



**GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNİN KURULUMU İÇİN
RİSK DEĞERLENDİRME REHBERİ**

ULVİHAN UĞUR DÜNDAR

AĞUSTOS 2016

**GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNİN KURULUMU İÇİN RİSK
DEĞERLENDİRME REHBERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇANKAYA ÜNİVERSİTESİ**

**HAZIRLAYAN
ULVİHAN UĞUR DÜNDAR**

İŞ SAĞLIĞI VE İŞ GÜVENLİĞİ ANABİLİM DALI

AĞUSTOS 2016

**Tezin Başlığı: Güneş Enerjisi Santrallerinin Kurulumu için Risk Değerlendirme
Rehberi**

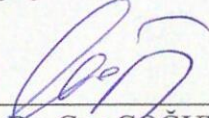
Hazırlayan **Ulvihan Uğur DÜNDAR**

Çankaya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı.



Prof. Dr. Halil Tanyer EYYUBOĞLU
Müdür

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum



Prof. Dr. Can ÇOĞUN
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumuzu ve bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyoruz.

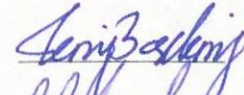


Y. Doç. Dr. Mustafa Alp ERTEM
Danışman

Tez Savunma Tarihi: 05.08.2016

Tez Jüri Üyeleri

Y. Doç. Dr. Hüsnü Deniz BAŞDEMİR (Çankaya Üni.)



Y. Doç. Dr. Mustafa Alp ERTEM (Çankaya Üni.)




Y. Doç. Dr. Gence GENÇ ÇELİK (Çankaya Üni.)



TEZDE İNTİHAL OLMADIĞINA DAİR BEYAN

Bu tezdeki bütün bilgilerin akademik kurallara ve etik davranış ilkelerine uygun olarak toplanıp sunulduğunu beyan ederim. Bu kural ve ilkelerin gereği olarak, çalışmada bana ait olmayan tüm veri, düşünce ve sonuçları alıntılıdığımı ve kaynağını gösterdiğimi ayrıca beyan ederim.

Ad, Soyad : Ulvihan Uğur DÜNDAR
İmza : 
Tarih : 05.08.2016

ABSTRACT

RISK ASSESMENT GUIDE FOR SOLAR POWER PLANT IMPEMANTATON

DÜNDAR, Ulvihan Uğur

M.Sc., Department of Occupational Health and Occupational Safety

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Mustafa Alp ERTEM

August 2016,98 pages

The number of solar power plant implemantations is increasing around the World and in Turkey thanks to the incentives on renewable energy resources. As of the date this thesis was prepared, there is no risk assessment guide in Turkey for solar power plant implemantations except for the legal framework and technical specifications. The objective of this thesis is to prepare a risk assessment guide for solar power plant implementations. The technical implementation pheses are explained. A novel risk assessment guide composed of a control list and risk table was prepared benetifing from international instutations and companies' risk assessment guides. The control list consists of 90 technical issues that might lead to a problem during implementation and operation. The risk table consists of 43 quantitative occupational healt and safety risk points that might harm the employess.

Keywords: Risk assessment guide, control list, risk assessment table, renewable energy

ÖZ

GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNİN KURULUMU İÇİN RİSK DEĞERLENDİRME REHBERİ

DÜNDAR, Ulvihan Uğur

Yüksek Lisans, İş Sağlığı ve İş Güvenliği Anabilim Dalı

Danışman: Y. Doç. Dr. Mustafa Alp ERTEM

Ağustos 2016, 98 sayfa

Yenilenebilir enerji kaynaklarının teşviki ile son yıllarda dünyada ve ülkemizde güneş enerji santrallerinin kurulumu artmıştır. Bu tezin hazırlandığı tarih itibariyle bu konuda ülkemizde ilgili yönetmelikler ve teknik şartnameler haricinde bu kurulumların İş Sağlığı ve İş Güvenliği bakımından kontrol edilmesi için risk değerlendirme rehberi bulunmamaktadır. Bu tezin amacı güneş enerjisi santralleri kurulumunda risk değerlendirmesi için bir rehber hazırlamaktır. Bu çalışmada kurulumun hangi teknik aşamalardan geçerek yapılacağı anlatılmış ve yurt dışındaki kurumların ve şirketlerin risk değerlendirme rehberlerinden faydalanarak kontrol listesi ve risk tablosu başlıkları altında özgün bir risk değerlendirme rehberi hazırlanmıştır. Kontrol listesi kurulum ve işletim sırasında sorun çıkarabilecek teknik bileşenlerin tespit edilmesi için oluşturulmuş 90 maddelik bir listedir. Risk tablosu ise İş Sağlığı ve İş Güvenliği bakımından santral çalışanlarına zarar verecek risklerle ilgili 43 maddede sayısal değerlendirmeleri içermektedir.

Anahtar Kelimeler: Risk değerlendirme rehberi, kontrol listesi, risk değerlendirme tablosu, yenilenebilir enerji

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması sırasında, zamanını ve emeğini esirgemeyen tez danıőmanım Yrd. Doç. Mustafa Alp Ertem hocama teőekkürlerimi sunarım. Ayrıca tez süresince manevi desteklerini esirgemeyen, gerektiğinde yardım eden aileme ve arkadaşlarıma, çalıőmakta olduğum GO Enerji A.Ő. 'ne ve ankaya Üniversitesi çalışanlarına teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEZDE İNTİHAL OLMADIĞINA DAİR BEYAN	iv
ABSTRACT.....	v
ÖZ	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1 Motivasyon.....	1
1.2 Dünya üzerindeki durumu	2
1.3 Türkiye üzerindeki durumu.....	4
1.4 Tezin kapsamı ve amacı	5
BÖLÜM 2	7
LİTERATÜR TARAMASI.....	7
2.1 Risk Değerlendirmesi nedir?.....	7
2.1.1 Risk Değerlendirme Metotları.....	10
2.1.1.1 Risk Değerlendirme Karar Matrisi	11
2.1.1.2 Fine – Kinney Metodu	13
2.1.1.3 Risk Puanlama Metodu.....	15
2.1.1.4 Ridley’in Metodu.....	16
2.1.1.5 Ön Tehlike Analizi (ÖTA).....	17
2.1.1.6 Tehlike ve İşlerlik Çalışmaları Metodu (HAZOP).....	19
2.1.1.7 Olursa ne olur? (What if ?).....	21
2.1.1.8 Hata Türü ve Etkileri Analizi Metodu(HTEA)	22
2.1.1.8.1 Hata Türü ve Etkileri Analizi Türleri	22

