde güvenlik görevlilerinin 8 saatten fazla çalıştırılmayacağı açıkça ifade edilmiştir. Bunlara ilaveten santralde teknik işlerden sorumlu en az 1 adet teknisyen düzeyinde konusunda uzmanlaşmış ya da eğitimini almış bir personele gerek duyulur. Zira santralin teknik açıdan sürekli gözlem altında kalması, üretilen enerjinin nicelik bakımından takibi ve sistemde, herhangi bir teknik sorundan kaynaklanan bir durum ortaya çıktığında anında müdahale edilmesi gerekmektedir. Genel olarak 1 MW'lık bir ges santralının idari açıdan işletilmesi için 1 muhasebeci ve 3 adet güvenlik görevlisi olmak üzere toplamda 4 ve teknik açıdan işletilmesi için en az bir adet teknisyenin olması gerekmektedir.

Teknik olarak bir santralin işletilmesi için kurulan bilgisayar programları ve bu programlara destek olarak bir teknisyenin varlığı yeter gibi görünse de uzun vadede mutlaka bakım onarım faaliyetlerine ihtiyaç duyulacağı kesindir. Bu yüzden mal sahibi mutlaka santralin geleceği için gerekli liyakat sahibi bir bakım-onarım firması ile sözleşme yapması gerekmektedir. Genellikle santralde kullanılan ürünlere üreticiler tarafından beş yıl garanti verilir. Ancak bu garanti süresi dolduktan sonra ve bu arada sistemde yorulmaya başladıktan sonra, sistemin mutlaka bakım onarım

faaliyetlerine tabii tutulması gerekir. Özenle yapılmış bir bakım-onarım maliyeti santralin geleceği açısından oldukça önemli bir yer tutar.

Diğer enerji üretim teknolojileriyle karşılaştırıldığında, güneş enerjisi santrallerinin daha az bakım ve servis gereksinimleri vardır. Bununla birlikte, hem enerji verimini hem de tesisin faydalı ömrünü en üst düzeye çıkarmak için bir pv tesisinin düzgün bakımı çok önemlidir. Optimal işlemler, üretimi en üst düzeye çıkarmak ile maliyeti en aza indirmek arasında bir denge kuralmalıdır. Bir işletme ve bakım onarım sözleşmesinin varlığı, bir projenin ömrü boyunca işletilmesi ve bakımı için parametreleri tanımlamak için çok önemlidir. Bu görevleri yerine getirmek için bir bakım-onarım yüklenicisi istihdam ediliyorsa, önleyici ve düzeltici bakım, performans izleme ve raporlama ile ilgili tüm gerekliliklerin, bu faaliyetlerin gerçekleştirilmesi gereken sıklık ile birlikte sözleşmede açıkça belirtilmesi önemlidir. Bu, yüklenici performansının ölçülmesine ve gerekirse sorgulanmasına izin verir. Bir bakım-onarım yüklenicisinin sözleşme süresi boyunca tesis performansını garanti etmesi normaldir. Tipik olarak bu, tüm tesisi kapsayan bir kullanılabilirlik veya performans oranı garantisinin varlığıyla elde edilir. Yüklenicinin yükümlülüklerini yerine getirmemesi ve tesisin garantili değer altında performans göstermesiyle sonuçlanması durumunda, mal sahibi, kaybedilen gelirleri karşılamak için tazminat talep edebilir. Bir Solar pv enerji santrali için bir İşletme ve Bakım sözleşmesi hazırlamak için temel gereksinimler, bölümün sonunda bir kontrol listesinde belirtilmiştir.

### **6.3.Santralin Maliyet Analizi**

1 MW gücünde bir fotovoltaik güneş enerjisinin, 2021 yılı fiyatlarına göre genel bir maliyeti yapıldığında, toplam maliyetinin 900.000 ABD doları olduğu piyasadan yapılan araştırma sonucu öğrenilmiştir. Bu maliyetin kapsamında, ortalama bir arazi maliyeti, güneş panelleri, inverterler, solar kablolar, AC kablolar, konstrüksiyon sistemi, trafo, AC ve DC toplama panoları, scada sistemi, kamera ve aydınlatma sistemi, bölüm 3.8.'deki ekipmanlar, hafriyat çalışması, ulaşım yolu ve iletim hattı mevcuttur. Özellikle iletim hattı ve hafriyat çalışmaları ciddi maliyetler

## **6.FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN BAKIMI, ONARIMI ve İŞLETİLMESİ** **CEBRAİL GÜNEŞ**

getirmektedir. Santralin maliyet analizi yapıldığında, bölüm 5.3.'te yapılan modelleme raporuna göre yılda 1.897 MW enerji şebekeye verilebilmektedir. Devletin verdiği teşvikten ötürü belirlediği alım ücret 0,09 \$/KW'dır. O halde \$/□ kurunu 8,6 TL olduğu kabulü ile;

Santralin bir yıldaki geliri = 1.897 MW\*(0,09 \$/KW) = 170.730 \$'dır.

Santral maliyetinin 900.000 \$ olduğu kabul edilirse

Santralin amortisman süresi = 900.000 / 170.730 = 5,27 yıl olarak bulunur.

Tablo 6.3 1 MW fotovoltaik güneş enerji santralinin maliyet tablosu

Donanımın İsmi	Birimi	Miktarı	Birim Maliyeti	Toplam
Güneş Paneli	2800	Adet	1.500	488.372
İnverter	17	Adet	40.000	79.070
Konstrüksiyon Sistemi	1	takım	720.000	83.721
Kablolar ve Toplama Panoları	1	takım	360.000	41.860
Sacada ve Kamera Sis.	1	takım	80.000	9.302
Trafo ve yardımcı ekipmanlar	1	takım	100.000	11.628
Topraklama ve Yıldırımdan Korunma Sistemi	1	takım	200.000	23.256
Arazi	1	takım	300.000	34.884
Mühendislik ve Proje Hizmetleri	1	takım	100.000	11.628
Sahanın Hazırlanması ve İnşaat İşleri	1	takım	1.000.000	116.279
<b>GENEL TOPLAM</b>				<b>900.000</b>

Ancak Haziran 2021 verilerine göre şu anada alımlar öz tüketim mekanizması ile yapılmaktadır. Yani şebeke işletmecisi öz tüketim sözleşmesi kadar bir kuruluma izin vermektedir. 2016 yılına kadar kanundaki boşluktan dolayı yapılan lisanssız santrallerin hepsi öz tüketim amaçlı kurulmayı devlete elektrik satma amacıyla kurulmuştur. Dolayısıyla trafo kapasiteleri çok hızlı bir şekilde doldurulduğundan şu anda lisanssız üretimde, üretilen enerjinin tamamının satışı mümkün değildir. Ayrıca dağıtım şebekesi enerji nakil hatlarının uzunluğunun 20 km'den fazla olduğu



lisanssız üretimlerin onayını vermemektedir. Bu yüzden hem iletim hattının uzunluğuna hem de trafo kapasitesine dikkat edilmesi gerekir.

## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Geçmişten günümüze enerjiye olan talebe bakıldığında özellikle sanayi devriminden sonra ülkelerin enerji olan talebi hızla artmıştır. İlk olarak yer altı kaynaklarıyla bu talep karşılanmak istense de hem enerjiye olan talebin artması hem de yer altı kaynaklarının bir gün sona erecek olması ayrıca bu kaynakların çevreye karşı zararlı etkileri düşünüldüğünde ülkelerin yenilenebilir enerjiye yöneldiği görülmektedir. Özellikle güneş enerjisi üzerinde en yoğun çalışılan alternatif enerji kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır. Fotovoltaik paneller yardımıyla güneş enerjisinden elektrik eldesinin yaygınlaşması tüm ülkelerin dikkatini çekmiş durumdadır. Ancak fotovoltaik güneş enerji santralleri yüksek teknoloji içeren ürünler oldukları için ilk yatırım maliyetleri de doğal olarak yüksektir. Fakat daha önceki yıllarda sistemin amortisman süresi 6 yıl üzerindeyken, teknolojinin gelişmesiyle bu değer daha da aşağılara inmiş durumdadır. Fotovoltaik santraller her geçen gün önem kazanmaktadır. Çünkü ABD ve Çin gibi büyük ülkelerin bu sektöre devasa bütçe ayırdıkları bilinmektedir. Bu yüzden sektör olarak uzun yıllar boyunca hayatımızda olacaktır. Ülkemiz son yıllarda bu konuda verdiği teşvikler sektörün desteklenmesini sağlamıştır. Önce lisansız olarak üretilmesine izin verilen güç 1 MW iken 2021 yılında yapılan değişiklik ile 7 GWh'ın üzerindedir.

Bir yandan güneş enerjisi santrallerinin kurulumu hızla devam ederken öte yandan santrallerde kullanılan ekipmanların verimlilikleri arttırılmaya çalışılmaktadır. Güneş panellerinde şu anda monokristal pazarında verim laboratuvar ortamında %26 mertebesine ulaşmıştır. Bu paneller ticarileştikçe hem daha verimli hem de daha yüksek kapasitede enerji üreten paneller yaygınlaşacaktır. Örneğin 2016-2017 yılların birçok güneş enerji santralinde kullanılan paneller 280 W civarındayken şu anda ticari santrallerde bu değer 450 W civarındadır. Görüldüğü üzere sektör bu konuda çok kısa sürede büyük yol almıştır. Üzerinde çalışılan diğer bir ekipman ise inverterlerdir. Özellikle iç tüketimlerinin azaltılması amacıyla farklı inverter topolojileri bilim adamlarınca çalışılmaktadır.

Bu çalışmada bölüm 1’de enerji, güneş enerjisi ve kullanım alanları ile ilgili genel bilgiler verilerek Dünya’daki ve Ülkemizdeki fotovoltaik kurulu güçler hakkında genel bir değerlendirme yapılmıştır.

Bölüm 2’de fotovoltaik enerji sistemlerinin temeli olan güneş pilleri ve tarihçesi anlatılarak fotovoltaik sistemlerin konfigürasyonlarına göre çeşitleri olan şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız ve hibrit sistemler detaylıca açıklanmıştır.

Bölüm 3’de fotovoltaik enerji sisteminde kullanılan ekipmanlar detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Bu sistemlerde kullanılan en yaygın güneş paneli ve inverter çeşitleri anlatılmıştır. Fotovoltaik enerji santrallerinde kullanılan konstrüksiyon tipleri arazi ve çatı tipi olmak üzere ikiye ayrılarak incelenmiştir. Arazi tipleri konstrüksiyon sistemleri de, sabit açılı sistemler ve güneş takipli sistemler olmak üzere anlatıldıktan sonra konstrüksiyon sistemlerinde kullanılan bağlantı elemanları anlatılmıştır. Bir ges santralinde kullanılan DC, AC, topraklama ve haberleşme ve kontrol kabloların tanımı yapılarak santralin hangi bölgelerinde kullanıldıkları anlatıldıktan sonra santralde bulunan AC ve DC toplama panoları hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra trafo tanımı yapılarak çeşitleri hakkında bilgi verilmiştir. Bölüm 3.’ün sonunda fotovoltaik bir güneş enerjisi santralinde kullanılan izleme ve kontrol sistemleri ve santralin güvenliğini sağlayan ekipman çeşitlerinden bahsedilmiştir.

Bölüm 4’te bir fotovoltaik güneş enerjisi santrallerinin tasarımı, bakım onarımı ve işletilmesi hakkında özellikle 2015 yılından sonra yapılan akademik çalışmalar derlenerek kısaca anlatılmıştır.

Bölüm 5’te 1 MW fotovoltaik güneş enerjisi sisteminin tasarımında lisanslı ve lisanssız santraller ile ilgili güncel mevzuattan ve izlenmesi gereken yasal süreçten bahsedilmiştir. Fotovoltaik güneş enerjisi santrali tasarım aşamasında kurulması planlanan yerin güneş ışınım değerlerinin çok önemli olduğu ve bununla ilgili Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayınlanan GEPA haritalarının mutlaka incelenmesi gerektiği anlatılmıştır. Adıyaman için güneş ışınım değerinin 1595 KWh/m<sup>2</sup>-yıl olduğu ve santralin kurulumu için uygun bir bölge olduğu GEPA haritasından anlaşılmıştır. Daha sonra sırasıyla bir santral için yer seçimi ve sonrasında santralin kuruluma hazırlanmasını sağlayacak alt yapı ve teknik

detaylardan bahsedilmiştir. Özellikle zemin etüdü raporlarındaki santral sahasının fiziksel ve mekaniksel bilgileri kullanılacak taşıyıcı sistemi etkilemektedir. Daha sonra 1 MW bir fotovoltaik güneş enerjisi santralının Pvsyst programı aracılığıyla modellenmesi yapıp tek hat şeması çıkartılarak projelendirilmiştir. Pvsyst programında Adıyaman bölgesi için panellerin 36°'de konumlandırılmıştır. Ayrıca tez için yapılan bu projede santral sahasının düz bir alanda konumlandırıldığı kabulü yapıp ve diziler arasındaki mesafenin gölgelemeden dolayı en az 7,6 m olması gerektiği hesaplanmıştır. Buna göre tez için yapılan projede 400 watt gücündeki 2800 adet panelin kullanılması gerektiği anlaşılmıştır. Ayrıca sistemde 17 adet 60 KW AC çıkış gücüne sahip inverter kullanılmıştır. Daha sonra projede belirtilen güneş panellerinin ve inverterlerin birbirleri ile elektriksel uyumluluk hesapları yapılarak, bunların montajında dikkat edilmesi gereken noktalar hakkında bilgi verilmiştir. Bir sonraki adımda paneller, inverterler ve trafo arasındaki çekilen DC ve AC kablo seçimi ve hesaplamaları yapılmıştır. Buna göre panel inverter arasında 6 mm<sup>2</sup> kesitli alüminyum solar kablo kullanılarak inverterlere bağlanmıştır. Daha sonra yapılan AC kablo hesaplamalarında inverterden ve trafo girişine (AC toplama panosu) kadar 4x95mm<sup>2</sup> kesitinde alüminyum AC kablo kullanılmıştır. Son olarak trafoya 5x240 mm<sup>2</sup>'lik kablo ile giriş yapılmıştır. Trafo seçiminde ise 1250 KVA'lık yağlı tip hermetik bir trafo seçilmiştir. Bölüm sonunda santralin geneli ile ilgili topraklama ve yıldırımdan korunma hesabı yapılmıştır. Buna göre küre metoduna göre yıldırımdan korunma yarı ise 79 metre olarak hesaplanmıştır.