2.1.1.8.1.1 Sistem HTEA	23
2.1.1.8.1.2 Tasarım HTEA	23
2.1.1.8.1.3 Süreç HTEA	24
2.1.1.8.1.4 Servis HTEA	24
2.1.1.9 Hata Ağacı Metodu (HAM).....	28
2.2 Güneş Santrali Nedir?	30
2.2.1 Güneş Enerjisi Santralleri Çeşitleri ve Çalışma Prensipleri	31
2.2.1.1 Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralleri.....	31
2.2.1.2 Termal Güneş Enerjisi Santrali	33
2.2.1.3 Yoğunlaştırılmalı Güneş Enerjisi Santrali	34
2.2.2 Geoteknik ve Sismik Analiz.....	35
2.2.2.1 Geoteknik Analiz	35
2.2.2.2 Sismik Analiz	37
2.2.3 Güneş Panelleri ve Eviricilerin Seçimi.....	38
2.2.4 Trafo ve Beton Köşk kurulumu.....	44
2.2.5) Topraklama Tasarımı	45
2.2.5.1 Topraklayıcı Çeşitleri	46
2.2.5.1.1 Şerit Topraklayıcılar	46
2.2.5.1.2 Yıldız Topraklayıcılar	46
2.2.5.1.3 Halka Biçimindeki Topraklayıcılar	47
2.2.5.1.4 Gözlü Biçimindeki Topraklayıcılar	48
2.2.5.1.5 Çubuk Topraklayıcılar	49
2.2.5.1.6 Levha Topraklayıcılar	50
2.2.5.2 Özgül Toprak Direnci	52
2.2.5.3 Yayılma direnci	54
2.2.5.4 Güneş Santrallerinde Topraklama Sistemi	54
2.2.6) Yıldırımdan Koruma Sistemleri.....	57
2.2.7 Santral Kurulumu ve Kontrolü	65
2.2.7.1 Güneş Panellerinin Kurulması.....	65
2.2.7.2 Eviricilerin kurulumu	66
2.2.7.3 Beton Köşk ve Trafo kurulumu	66
2.2.7.4 Güneş Santralinin Devreye Alınması	67

BÖLÜM 3	69
RİSK DEĞERLENDİRME ANALİZİ	69
3.1 Risk Değerlendirme Analizi Nedir?	69
3.1.1 Güneş Santralleri Kurulumunda Risk Değerlendirme Analizi	69
3.1.2 İş Sağlığı ve İş Güvenliği Risklerinin Analizi	71
3.1.3 Güneş Enerji Santrallerinde İSG Kontrol Listeleri ve Risk Değerlendirme Tabloları	74
3.1.3.1 İş Sağlığı ve Güvenliği Avrupa Ajansı (European Agency for Safety and Health at Work)	74
3.1.3.2 Underwriter Laboratories (UL) ve National Renewable Energy Laboratory (NREL)	76
3.1.3.3 International Electromechanical Commission (IEC)	83
3.1.3.4 Indicator Limited	85
3.1.3.5 First Solar	86
BÖLÜM 4	90
RİSK DEĞERLENDİRME REHBERİ	90
4.1 Risk Değerlendirme Rehberinin Hazırlanması	90
4.1.1 Kontrol Listesi	91
4.1.2 Risk Tablosu	94
4.1.3 Risk Değerlendirme Tablosu Uygulaması	95
BÖLÜM 5	97
SONUÇ	97
Kaynaklar	99
EKLER	A
Ek A	A
KONTROL LİSTESİ	A
EK B	A
RİSK TABLOSU	A
EK C	4
ÖZGEÇMİŞ	4

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1 Dünya Güneş Haritası [4]	2
Şekil 2 Türkiye Güneş Haritası [14]	4
Şekil 3 Risk Değerlendirme Aşamaları [24]	9
Şekil 4 Ön Tehlike Analizinin Çalışma Yöntemi [27,s117]	18
Şekil 5 HAZOP Tehlike Saptama Hipotezi [27, s140]	20
Şekil 6 HTEA Süreci [27, s166]	25
Şekil 7 Güneş Paneli Çalışması [38]	32
Şekil 8 Güneş Enerji Santrali [39]	32
Şekil 9 Termal Güneş Enerjisi Santrali [42]	34
Şekil 10 Yoğunlaştırılmalı Güneş Enerjisi Santrali [44]	35
Şekil 11 Geoteknik Analiz Aşamaları	36
Şekil 12 Sismik Analiz Aşamaları	38
Şekil 13 Güneş Panelleri Çeşitleri [46]	39
Şekil 14 Güneş Panelleri Dizilerinin Paralel Bağlanması [47]	39
Şekil 15 Şerit Topraklayıcı [50, s8]	46
Şekil 16 Yıldız Topraklayıcı [50, s9]	47
Şekil 17 Halka Topraklayıcı[50, s9]	47
Şekil 18 Gözlü Topraklayıcı [50, s10]	48
Şekil 19 Çubuk Topraklayıcılar[50,s10]	49
Şekil 20 Düşey Gömülen Topraklayıcı [51, s93]	50
Şekil 21 Kare Topraklayıcı [51, s94]	51
Şekil 22 Paneller, Eviriciler Arasındaki Topraklama Şekli [52]	55
Şekil 23 Koruma Alanı [53, s6]	58
Şekil 24 Yıldırım Koruma Sistemi Açıklığı, $k_c=1$ [53,s65]	61
Şekil 25 Yıldırım Koruma Sistemi Açıklığı, $k_c=0,66$ [53,s66]	62
Şekil 26 Yıldırım Koruma Açıklığı $k_c=0,44$ [53,s66)	62
Şekil 27 Tesis Alanı [53,s68]	64
Şekil 28 Kontrol Listesi ve Risk Tablosunun Bağlı Olduğu Aşamalar	91

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1 Yıllara Göre Güneş Enerjisi Yatırımları [10, s15].....	3
Tablo 2 Güneş Enerjisi Kurulu Güçleri [12, s15].....	3
Tablo 3 Türkiye’de Bölgelere Göre Ortalama Güneşlenme Süresi [15]	5
Tablo 4 6331 İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, TS 18001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemleri – Şartları Tanımları [22,23].....	9
Tablo 5 Olabilirlik Tablosu [26, s30].....	11
Tablo 6 Şiddet Tablosu [26, s30].....	11
Tablo 7 Risk Derecelendirme Matrisi [27,s131].....	12
Tablo 8 Olabilirlik Tablosu [26, s34].....	13
Tablo 9 Frekans Tablosu [26, s34].....	13
Tablo 10 Şiddet Tablosu [26, s34].....	14
Tablo 11 Risk Değeri Tablosu [26, s34].....	14
Tablo 12 Risk Puanlama Metodu Tablosu [29, s48].....	15
Tablo 13 Alınacak Önlemler Tablosu [29, s49].....	15
Tablo 14 Maksimum Kayıp Potansiyeli ve Olabilirlik Tablosu [30, s39].....	17
Tablo 15 Risk Değeri Tablosu [30, s39].....	17
Tablo 16 Anahtar kelimeler ve Anlamı [27,s139]	20
Tablo 17 HAZOP Sapma Matrisi [27, s144]	21
Tablo 18 Olursa ne olur? Metottdu Risk Değerlendirme Formu [27, s123].....	22
Tablo 19 Zararın Şiddeti Tablosu [27, s167]	26
Tablo 20 Zararın Oluşma Olabilirliği Tablosu [27, s168]	27
Tablo 21 Fark Edilebilirlik Tablosu [27, s168].....	27
Tablo 22 Hata Türleri ve Etkileri Analizi Risk Değerlendirme Formu [27, s169]	28
Tablo 23 Hata Ağacı Oluşturma Aşamaları Tablosu [27, s149].....	29
Tablo 24 Hata Ağacı Mettodu Aşamaları [27,148].....	30
Tablo 25 CSUN 265-60P Özellikleri [48]	40
Tablo 26 Sunny Tripower 25000TL Özellikleri [49].....	40
Tablo 27 Levha Topraklayıcının Özellikleri [50, s11]	52
Tablo 28 Özgül Toprak Direnci [50,s12].....	53
Tablo 29 Koruyucu Dalga Cihazları Özellikleri [52]	56
Tablo 30 Yakalama Uçları Koruma Seviyeleri [53, s6].....	58
Tablo 31 Levhaların Çeşitleri ve Kalınlıkları [53,s7]	58
Tablo 32 Yakalam Uçları Arasındaki Mesafeler [53, s8]	59

Tablo 33 Yıldırım Akımının Büyük Bölümünü Geçiren Kuşaklama İletkenlerinin Malzemesi ve En küçük Kesitleri [53, s12]	60
Tablo 34 Yıldırım Akımının Küçük Bölümünü Geçiren Kuşaklama İletkenlerinin Malzemesi ve En Küçük Kesitleri [53, s12]	60
Tablo 35 k_i katsayı değerleri [53, s13].....	61
Tablo 36 k_m katsayı değerleri [53, s13]	61
Tablo 37 Yıldırım Parametrelerine Göre Koruma Seviyeleri [53,s15].....	63
Tablo 38 Çevre Etkisi [51,s17]	64
Tablo 39 Güneş Enerjisi Santralleri Risk Değerlendirme Analizi	70
Tablo 40 Güneş Enerji Sektöründe Sağlık İş Kazaları ve Zararların Sağlık Bozulmasının Önlenmesi İçin Kontrol Listesi [55]	75
Tablo 41 Güneş Enerjisi Santrallerinde Kontrol Listesi [56]	77
Tablo 42 Risk Yönetimi Kontrol Listesi [57]	81
Tablo 43 Risk Analizi Kontrol Listesi [58,s38].....	84
Tablo 44 IEC Güneş Enerjisi Santralleri Kurulum Riskleri [59,s13]).....	85
Tablo 45 Risk Yönetimi Tablosu [60]	86
Tablo 46 Risk Değerlendirme Formu [62].....	87
Tablo 47 Risk Değerlendirme Formu Devamı	88
Tablo 48 Kurumların Risk Analizi Karşılaştırması	89
Tablo 49 Aşama-1 Kontrol Listesi Özeti	92
Tablo 50 Aşama-2 Kontrol Listesi Özeti	92
Tablo 51 Aşama-3 Kontrol Listesi Özeti	93
Tablo 52 Aşama-4 Kontrol Listesi Özeti	93
Tablo 53 Risk Tablosu Özeti	95
Tablo 54 Risk Değerlendirme Tablosu Uygulması.....	96