Ayrıca kurulum aşamasında kış mevsiminde görülen yağmur ve kar sularının santral sahası içerisindeki özellikle yer altı kablolarının zarar görmemesi için mutlaka sağlıklı bir drenaj çalışması yapılmalıdır. Aksi halde bu kadar yüksek maliyetli bir yatırım riske atılmış olur.

Bölüm 6'da fotovoltaik güneş enerjisi santrallerindeki bakım onarım faaliyetleri hakkında detaylı konulara değinilmiştir. Santralin 25 yıl ömrünün olduğu göz önünde bulundurulursa bakım onarım faaliyetlerinin periyodik olarak profesyonelce yapılması gerekmektedir. Bununla ilgili profesyonel bir bakım onarım firması ile bakım onarım konusunda sözleşme imzalanmalıdır. İmzalan bu sözleşmede tüm faaliyetler eksiksiz yazılmalıdır. Hem santralin normal seyrinde hem

de bakım onarım kapsamında mutlaka santralin sigortası yapılmalıdır. Bakım onarım faaliyetlerinin mutlaka düzenli bir şekilde tavsiye edilen 3'er aylık süreler halinden santral genelinde yapılması gerektiği açıklanmıştır. Özellikle kış aylarından sonra yağmur ve kardan dolayı kirlenmiş olan paneller mutlaka temizlenmelidir. Santralde büyük maliyet tutmayan ekipmanların yedeği mutlaka bulunmalıdır. Santralde her an için en az bir tane güvenlik görevlisi olmalıdır. Bunun yanı sıra muhtemel basit arızaların giderilmesi ve santralin genel gidişatını takip edebilecek bir adet teknik elemanın olması gerekmektedir. Santral 7 gün 24 saat güvenlik kameraları ile izlenmelidir. Santral içinde zamanla ortaya çıkması muhtemel ot çalı gibi bitki örtüsünün engellenmesi gerekmektedir. Çünkü özellikle yaz mevsiminde kuruyan bu otların küçük bir elektrik kaçağından dolayı yanma riski vardır. Bu da santralin güvenliğini tehlikeye sokar. Santral içindeki kablolardan yüksek voltaj ve akım geçtiği için bu kablolarda manyetik alan oluşmaktadır. Özellikle trafonun bakımı yapılmasında dikkat edilmesi gereken konuların başında gelmektedir. Çünkü manyetik alanın yarattığı itme veya çekmeden dolayı bakım onarım personelinin ciddi yaralanmasına hatta ölümüne neden olabilir. Ayrıca 1 MW fotovoltaik güneş enerji santralinin yaklaşık maliyetinin 900.000 \$ olduğu, santralin yıllık ortalama gelirinin 170.730\$ olduğu ve amortisman süresinin 5,27 yıl olduğu yapılan hesaplamalar sonucunda ortaya çıkmıştır.

Fotovoltaik santrallerin birçok avantajı vardır fakat en büyük avantajlarından bir tanesi CO<sub>2</sub> salınımını engellemektedir. Tez için tasarımı Pvsyst programında yapılan proje, aynı güçteki bir yer altı kaynağı ile çalışan santrale kıyasla, dünyayı 22.128,7 t CO<sub>2</sub> emisyonundan koruduğu yapılan hesaplamalar sonucu bulunmuştur.

Fotovoltaik güneş enerji santrallerinin tasarımı bakımı onarımı ve işletilmesi hakkında aşağıda sıralanan önerilerin dikkate alınması santralin enerji verimliliğini arttıracaktır. Santral için başvuru yapılmadan önce mutlaka santralin kurulacağı yer olarak düşünülen noktaya ait trafo gücü kapasitesinin olup olmadığı araştırılmalıdır. Santralin kurulacağı arazinin güneş enerji santrali için uygun olup olmadığı öğrenilmelidir. Çünkü tarım arazileri, özel korunan sit alanları gibi yerler için santral kurulum izni verilmez. Santral için kurulması düşünülen arazinin mutlaka zemin etüdünün yapılması gerekir. Santral için alınması düşünülen güneş panellerinin

verimi yüksek, kaliteli bileşenlerden meydana geldiği, güç üretim toleransı değerlerinde negatif değerlerin olmadığı, çalışma sıcaklığı aralığının geniş, sıcaklığa karşı dayanımı yüksek ve alındığı dönem itibarı ile ticari paneller içerisinde en fazla güç üreten panel tercih edilmelidir. Veriminin en az %98 mertebesinde olan inverterlerin seçilmesine dikkat edilmelidir. Eğer arazi engebeli ise seçilecek inverterin mppt sayısının yüksek olması arzu edilen bir durumdur. İnverterin çalışma voltaj aralığı geniş olmalıdır. Aksi halde invertere belli bir voltaj gelmeyene kadar sistemi devreye almayacaktır. Seçilen konstrüksiyonun mukavemetinin ve korozyona karşı direncinin yüksek olması gerekir. Çünkü bu sistemler atmosfere açık olan yerlerde kurulur. Ayrıca yapı sisteminin paneller dışında kar, rüzgâr fırtına deprem gibi dış etkilere maruz kalacağı göz önünde bulundurulursa, yapı malzemesinin mukavemetinin ve korozyona karşı direncinin yüksek olması gerekir. Santralin projelendirilme ve kurulum aşamasında mümkün olduğunca uzun mesafeli kablolar çekilmesinden kaçınılmalıdır. Çünkü uzun kablo mesafeleri hem enerji kaybına hem de kurulum maliyetin yüksek olmasına neden olur. Fotovoltaik güneş enerji santrallerinin maliyeti yüksek sistemler olduğu santralin topraklanması ve yıldırımdan korunması gerekir. Bunun için uygun yerlere sigortalar ve parafudrlar konulmalıdır. Santraldeki tüm ekipmanların topraklanması santralin sağlığı açısından önemlidir. Santralin devreye alınmadan hemen önce kurulan tüm sistemler ilgili her türlü kontrolün yapılması gerekir. Güneş panellerinin mutlaka kızıl ötesi termal kamera veya elektrolüminans cihazı yardımıyla panellerdeki fabrikasyon ya da montajdan kaynaklanan muhtemel çatlak, mikro çatlak, bozuk hücreler ve sıcak nokta gibi kusurların tespiti yapıp hemen yenisi ile değiştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca elektronik cihazlarının fabrikasyon ya da montajı esnasında zarar görmüş olma ihtimallerine karşı gerekli kontroller yapılmalıdır. Santralin işletilmesine scada, kamera sistemi aydınlatma sistemi güvenlik görevlisi (her bir vardiya için en az bir adet) bir muhasebe personeli ve bir de teknik personelin olması gerekir. Bunun yanında yangın, yıldırım ya da herhangi oluşabilecek yüksek riskli durumlar karşısında santralin sigortasının yapılması gerekir. Santralin belirli periyotlarda bakım onarımının yapılması gerekir. Santral sahasının zamanla yerden çıkabilen çalı

ot vs gibi bitkilerin sürekli temizlenmesi gerekir. Çünkü bu bitkilerin herhangi bir kontak durumunda tutuşma ihtimalleri yüksektir.