BÖLÜM 1

GİRİŞ

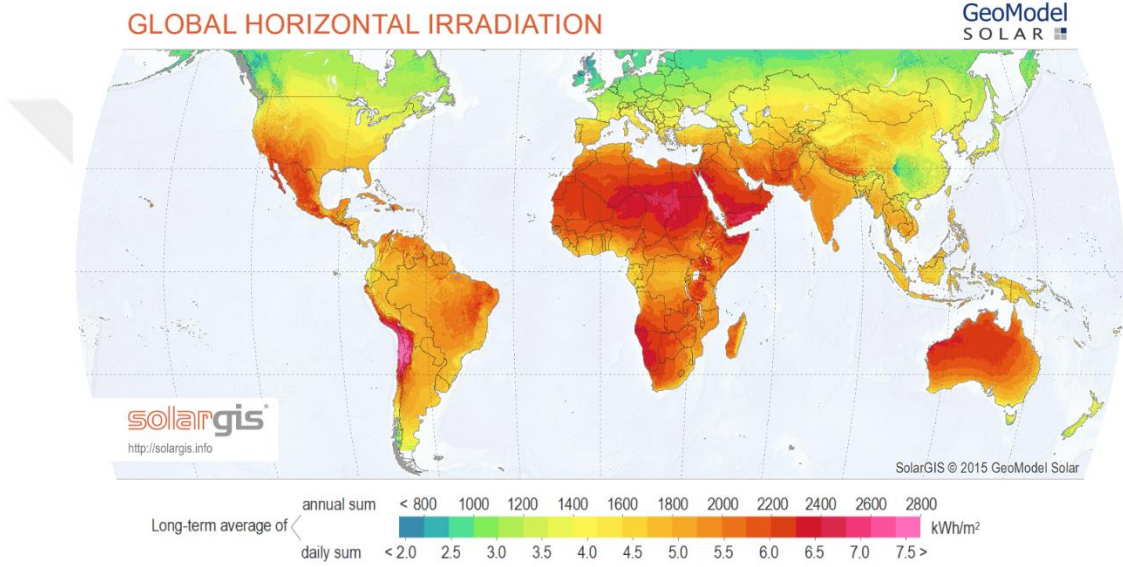
1.1 Motivasyon

Günümüzde gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin ihtiyaç duyduğu enerji her alanda giderek artmaktadır. Enerji üretim ve tüketim alışkanlıkları kalkınma ve gelişmişlik düzeyini belirleyen göstergelerden biridir. Enerji, kaynakları itibariyle yenilenebilir ve yenilenemez olarak ikiye ayrılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları hidrolik, hidrojen rüzgâr, güneş, jeotermal, biokütle, dalga olmaktadır. Yenilenebilir olmayan enerji kaynakları ise petrol, doğal gaz, kömür ve nükleer enerjidir. Bunlardan petrol, doğal gaz ve kömür %80'i aşkın payıyla en çok kullanılan enerji kaynaklarıdır[1]. Bu enerji kaynakları fosil bazlı olduğundan doğaya zararlıdır ve sürdürülebilir bir gelecek için doğaya daha az zararlı yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç vardır.

Yenilenebilir enerji son yıllarda öne çıkan konulardan biridir. Bunun sebebi fosil bazlı yakıtların kullanımıyla karbon salınımının artmasıdır. Karbon salınımının artmasındaki önemli faktörlerden biri olarak fosil bazlı yakıtların hemen her alanda kullanılmasıdır. Özellikle enerji üretimi için kullanılması karbon salınımının artmasına sebep olmaktadır. Bundan dolayı ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmişlerdir. Yenilenebilir enerji prensibi geleneksel enerji kaynakları yerine sürdürülebilirliği olan enerji kaynaklarıdır. [2] Yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneş enerjisi son yıllarda önem kazanmıştır.

1.2 Dünya üzerindeki durumu

Gelişen teknoloji ile dünya üzerindeki enerji üretimi için kullanılan kaynakların yeterli olmamasından dolayı yeni teknolojiler üzerinde çalışılmaya başlanmıştır. Bu çalışmalar arasında güneş enerjisi de vardır ve günden güne kullanımı artmaktadır. Dünya'ya düşen güneş enerjisi miktarı 1.37kW/m^2 'dir [3].

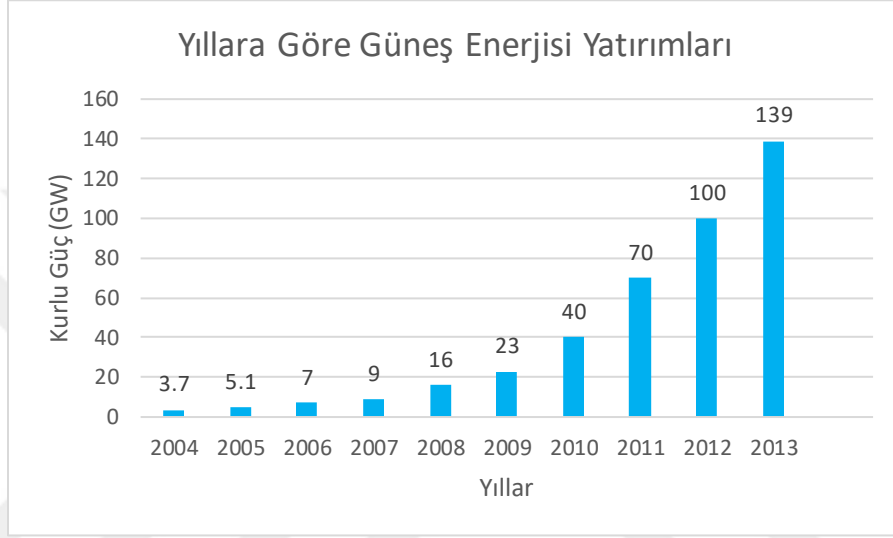


Şekil 1 Dünya Güneş Haritası [4]

Dünya üzerine düşen güneş enerjisi kullanılması için ülkeler yatırımlar yapılmaktadır. Örneğin, Almanya'nın 2014 yılına kadar kurulmuş olan güneş enerjisi santrali enerji kapasitesi 38 GW'dır[5]. Yapılan yatırımlar sayesinde Almanya'da güneş enerjisi santrallerinin kurulu kapasitesi 2025 yılında 56GW olacaktır. Bu sayede güneş enerjisinden elde edilen enerjinin toplam enerji tüketimi içindeki payı %40-45'lere ulaşacaktır[6]. Amerika'da milyarder Warren Buffet Kaliforniya'da dünyanın en büyük güneş enerjisi santrali kurulumu için yatırım yapmıştır. Buffet'in sahibi olduğu MidAmerican şirketi tarafından yapılan açıklamaya göre yatırım miktarının 2,5 milyar dolar olduğu söylenmiştir[7]. Amerika'da güneş enerjisi kullanımının payının 2030 yılına kadar %10 oranında artırmayı hedeflemektedir. 2010 ve 2013 yılları arasında %73 oranında güneş enerjisi kurulumu gerçekleşmiştir[8]. Diğer ülkelerden sadece 2014 yılı içerisinde Brezilya 7.6 milyar dolar, Hindistan 7.4 milyar dolar, Güney Afrika 5.5 milyar

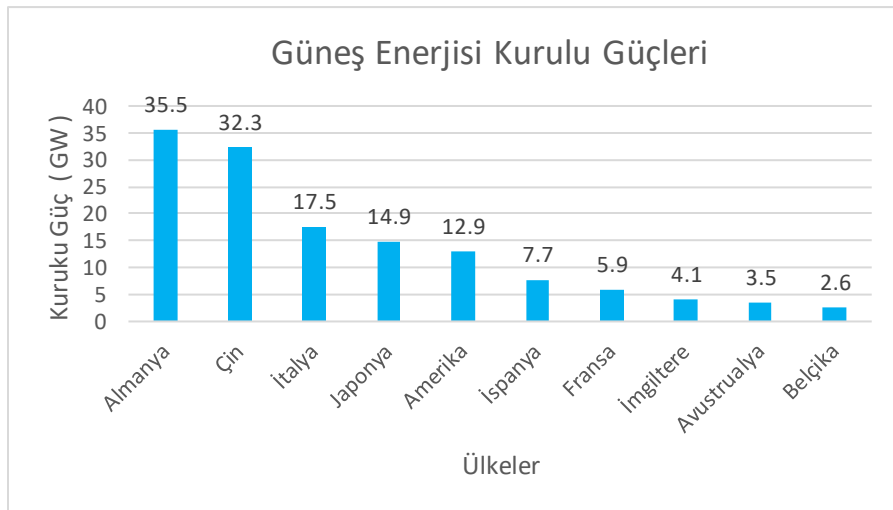
dolar güneş enerjisine yatırım yapmıştır[9]. Yayınlanmış olan raporların verilerine bakıldığı zaman 2004-2014 yılları arası dünya üzerindeki güneş enerjisi yatırımları Tablo-1’de görülmektedir.

Tablo 1 Yıllara Göre Güneş Enerjisi Yatırımları [10, s15]



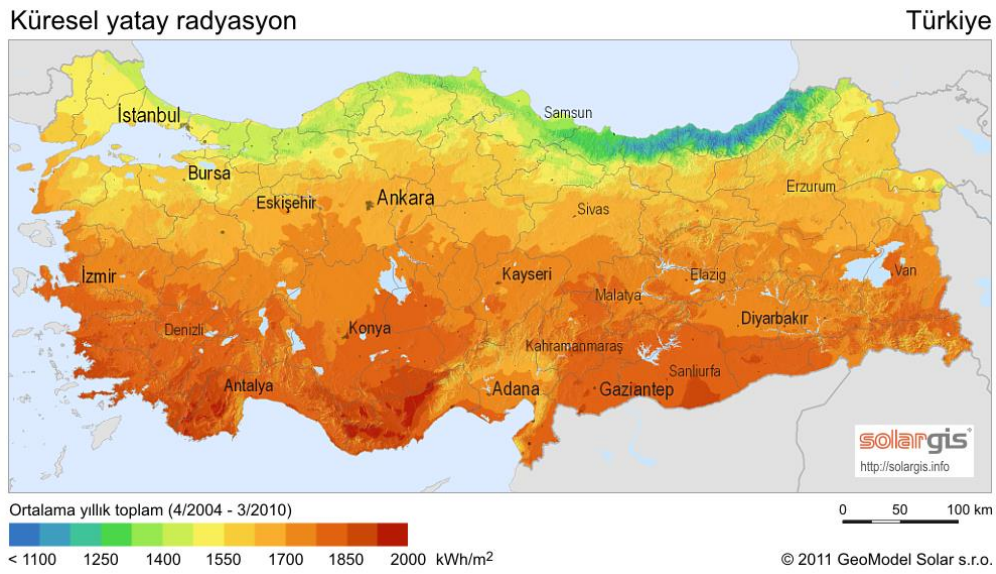
Tablo-1’de görüldüğü üzere yıllar içerisinde güneş enerjisi yatırımları artmaktadır. Artan yatırımlara bağlı olarak ülkelerdeki 2013 yılına kadar kurulmuş olan toplam güneş enerjisi kurulu güçleri Tablo-2’de görülmektedir[11].

Tablo 2 Güneş Enerjisi Kurulu Güçleri [12, s15]



1.3 Türkiye üzerindeki durumu

Ülkemizin Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü verilerine bakıldığında yıllık ortalama güneşlenme süresi 2640 saat olup, günlük 3.6 kWh/m^2 güneş miktarı düşmektedir[13]. Ülkemizin güneş haritasına bakıldığı zaman güneş santralleri kurulumu için uygun olduğu görülmektedir. Bu rakamlara evdeki elektrik tüketimiyle karşılaştırmalı bir örnek verecek olursak; A+ bir buzdolabı bir günde ortalama 1 kWh elektrik tüketir. Dolayısıyla Türkiye’de herhangi bir yerinde ortalama olarak 2 m^2 ’lik bir güneş paneli ile günlük ev tipi buzdolabının tükettiği enerji fazlasıyla karşılanabilir.