## KAYNAKLAR

- [1] «Enerji Portalı,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.enerjiportali.com/yenilenebilir-enerji-kaynaklari-nelerdir/>.
- [2] «<https://ei.cas.lehigh.edu/>,» 2007. [Çevrimiçi]. Available: <https://ei.lehigh.edu/learners/cc/readings/whatgreenhouse.pdf>. [Erişildi: 05 07 2019].
- [3] [Çevrimiçi]. Available: [http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/alternatif\\_enerji/alt\\_ener\\_kay\\_ders\\_notlari](http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/alternatif_enerji/alt_ener_kay_ders_notlari). [Erişildi: 11 12 2019].
- [4] «Country Rankings,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Country-Rankings>. [Erişildi: 02 05 2021].
- [5] [Çevrimiçi]. Available: [http://www.retscreen.net/download.php/ang/120/0/Textbook\\_SWH.pdf](http://www.retscreen.net/download.php/ang/120/0/Textbook_SWH.pdf). [Erişildi: 08 03 2019].
- [6] [Çevrimiçi]. Available: <http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/Güneş/güneşisil.html>. [Erişildi: 02 04 2020].
- [7] [Çevrimiçi]. Available: [http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/26398dca6f47b49\\_ek.pdf?dergi=](http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/26398dca6f47b49_ek.pdf?dergi=). [Erişildi: 03 01 2019].
- [8] «Solarbazaar,» [www.limitsizenerji.com](http://www.limitsizenerji.com), 16 02 2011. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.solar-bazaar.com/solar.asp?id=727>. [Erişildi: 31 05 2021].
- [9] [Çevrimiçi]. Available: [http://eng.harran.edu.tr/~hbulut/Tesisat\\_2007.pdf](http://eng.harran.edu.tr/~hbulut/Tesisat_2007.pdf). [Erişildi: 03 08 2019].
- [10] tesisat, «Tesisat org,» tesisat, 28 04 2016. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.tesisat.org/vakum-tuplu-gunes-enerjisi-kollektorleri.html>. [Erişildi: 31 05 2021].
- [11] [Çevrimiçi]. Available: <http://www.ktcmo.org/documents/solararchitecture.pdf>. [Erişildi: 04 04 2019].
- [12] [Çevrimiçi]. Available: [http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/gunesisil\\_files/image005.jpg](http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/gunesisil_files/image005.jpg). [Erişildi: 12 10 2019].



- [13] «Güneş enerji üzerine,» [Çevrimiçi]. Available: <http://gunesenerjisi.uzerine.com/index.jsp?objid=653>. [Erişildi: 01 05 2021].
- [14] E. Türkmen, M. Kurban ve Ü. Fillik, «Güneş bacaları ve Türkiye’de,» %1 içinde V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Diyarbakır, 2009.
- [15] A. Buğutekin, Y. İçel ve M. Mamiş, «Experimental Study of Temperature Field in a Solar Chimney Plant in Adıyaman,» J. of Thermal Science and Technology, cilt 2, no. 32, pp. 73-80, 2012.
- [16] S. E. T. Office, «NREL,» Energy.gov, [Çevrimiçi]. Available: <https://www.energy.gov/eere/solar/photovoltaics>. [Erişildi: 31 05 2021].
- [17] T. E. Energy, «The Electric Energy,» [Çevrimiçi]. Available: <https://theelectricenergy.com/connecting-solar-cells-into-an-array-or-panel/>. [Erişildi: 31 05 2021].
- [18] BP, «Renewable energy – BP Statistical Review of World Energy 2020,» www.bp.com, 2020.
- [19] D. D. M. Kayfeci. [Çevrimiçi]. Available: <https://muhammetkayfeci.com/wp-content/uploads/2020/04/Alternatif-Enerji-Ders-Notlar%C4%B1-2020.pdf>. [Erişildi: 11 6 2020].
- [20] H. H. Öztürk, «Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi ve Etkili Etmenler,» Elektrik Mühendisler Odası.
- [21] [Çevrimiçi]. Available: <https://www.solarpowerauthority.com/a-history-of-solar-cells/>. [Erişildi: 02 04 2020].
- [22] Wikipedia, «wikipedia,» [Çevrimiçi]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Growth\\_of\\_photovoltaics](https://en.wikipedia.org/wiki/Growth_of_photovoltaics). [Erişildi: 01 06 2021].
- [23] R. Satpathy ve V. Pamuru, «Grid-connected solar PV power systems,» %1 içinde Solar PV Power Design, Manufacturing and Applications from Sand to Systems, Academic Press, 2021, pp. 365-433.
- [24] «Teknoray solar Adıyaman Projesi,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.teknoraysolar.com.tr/tekno-ray-solar-adiyaman-projesi/>. [Erişildi: 05 06 2021].
- [25] «Gelişim Solar,» [Çevrimiçi]. Available: [https://www.gelisimsolar.com.tr/en/projelerimiz-40/gelisim\\_tekstil\\_adiyaman\\_cati\\_ges\\_projelendirme\\_danismanlik\\_ve\\_kurulum\\_hizmeti-362.html](https://www.gelisimsolar.com.tr/en/projelerimiz-40/gelisim_tekstil_adiyaman_cati_ges_projelendirme_danismanlik_ve_kurulum_hizmeti-362.html). [Erişildi: 02 06 2021].
- [26] «Enerjibes,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.enerjibes.com/bu-binanin-pencereleri-gunes-enerjisi-ile-elektrik-uretiyor/>. [Erişildi: 05 06 2021].