Şekil 2 Türkiye Güneş Haritası [14]

Ülkemize düşen güneş miktarına bakıldığı zaman, güneş santrali kurulumu için verimli güneş miktarının olduğu görülmektedir. Özellikle Antalya, Konya ve Adana çevresindeki güneş miktarı yıllık ortalama $1800-1900 \text{ kWh/m}^2$ olduğu görülmektedir. Türkiye’de hane başına düşen yıllık ortalama elektrik tüketimi 1528 kWh ’tir. Buradan da anlaşılacağı üzere aslında 20 m^2 ’lik bir güneş enerjisi paneli ile bir hanenin tüm ihtiyacı karşılanabilir.

Tablo 3 Türkiye’de Bölgelere Göre Ortalama Güneşlenme Süresi [15]

Bölge	Toplam güneş enerjisi (kWhm ² / yıl)	Güneşlenme süresi (Saat/yıl)
"G. Doğu Anadolu [15]"	"1460 [15]"	"2993 [15]"
"Akdeniz [15]"	"1390 [15]"	"2956 [15]"
"Doğu Anadolu [15]"	"1365 [15]"	"2664 [15]"
"İç Anadolu [15]"	"1314 [15]"	"2628 [15]"
"Ege [15]"	"1304 [15]"	"2738 [15]"
"Marmara [15]"	"1168 [15]"	"2409 [15]"
"Karadeniz [15]"	"1120 [15]"	"1971 [15]"

Tablo-3’de Türkiye’de bölgesel olarak ortalama güneşlenme süresi ve toplam güneş enerjisi verileri görülmektedir [16]. Bölgesel olarak yıllık Türkiye’nin toplam güneş enerjisi potansiyeli miktarı yüksek olmaktadır. Bu durumdan dolayı güneş santrali kurulumları ve yatırımları son yıllarda artmaktadır. Türkiye’de ilk olarak 1960 yılında güneş enerjisinin alternatif enerji olarak kullanılması gündeme gelmiştir. 1978 yılında Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü kurulmuştur. 1990 yılları sonuna doğru telekomünikasyon sistemler temel alınarak fotovoltaik güç üniteleri kurulmuş olup kurulu toplam gücün 50kW olmuştur[17]. Bu gelişmelere bakıldığında 90’lı yıllara kadar güneş enerjisi sektöründe gelişmeler olduğu görülmektedir. Güneş Enerjisi Santralinin kurulması için çıkan ilk yönetmelik “Güneş Enerjisine Dayalı Elektrik Üretim Tesisleri Hakkında Yönetmelik[18]” 19.08.2011 tarihinde yayınlanmıştır. Yönetmeliğin çıkmasıyla kurulu güç için ilk hedef olarak 600MW planlanmıştır. 30 Eylül 2015 yılında yayınlanan verilere göre Türkiye’deki tüm enerji çeşitleriyle toplam enerji kurulu gücü 74 664,53 MW’dır. Güneş enerjisi kurulu gücü 554,05 MW olup toplamdaki payı % 5.5 oranında bulunmaktadır[19].

Çukurova kalkınma ajansının verilerine dayanarak Dünya’da elektrik ihtiyacının ortalama %68’i fosil yakıtlarından karşılanırken Türkiye’de bu oran %86’dır. 2023 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarından oranın %30 olması hedeflenmektedir [20].

1.4 Tezin kapsamı ve amacı

Güneş enerjisi, ev tipi olmayan santrallerde farklı teknolojilerle enerji elde edilmektedir. Bu teknolojiler termal güneş enerjisi santralleri, fotovoltaik güneş enerjisi santralleri ve termal-fotovoltaik güneş enerjisi santralleri olarak sıralanmaktadır. Tezin kapsamında fotovoltaik güneş enerjisi santrallerinin kurulumu incelenmiştir, kurulum sırasında alınması

gereken iş güvenliği önlemleri ve sonuç olarak fotovoltaik güneş enerjisi santrallerinin kurulumu için risk değerlendirme rehberi oluşturulmuştur. Kurulum operasyonları için uluslararası kuruluşların ve Türk Standartları Enstitüsü'nün standartları, Enerji Bakanlığının yayınlamış olduğu yönetmelikler incelenecektir. Üzerinde çalışılan standartlar ve yönetmelikler sayesinde fotovoltaik güneş santrallerinin kurulum süreçleri, gerekli iş güvenliği önlemleri ve risk değerlendirme rehberi ortaya çıkarılmıştır.

Tezin amacı güneş enerjisi elektrik sistemleri ve fotovoltaik standartlar göz önünde bulundurularak, özgün bir risk değerlendirme rehberi hazırlamaktır. Risk değerlendirme metotları incelenerek, yapılacak hesaplara uyumlu ve anlaşılabilirliği kolay olan metot kullanılacaktır. Bu sayede az öncede belirtildiği gibi özgün Risk Değerlendirme Rehberi hazırlanacaktır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Risk Değerlendirmesi nedir?

İş sağlığı ve güvenliğinde risk değerlendirmesi hakkında ulusal ve uluslararası birçok kurumun çalışması bulunmaktadır. Uluslararası yapılan çalışmalarda İngiltere Standart Enstitüsü tarafından yayınlanmış olan “OHSAS 18001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemleri-Gereklilikleri (Occupational Health and Safety Management Systems-Requirements)[21]” öne çıkmaktadır. Ülkemizde incelediğimizde kanun ve Türk Standartları Enstitüsü standartları bulunmaktadır. Resmi Gazetede 20.06.2012 yılında yayınlanan 6331 sayılı kanun olan “İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu[22]” ve Türk Standartları Enstitüsü tarafından “TS18001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemleri Şartları[23]” standardı bulunmaktadır. Bu kanun ve standart dışında ülkemizde yönetmelikler bulunmaktadır. Bu yönetmelikler;

1. 05.02.2013 tarihli 28550 sayılı “Ulusal İş Sağlığı ve Güvenliği Konseyi Yönetmeliği[24]”
2. 24.12.2013 tarihli 28861 sayılı “İş Sağlığı ve Güvenliği Hizmetlerinin Desteklenmesi Hakkında Yönetmelik[25]”
3. 18.01.2013 tarihli 28532 sayılı “İş Sağlığı ve Güvenlik Kurulları Hakkında Yönetmelik[26]”
4. 29.12.2012 tarihli 28512 sayılı “İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği[27]”

Bahsedilen yönetmeliklerde işverenin ve çalışanın yükümlülükleri, risk değerlendirme hakkında tanımlar, güvenlik konseyi sorumlulukları hakkında bilgiler verilmiştir.

Risk değerlendirmesi yapılmasının amacı iş yerinde risklerden oluşabilecek tehlikelerin önceden belirlenmesi ve güncel yöntemler dâhilinde çalışmaların yapılmasıdır. Yapılan çalışmalar sayesinde riskler önceden belirlenerek zararlarının en az düzeye çekilmesi sağlanacaktır. Bu sayede çalışma ortamının ya da çalışan sistemin güvenilir olması sağlanarak zararların ortadan kaldırılması veya en aza indirgenmesi söz konusu olacaktır. Ayrıca risk değerlendirmesinde bahsedilen risklerden kimlerin sorumluluğu bulunacağı tayin edilmektedir. Sorumluluğu olan çalışanların hangi riskler ve tehlikelerle karşılaşacağı önceden belli olacağından alınan önlemler yetersiz kaldığı durumlarda sorumlu çalışanlardan geri dönüş alınarak güvenlik önlemlerinin artırılması mümkün olabilmektedir. Bu sebeplerden dolayı risk değerlendirme rehberinin önemi yüksektir.

Risk değerlendirmesi hakkında 6331 İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, TS18001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemleri – Şartlar standardında risk, kabul edilebilir risk, risk değerlendirmesi, tehlike, olay, önleme tanımları karşılıklı olarak Tablo-4’de verilmiştir. TS18001’de tanımlaması yapılmış olan kavramlardan bazılarının 6331 sayılı kanunda olmadığı görülmektedir.

Tablo 4 6331 İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, TS 18001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemleri – Şartları Tanımları [22,23]

Tanımlar	6331 İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu	TS 18001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemleri - Şartlar
Risk Nedir?	"Tehlikeden kaynaklanacak kayıp, yaralanmaya da başka zararlı sonuç meydana gelme ihtimalini [22]"	"Tehlikeli bir olayın veya maruz kalma durumunun meydana gelme olasılığı ile olay veya maruz kalma durumunun yol açabileceği yaralanma veya sağlık bozulmasının ciddiyet derecesinin birleşimi [23]"
Kabul Edilebilir Risk Nedir ?		"Kuruluşun, yasal zorunluluklara ve kendi İSG politikasına göre, tahammül edebileceği düzeye indirilmiş risk [23]"
Risk Değerlendirmesi Nedir ?	"İşyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikelerin riske dönüşmesine yol açan faktörler ile tehlikelerden kaynaklanan risklerin analiz edilerek derecelendirilmesi ve kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması amacıyla yapılması gerekli çalışmaları [22]"	"Tehlikelerden kaynaklanan riskin büyüklüğünü tahmin etmek ve mevcut kontrollerin yeterliliğini dikkate alarak riskin kabul edilebilir olup olmadığını karar vermek için kullanılan süreçler [23]"
Tehlike Nedir ?	"İşyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek, çalışanı veya işyerini etkileyebilecek zarar veya hasar verme potansiyelin [22]"	"İnsanların yaralanması veya sağlığının bozulması veya bunların birlikte gerçekleşmesine sebep olabilecek kaynak, durum veya işlem [23]"
Tehlike Tanımlanması Nedir ?	"İş sağlığı ve güvenliği açısından, yapılan işin özelliği, işin her safhasında kullanılan veya ortaya çıkan maddeler, iş ekipmanı, üretim yöntem ve şekilleri, çalışma ortam ve şartları ile ilgili diğer hususlar dikkate alınarak işyeri için belirlenen tehlike grubunu [22]"	"Bir tehlikenin varlığını tanıma ve özelliklerini tarif etme süreci [23]"
Olay Nedir ?		"Yaralanmaya veya (ciddiyet seviyesinden bağımsız olarak) sağlığın bozulmasına veya ölüme sebep olan veya sebep olacak potansiyele sahip olan, işle ilgili olaylar [23]"
Önleme Nedir?	"İşyerinde yürütülen işlerin bütün safhalarında iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili riskleri ortadan kaldırmak veya azaltmak için planlanan ve alınan tedbirlerin tümünü [22]"	"Potansiyel bir uygunsuzluğun veya başka bir istenmeyen durumun sebebinin ortadan kaldırılması için yapılan işlem [23]"



Şekil 3 Risk Değerlendirme Aşamaları [28]

Risk değerlendirmesi yapılırken iş ortamının incelenmesi yani bilgiler toplanması gerekmektedir. Bu bilgiler ışığında, çalışma ortamlarına göre çalışanlara görevlendirmeler verilmelidir. Görevlendirme verilen çalışanlar, çalışma ortamlarına göre tehlikeleri tespit etme ve belirlemekle sorumludurlar. Görevli olan çalışanlar dokümantasyon yapmaktadır. Tespit edilen tehlikeler ve riskleri belirlenip, risklerin oluşturabileceği zararlara karşı önlemler alınmalıdır. Alınan önlemlerin denetimleri ve gözlemleri yapılarak risk değerlendirme rehberi hazırlanmalıdır. Hazırlanmış olan raporların denetimleri yapılırken, çalışanlardan alınan bilgiler doğrultusunda risk değerlendirme rehberi güncellenmelidir.