- [27] Ş. b. p. s. şeması. [Çevrimiçi]. Available: <https://muyendis.com/ev-icin-kac-adet-gunes-paneli-gerekiyor-off-grid-ornek-hesaplama/>. [Erişildi: 01 06 2021].
- [28] «Youtube/Çağrı Solar Enerji,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=BlcSyOmykd0>. [Erişildi: 05 06 2021].
- [29] «Fotovoltaik ev sistemi,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.ekonomiksolar.com/>. [Erişildi: 05 06 2021].
- [30] «Hibrit Sistemler,» [Çevrimiçi]. Available: <http://www.ksrenergy.com/>. [Erişildi: 01 06 2021].
- [31] E. Sağlam, Fotovoltaik Santrallerin Kurulum Aşamaları ve işletimdeki santrallerin gerçek üretim değerlerinin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması, İstanbul: Yüksek Lisans Tezi, 2018.
- [32] «Güneş paneli Yapımı-Yapısı,» Antalya Enerji, [Çevrimiçi]. Available: <https://www.antalyaenerji.com/gunes-paneli-nasil-yapilir/>. [Erişildi: 05 06 2021].
- [33] Fraunhofer Institute, «Fraunhofer Institute,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>. [Erişildi: 01 04 2020].
- [34] B. Barutçu, Fotovoltaik Güç Sistemleri” Ders Notları, İstanbul: İ.T.Ü. Enerji Enstitüsü,, 2015-2016 Bahar Yarıyılı.
- [35] W. J.F, «High-efficiency solar panel pricing fell 37 percent in 2017.,» [Çevrimiçi]. Available: <https://electrek.co/2018/02/21/high-efficiency-solar-panel-panels-fell-37-2017/>. [Erişildi: 15 08 2020].
- [36] «<https://en.wikipedia.org/>,» [Çevrimiçi]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_micro-inverter](https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_micro-inverter). [Erişildi: 19 01 2020].
- [37] [Çevrimiçi]. Available: <https://sites.google.com/a/khogachmen.net/w931/IP67-23-w-22-5-VDC-G-ne-Izgara-Krvat-Invert-r-Izgara-Mikro-Inverter-18-26-VAC-veya-8-1660974137>. [Erişildi: 01 01 2021].
- [38] E. SAĞLAM, fotovoltaik Santrallerin Kurulum Aşamaları ve işletimdeki santrallerin gerçekleşen üretim değerlerinin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması, İstanbul, 2018.
- [39] «solarfeed,» [Çevrimiçi]. Available: <https://solarfeeds.com/advantages-and-disadvantages-of-different-inverter-types/>. [Erişildi: 03 06 2020].

- [40] Yellowlite, «Solar 101: Bir Güneş Enerjisi Sisteminin Parçaları ve İşlevi,» 30 03 2021. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.yellowlite.com/blog/post/solar-101-parts-function-of-a-solar-energy-system/>. [Erişildi: 04 06 2021].
- [41] «Güneş Enerji Santrali Hikayesi: Alt Konstrüksiyon,» [Çevrimiçi]. Available: <https://vcantugakkas.wordpress.com/2017/08/13/gunes-enerji-santrali-hikayesi-alt-konstruksiyon/>. [Erişildi: 10 06 2021].
- [42] «www.google.com,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.google.com/search?q=arazi+tipi+ges+konstr.>
- [43] «,youtube,» [Çevrimiçi]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=IhDHmwVO\\_-Y](https://www.youtube.com/watch?v=IhDHmwVO_-Y) SARTA İNŞAAT TAAHHÜT ENERJİ SAN.TİC.A.Ş.. [Erişildi: 05 02 2021].
- [44] M. Kapusuz, «Arazide Kurulan Güneş Enerji Santrallerinde Drenaj,» [Çevrimiçi]. Available: <https://tr.linkedin.com/pulse/arazide-kurulan-g%C3%BCne%C5%9F-enerjisi-santrallerinde-drenaj-mehmet-kapusuz.> [Erişildi: 07 06 2021].
- [45] «Güneş Enerji Panel Sehpaları,» [Çevrimiçi]. Available: <https://apec.com.tr/portfolio/ges-tasiyici-sehpa-projeleri/>. [Erişildi: 07 06 2021].
- [46] «Güneş takip sistemleri,» Solar invento, [Çevrimiçi]. Available: <http://solar.inventoturkiye.com/portfolio/gunes-takip-sistemleri/>. [Erişildi: 10 06 2021].
- [47] «Solar Montaj .sistemleri,» Güneş Dükkan, [Çevrimiçi]. Available: <https://www.gunesdukkani.com/gunes-enerjisi-montaj-sistemi.> [Erişildi: 05 06 2021].
- [48] «Solar Kablo,» [Çevrimiçi]. Available: <https://solarevi.com/solar-kablo.> [Erişildi: 11 06 2021].
- [49] «Tellerin renk kodlanması: faz toprak sıfır,» [Çevrimiçi]. Available: <https://electriced.ru/tr/ground/color-coding-of-wires-phase-ground-zero/>. [Erişildi: 10 06 2021].
- [50] «Eva Elektromekanik,» [Çevrimiçi]. Available: <https://evaelektromekanik.com/solar-toplama-panolari/>. [Erişildi: 04 06 2021].
- [51] «Eva Elektromekanik,» [Çevrimiçi]. Available: <https://evaelektromekanik.com/ana-toplama-panolari/>. [Erişildi: 04 06 2021].
- [52] «Hensel,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.hensel-electric.eu/tr/produkte/index.php?IdTreeGroup=6903&IdProduct=13520.> [Erişildi: 04 06 2021].

- [53] «OEN Enerji Grup,» [Çevrimiçi]. Available: <http://oen.com.tr/tr/oen-taahhut/trafo-kosku>. [Erişildi: 01 06 2021].
- [54] «işletme sorumlusu,» [Çevrimiçi]. Available: <http://www.isletmesorumlusu.com/yagli-tip-trafolar/>. [Erişildi: 01 06 2021].
- [55] «Vekmar,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.vekmar.com.tr/kurutip-trafo/>. [Erişildi: 01 06 2021].
- [56] H. M. Otomasyon. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.hmi.com.tr/10-scada-sistemi-nedir-?-blog-detay>. [Erişildi: 15 01 2021].
- [57] «Timo Elektrik,» [Çevrimiçi]. Available: <http://timoelektrik.com/pvfuses/>. [Erişildi: 05 06 2021].
- [58] R. Güner, «Elektrikte İşçi Sağlığı ve Güvenliğinin Temel Unsuru:», Elektrik mühendisliği, no. 44, pp. 20-23, 2013.
- [59] «voltimum,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.voltimum.com.tr/haberler/elektromekanik-tip-kacak-akim-koruma>. [Erişildi: 02 05 2021].
- [60] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Parafudur ve Sigortalar, Ankara, 2011.
- [61] «Yilkomer,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.yilkomer.com/ag-parafudr/>. [Erişildi: 01 06 2021].
- [62] D. Deb ve N. L. Brahmhatt, «Review of yield increase of solar panels through soiling prevention, and a proposed water-free automated cleaning solution,» Renewable and Sustainable Energy Reviews, pp. 3306-3313, 2018.
- [63] K. A. Moharram, M. S. Abd-Elhady, H. A. Kandil ve H. El-Sherif, «Influence of cleaning using water and surfactants on the performance of photovoltaic panels,» Energy Conversion and Management, no. 68, pp. 268-272, 2013.
- [64] M. S. Abd-Elhady, Z. Serag, ve H. A. Kandil, «An innovative solution to the overheating problem of PV panels,» Energy conversion and management, no. 157, pp. 452-459, 2018.
- [65] Z. A. Jaffery, K. D. Ashwani ve H. Ahteshamul, «Scheme for predictive fault diagnosis in photovoltaic modules using thermal imaging,» Infrared Physics & Technology, no. 83, pp. 182-187, 2013.
- [66] E. Yu-Ta Chen, L. Ma, Y. Yue, B. Guo ve H. Liang, «Measurement of dust sweeping force for cleaning solar panels,» Solar Energy Materials and Solar Cells, no. 179, pp. 247-253, 2018.
- [67] A. Syafiq, . A. K. Pandey, N. N. Adzman ve N. A. Rahim , «Advances in approaches and methods

- for self-cleaning of solar photovoltaic panels,» *Solar Energy*, no. 162, pp. 597-619, 2018.
- [68] H. Xiong , C. Gan , X. Yang , Z. Hu, . H. Niu , J. Li , . J. Si , P. Xing ve X. Luo, «Corrosion behavior of crystalline silicon solar cells,» *Microelectronics Reliability*, no. 70, pp. 49-58, 2017.
- [69] B. Nehme, N. K. Msirdi, A. Namaane ve T. Akiki, «Analysis and Characterization of Faults in PV Panels,» *Energy Procedia*, no. 111, pp. 1020-1029, 2017.
- [70] E. Andenæs, B. P. Jelle, K. Ramlo, T. Kolås, J. Selj ve S. E. Foss, «The influence of snow and ice coverage on the energy generation from photovoltaic solar cells,» *Solar Energy*, no. 159, pp. 318-328, 2019.
- [71] M. E. Meral ve F. Dinçer, «A review of the factors affecting operation and efficiency of photovoltaic based electricity generation systems,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, no. 15, pp. 2176-2184, 2011.
- [72] M. M. Fouad, L. A. Shihata ve E. I. Morgan, «An integrated review of factors influencing the performance of photovoltaic panels,» *An integrated review of factors influencing the performance of photovoltaic panels*, no. 80, pp. 1499-1511, 2017.
- [73] X. Gu, Z. Liu, Y. Qiu, C. Cao ve M. T. Lim, «An Effective Method On Evaluating Photovoltaic Module Snail Trail,» *Energy Procedia*, no. 150, pp. 58-65, 2018.
- [74] A. A. Shehri, B. Parrott, P. Carrasco, H. A. Saiari ve I. Taie, «Accelerated testbed for studying the wear, optical and electrical characteristics of dry cleaned PV solar panels,» *Solar Energy*, no. 146, pp. 8-19, 2017.
- [75] Y. Jiang, L. Lu ve H. Lu, «A novel model to estimate the cleaning frequency for dirty solar photovoltaic (PV) modules in desert environment,» *Solar Energy*, no. 140, pp. 236-240, 2016.
- [76] M. E. Ya'acob, H. Hizam, T. Khatib, M. Amran ve M. Radzi, «A comparative study of three types of grid connected photovoltaic systems based on actual performance,» *Energy Conversion and Management*, no. 78, pp. 8-13, 2014.
- [77] M. M. Aman, K. h. Solangi, M. S. Hossain, A. Badarudin, G. B. Jasmon, H. Mokhlis ve S. N. Kazi, «A review of Safety, Health and Environmental (SHE) issues of solar energy system,» no. 41, pp. 1190-1204, 2015.
- [78] S. Edalati, M. Ameri ve M. Iranmanesh, «Comparative performance investigation of mono- and poly-crystalline silicon photovoltaic modules for use in grid-connected photovoltaic systems in dry

- climates,» *Applied Energy*, no. 160, pp. 255-265, 2015.
- [79] K. Zeb, W. Uddin, M. A. Khan, Z. Ali, M. U. Ali, N. Christofides ve H. J. Kim, «A comprehensive review on inverter topologies and control strategies for grid connected photovoltaic system,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, no. 94, pp. 1120-1141, 2018.
- [80] J. Cano, J. J. John, S. Tatapudi ve G. TamizhMani, «Effect of tilt angle on soiling of photovoltaic modules,» %1 içinde IEEE 40th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), Denver, CO, USA, 2014.
- [81] M. Köntges, I. Kunze, S. Kajari-Schröder, X. Breitenmoser ve B. Bjørneklett, «The risk of power loss in crystalline silicon based photovoltaic modules due to micro-cracks,» *Solar Energy Materials and Solar Cells*, cilt 4, no. 95, pp. 1131-1137, 2011.
- [82] K. A. Moharram, M. S. Abd-Elhady, H. A. Kandil ve H. El-Sheriff, «Influence of cleaning using water and surfactants on the performance of photovoltaic panels,» *Energy Conversion and Management*, no. 68, pp. 266-272, 2013.
- [83] L. Hernández-Callejo, S. Gallardo-Saavedra ve V. Alonso-Gómez, «A review of photovoltaic systems: Design, operation and maintenance,» *Solar Energy*, no. 188, pp. 426-440, 2019.
- [84] N. Kumar, M. Subathra ve J. Moses, «On-Grid Solar Photovoltaic System: Components, Design Considerations, and Case Study,» %1 içinde 2018 4th International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES), 1018.
- [85] O. Yolcan ve R. Köse, «Türkiye' Nin Güneş Enerjisi Durumu Ve Güneş Enerjisi Santrali Kurulumunda Önemli Parametreler,» *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, cilt 6, no. 22, pp. 196-215, 2021.
- [86] A. Verma ve S. Inghal, «Solar PV Performance Parameter and Recommendation for Optimization of,» *Journal Energy Power Sources*, cilt 2, no. 1, pp. 40-53, 2015.
- [87] A. Cabrera-Tobar, E. Bullich-Massagué, M. Aragüés-Peñalba ve O. Gomis-Bellmunt, «Topologies for large scale photovoltaic power plants,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, no. 59, pp. 309-319, 2016.
- [88] A. Verma ve S. Singhal, «Solar PV Performance Parameter and Recommendation,» *Journal of Energy*, cilt 2, no. 1, pp. 40-53, 2015.
- [89] S. N. Kamenopoulos ve T. Tsoutsos, «Assessment of the safe operation and maintenance of

- photovoltaic systems,» *Energy*, no. 93, pp. 1633-1638, 2015.
- [90] L. B. Bosman, W. Leon-Salas, W. Hutzler ve E. A. Soto, «PV System Predictive Maintenance: Challenges, Current Approaches, and Opportunities,» *Energies*, cilt 13, no. 6, p. <https://doi.org/10.3390/en13061398>, 2020.
- [91] A. P. Gonzalo, A. P. Marugan ve F. P. G. Marquez, «Survey of maintenance management for photovoltaic power systems,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, no. 134, p. 110347, 2020.
- [92] J. A. Tsanakas, L. Ha ve C. Buerhop, «Faults and infrared thermographic diagnosis in operating c-Si photovoltaic modules: A review of research and future challenges,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, no. 62, pp. 695-709, 2016.
- [93] Gırı ve N. C. Gırı, «researchgate,» 06 2019. [Çevrimiçi]. Available: <file:///C:/Users/DELL/Desktop/MAKALELER/JETIR1906D02.pdf>. [Erişildi: 27 05 2021].
- [94] Ş. Yılmaz ve F. Dinçer, «Impact of inverter capacity on the performance in large-scale photovoltaic power plants – A case study for Gainesville, Florida,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, no. 79, pp. 15-23, 2017.
- [95] Ş. Yılmaz, H. R. Özçalık, S. Keşler, F. Dinçer ve B. Yelmen, «The analysis of different PV power systems for the determination of optimal PV panels and system installation—A case study in Kahramanmaraş, Turkey,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, no. 52, pp. 1015-1024, 2015.
- [96] T. F. Guerin, «Evaluating expected and comparing with observed risks on a large-scale solar photovoltaic construction project: A case for reducing the regulatory burden,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, no. 74, pp. 333-348, 2018.
- [97] M. Çubukçu ve A. Akanalçı, «Real-time inspection and determination methods of faults on photovoltaic power systems by thermal imaging in Turkey,» *Renewable Energy*, cilt 1, no. 147 , pp. 1231-1238, 2020.
- [98] M. Malvoni, A. Leggieri, G. Magiotta, P. Congedo ve M. De Giorgi, «Long term performance, losses and efficiency analysis of a 960 kWp photovoltaic system in the Mediterranean climate,» *Energy Conversion and Management*, no. 145, pp. 169-181, 2017.
- [99] A. P. Gonzalo, A. P. Marugan ve F. P. G. Marquez, «Survey of maintenance management for photovoltaic power systems,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, no. 134, p. 110347,

2020.

- [100] R. Kumar, A. Agrahari ve A. A. Sahoo, «Sustainable Approach to Installation of Solar Photovoltaic Power Plant,» %1 içinde 2020 International Conference on Renewable Energy Integration into Smart Grids: A Multidisciplinary Approach to Technology Modelling and Simulation (ICREISG), 2020.
- [101] Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği, Ankara: Resmi Gazete, 2013.
- [102] «Elektrik Piyasası Lisanssız Elektrik Üretim Listesi,» EPDK, [Çevrimiçi]. Available: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-92/elektriklisanssiz-uretim>. [Erişildi: 01 01 2021].
- [103] «Resmi Gazete,» 16 05 2019. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/05/20190521-3.pdf>. [Erişildi: 15 05 2021].
- [104] E. Ceylan, «Eceylan,» [Çevrimiçi]. Available: <http://makale.eceylan.com/1-mva-gunes-enerji-santrali-kurulum-asamalari/>. [Erişildi: 02 06 2021].
- [105] «Globalar Solar Atlas,» [Çevrimiçi]. Available: <https://globalsolaratlas.info/map?c>. [Erişildi: 28 01 2021].
- [106] «Müdürlüğü, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji İşleri Genel Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA),» [Çevrimiçi]. Available: <https://gepa.enerji.gov.tr/MYcalculator/>. [Erişildi: 28 01 2021].
- [107] International Finance Cooperation, «Site Selection,» %1 içinde Utility Scale Solar Photovoltaic Power Plants A Project's Developer's Guide, Washington. USA, 2015, pp. 58-64.
- [108] «Youtube,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=YFcLiSRzo2M>. [Erişildi: 01 01 2021].
- [109] «Enerji Nakil Hattı,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/enerji-nakil-hatlari-kuslar-icin-daha-guvenli-hale-getiriliyor/1273745>. [Erişildi: 09 06 2021].
- [110] E. Yılmaz, «Güneş Paneli (Solar Panel) Açısı Nasıl Hesaplanır?,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.aydinlatma.org/gunes-paneli-solar-panel-acisi-nasil-hesaplanir.html>. [Erişildi: 01 01 2021].
- [111] İstanbul Üniversitesi, [Çevrimiçi]. Available: [https://cdn-acikogretim.istanbul.edu.tr/auzefcontent/20\\_21\\_Guz/klimatoloji\\_atmosfer\\_ve\\_sicaklik/7/index.html](https://cdn-acikogretim.istanbul.edu.tr/auzefcontent/20_21_Guz/klimatoloji_atmosfer_ve_sicaklik/7/index.html). [Erişildi: 02 02 2021].



- [112] C. Solar, «Canadian Solar,» [Çevrimiçi]. Available:  
<https://www.csisolar.com/downloads?downid=17630>. [Erişildi: 03 03 2021].
- [113] T. R. Solar, «Tekno Ray Solar,» [Çevrimiçi]. Available:  
<https://www.youtube.com/watch?v=WvRNRWw78S4>. [Erişildi: 02 06 2021].
- [114] P. Solar, «Power solar,» [Çevrimiçi]. Available:  
<https://www.youtube.com/watch?v=WeKXyPBs3G8>. [Erişildi: 04 06 2021].
- [115] S. Huawei, «Solar Huawei,» Huawei Inc., [Çevrimiçi]. Available:  
<https://solar.huawei.com/en/download?p=%2F-%2Fmedia%2FSolar%2Fattachment%2Fpdf%2F%2Fdatasheet%2FSUN2000-60KTL-M0.pdf>.  
[Erişildi: 02 06 2021].
- [116] H. D. Insights, «Youtube,» [Çevrimiçi]. Available:  
<https://www.youtube.com/watch?v=nFYtWWK7JEE>. [Erişildi: 05 06 2021].
- [117] Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. Genel Müdürlüğü , «Elektrik Dağıtım Şebekeleri Enerji Kabloları Montaj uygulama Esasları,» Ankara, 2017.
- [118] MEGEP, «Güneş Panellerini İşletmeye Alma,» %1 içinde Yenilenebilir Enerji Teknolojileri, Ankara, 2015.
- [119] «www.olcuaraci.com,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.olcuaraci.com/vlf-test304.html>.  
[Erişildi: 10 01 2021].
- [120] K. Osmani, A. Haddad, T. Lemanond, B. Castainer ve M. Ramadan, «A review on maintenance strategies fo PV systems,» Science of The Total Environem, no. 746, 2020.
- [121] N. W. Alnaser, M. J. Al Othman, A. A. Dakhel, I. Batarseh, J. K. Lee, S. Najmaii, A. Alothman, H. Al Shawaikh ve W. E. Alnaser, «Comparison between performance of man made and naturally cleaned PV panels in a middle of a desert,» Renewable and Sustainable Energy Reviews, no. 82, pp. 1048-1055, 2018.
- [122] S. Masuda, K. Fujibayashi, K. Ishida ve H. Inaba, «Confinement and transportation of charged aerosol clouds via electric curtain,» Electrical engineering, pp. 43-52, 1972.
- [123] A. Mohamed ve A. Hasan, «Effect of Dust Accumulation on performance of photovoltaic solar modules in Shara environment,» Journal of Basic and Applied Scientific Research, pp. 11030-11036, 2012.

- [124] A. El-Nashar, «Effect of Dust Accumulation on The performance of Evacuated Tube Collectors,» Solar Energy, no. 53, pp. 105-115, 1994.
- [125] R. Tejwani ve C. Solanki, «360° sun tracking with automated cleaning system for solar PV modules,» %1 içinde 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2010.
- [126] M. K. Mazumder, R. Sharm, A. S. Biris, J. Zhang, C. Calle ve M. Zahn, «Self Cleaning transparent dust shields for protectingsolar panels and other devices,» Part Scientific Technologies , no. 25, pp. 5-20, 2007.
- [127] M. Mazumder, M. .. Horenstein, J. W. Stark, P. Girouard, R. Summer ve O. Sad, «Characterization of electrodynamic screen performancefor dust removal from solar panels solar hydrogen generators,» IEEE Transactions Industrial Applications, no. 49, pp. 1793-1800, 2013.
- [128] F. Ju ve X. Fu, «Research on impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance,» %1 içinde International Conference on Electrical and Control Enginnering (ICECE), Yichang, China, 2011.
- [129] I. Nayshevsky, Q. F. Xu ve A. M. Lyons, «Hydrophobic-hydrophilic surface exhibiting dropwise condensation for anti-soiling application,» %1 içinde IEEE 45th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC) , 2018.
- [130] B. Marion, R. Schaefer, H. Caine ve G. Sanchez, «Measured and modeled photovoltaic system energy loses from snow for Colerado and Wisconsin locations,» Solar Energy, no. 97, pp. 112-121, 2013.
- [131] R. Andrews, A. Pollard ve J. M. Pearce, «The effects of snowfall on solar photovoltaic performance,» Solar Energy, no. 92, pp. 84-97, 2013.
- [132] M. Ross, «Snow and Ice Accumulation on Photovotaic Arrays,» Golden Colerado United States: Energy Diversification Research Laboratory, CANMET, Natural Resources Canada, Canada, 1995.
- [133] P. Chaudhary ve M. Rizwan, «Voltage Regulation Mitigation Techniques in Distribution System with High PV Penetration: A Review,» Renew. Sust. Energ. Rev. , no. 82, pp. 3279-3287, 2018.
- [134] N. Takehra, N. Manabe ve C. Kaisha, «Photovoltaic Power Generating System,» 2000, pp. 210-258.
- [135] P. Garvison ve D. Warfield, Photovoltaic Module Mounting Unit and System, 2005.
- [136] R. Pawluk, Y. Chen ve Y. She, «Photovoltaic Electricity GenerationLloss Due to Snow- a Literature Review on Influnce Factors, Estimation and Mitigation,» Renew., Sust. Energ. Rev, no. 107, pp. 171-182, 2019.

- [137] P. Borrebeak, B. Jelle ve Z. Zhang, «Avoiding snow Ice Accretion on Building Integrated Photovoltaics- Challenges, Strategies, and opportunities,» Solar Energy Material and Solar Cells,, no. 206, pp. 7-8, 2020.
- [138] «Trafo Bakımı,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.topraklamaolcumu.net/trafo-bakimi/>. [Erişildi: 28 06 2021].
- [139] E. Erbayhkal, «Disaggregated energy consumption and economic growth: evidence from Turkey,» International Research Journal of finance and Economics, no. 20, pp. 1-8, 2008.
- [140] [Çevrimiçi]. Available: [http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/Güneş/Güneşkollektor\\_files/image005.jpg](http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/Güneş/Güneşkollektor_files/image005.jpg). [Erişildi: 02 05 2019].
- [141] [Çevrimiçi]. Available: [https://www.ctc-n.org/content-search?search\\_api\\_fulltext=the+solar+pv+fact+sheet](https://www.ctc-n.org/content-search?search_api_fulltext=the+solar+pv+fact+sheet). [Erişildi: 1 5 2020].
- [142] «Monocrystalline vs Polycrystalline Solar Panels,» [Çevrimiçi]. Available: <https://zonfos.com/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels/>. [Erişildi: 27 11 2020].
- [143] «U.S Department of Energy,» National Renewable Energy Laboratory, [Çevrimiçi]. Available: <https://www.nrel.gov/pv/>. [Erişildi: 5 12 2020].
- [144] H. M. Yanardağ, «DSpace Kurumsal Arşivi,» 30 06 2015. [Çevrimiçi]. Available: <https://polen.itu.edu.tr/xmlui/handle/11527/14255>. [Erişildi: 09 10 2020].
- [145] E. AKMAN, S. Akın, G. Karanfil ve Sönmezoğlu Savaş, «Organik Güneş Pilleri,» Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, cilt 14, no. 1, 2013.
- [146] A. M. Bagher, M. M. A. Vahid ve M. Mohsen, «Types of Solar Cells and Application,» American Journal of Optics and Photonics, cilt 3, no. 5, pp. 94-113, 2015.
- [147] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, «Güneş Enerjisi potansiye Atlası (GEPA),» [Çevrimiçi]. Available: <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/>. [Erişildi: 28 01 2021].
- [148] Positronic Solar, «Positronic Solar,» 02 08 2019. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.positronicsolar.com.au/2019/08/02/panels-shade-and-diodes/>. [Erişildi: 01 01 2021].
- [149] V. C. Akkaş, «vcantugakkas.wordpress,» [Çevrimiçi]. Available: <https://vcantugakkas.wordpress.com/2018/06/27/gunes-enerji-santrallerinde-uyari-etiketlemeleri/>. [Erişildi: 16 02 2021].

- [150] W. J. Jamil, H. Abdul Rahman, S. Shaari ve S. Zainal, «Performance degradation of photovoltaic power system: Review on mitigation methods,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, no. 67, pp. 876-891, 2017.
- [151] B. Parrott, P. C. Zanini, A. Shehri, K. Kotsovos ve I. Gereige, «Automated, robotic dr-cleaning of solar panels in Thuwal, Saudi arabia Using a silicone rubber brush,» *Solar Energy*, no. 171, pp. 526-533, 2018.
- [152] «Irena.org,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Country-Rankings>. [Erişildi: 20 04 2021].
- [153] a. vff, «solarbaba,» [Çevrimiçi]. Available: [www.solarbaba.com](http://www.solarbaba.com).
- [154] ddsads, «<https://twitter.com/TCEnerji/status/1286993677945110528?s=20>,» [Çevrimiçi]. Available: <https://twitter.com/TCEnerji/status/1286993677945110528?s=20>.
- [155] E. Kurban, «enerjiportali.com,» 27 07 2020. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.enerjiportali.com/yenilenebilir-enerjinin-2002-2020-yillarindaki-kurulu-gucu/>. [Erişildi: 15 05 2021].
- [156] TEİAŞ, «Türkiye elektrik Üretim-İletim 2019 Yılı İstatistikleri,» TEİAŞ, Ankara, 2021.
- [157] A. a. a. (. a. rölesi), «voltimum,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.voltimum.com.tr/haberler/elektromekanik-tip-kacak-akim-koruma>. [Erişildi: 01 06 2021].
- [158] «Hibrit Sistemler,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.powerenerji.com/hibrid-enerji-sistemleri-ruzgar-gunes-enerjisi-fiyatlari.html>. [Erişildi: 06 06 2021].

**KİŞİSEL BİLGİLER**

Adı Soyadı : CebraİL GÜNEŞ  
Doğum yeri : Adıyaman  
Doğum tarihi : 01.09.1985  
Medeni Hali : Evli  
Yabancı dil : İngilizce  
E-posta : cebrailgunes02@hotmail.com

**Eğitim Durumu**

Derece	Alan	Üniversite	Mezuniyet Yılı
<b>Lisans</b>	<b>Makine Mühendisliği</b>	<b>Çukurova Üniversitesi</b>	<b>2011</b>