2.1.1 Risk Değerlendirme Metotları

Risk değerlendirme çalışmaları iş yerinde çalışan bireylerin karşı karşıya kaldığı tüm risklerin tanımlanmasıdır. Risk değerlendirmesinin faydaları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Bireyleri çalışma ortamındaki riskler yüzünden oluşabilecek zararlardan korur.
- İş yerini kamudaki imajını ve itibarını korur.
- İş sürecindeki çalışma şekillerinin hazırlanmasını sağlar.
- İş sağlığı ve güvenliği bakımından iş yerinin yükümlülükleri azaltılır.

Risk değerlendirme çalışmaları içerisinde tüm risklerin analizi ve değerlendirmesi yapılarak çalışma ortamının güvenliği sağlanmalıdır. Bu tezde aşağıdaki risk değerlendirme metotları incelenecektir.

- Risk Değerlendirme Karar Matrisi Metodu
- Fine – Kinney Metodu
- Risk Puanlama Metodu
- Ridley'in Metodu
- Ön Tehlike Analizi (PHA)
- Tehlike ve İşlerlik Çalışmaları Metodu (HAZOP)
- Olursa ne olur? (What if ?)
- Hata Türü ve Etkileri Analizi Metodu (HTEA)
- Hata Ağacı Metodu (FTA)

2.1.1.1 Risk Değerlendirme Karar Matrisi

Matris metodu risk değerlendirme rehberleri hazırlanırken sıklıkla kullanılan ve hesaplanması kolay bir metottur [29]. Matris metodu hesaplanırken olabilirlik ve şiddet parametreleri kullanılarak risk hesaplanır. Olabilirlik tehlikenin oluşma sıklığı ve şiddet riskin sonucunda oluşabilecek zarardır. Risk aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.

$$R = O \times \text{Ş} \text{ [29]} \text{ (Denkleml-1)}$$

Burada R = Risk, O = Olabilirlik, Ş = Şiddet

Çalışma ortamında riskin olabilirliğini belirlemek için olabilirlik tablosu kullanılır.

Tablo 5 Olabilirlik Tablosu [30, s30]

Olabilirlik (Nicel)	Olabilirlik (Nitel)	Derecelendirme
1	"Çok Küçük [30]"	"Yılda bir [30]"
2	"Küçük [30]"	"Üç ayda bir [30]"
3	"Orta Derece [30]"	"Ayda bir [30]"
4	"Yüksek [30]"	"Haftada bir [30]"
5	"Çok Yüksek [30]"	"Her gün [30]"

Çalışma ortamında riskin oluşturduğu tehlikenin şiddeti için aşağıdaki tablo kullanılır.

Tablo 6 Şiddet Tablosu [30, s30]

Olabilirlik (Nicel)	Olabilirlik (Nitel)	Derecelendirme
1	"Çok Hafif [30]"	"İş saati kaybı yok, ilkyardım gerektiren [30]"
2	"Hafif [30]"	"İş günü kaybı yok, İlk yardım gerektiren [30]"
3	"Orta Derece [30]"	"Hafif yaralanma, tedavi gerekir [30]"
4	"Ciddi [30]"	"Ölüm, Ciddi yaralanma, meslek hastalığı [30]"
5	"Çok Ciddi [30]"	"Birden çok ölüm, sürekli iş göremezlik [30]"

Matris metodunda riskler belirlenip risk değerlendirme matrisi hazırlanmaktadır. Risk değerlendirme matrisi içerisinde risklerin anlamsız, düşük, orta, yüksek ve tolere edilemez

şeklinde belirtilmektedir. Riskin anlamsız olması, oluşan riskin olabilirliği ve şiddetinin çok düşük seviyede olmasından dolayı önemsizliğini gösterir. Düşük seviyede riskin olması, olabilirlik ve şiddetin anlamsız riske göre biraz daha fazla olması durumudur. Bu durumda da risk kısmen göz ardı edilebilir. Orta seviyede risk ise olabilirliği ve şiddetin derecesinin anlamsız ve düşük dereceli riske göre yüksek olmasıdır. Bu durum ise riskin oluşma olabilirliğini düşürmek ya da şiddetini azaltmak amaçlı önlemler alınmalıdır. Yüksek ve tolere edilemez risk seviyelerinde, riskin düşürülmesi için kesinlikle iş sağlığı ve güvenliği önlemleri alınmalıdır. Tablo-7’de görüldüğü üzere olabilirlik ve şiddet derecelerine göre riskin seviyeleri belirlenmiştir.

Tablo 7 Risk Derecelendirme Matrisi [31,s131]

OLABİLİRLİK	ŞİDDET				
	1 (Çok Hafif)	2 (Hafif)	3 (Orta Derece)	4(Ciddi)	5 (Çok Ciddi)
1 (Çok Küçük)	Anlamsız 1	Düşük 2	Düşük 2	Düşük 2	Düşük 2
2 (Küçük)	Düşük 2	Düşük 4	Düşük 6	Orta 8	Orta 12
3 (Orta Derece)	Düşük 3	Düşük 6	Orta 9	Orta 12	Yüksek 15
4 (Yüksek)	Düşük 4	Orta 8	Orta 12	Yüksek 15	Yüksek 15
5 (Çok Yüksek)	Düşük 5	Orta 10	Yüksek 15	Yüksek 15	Tolere Edilemez 25

Matris metodu Denklem-1’e göre hesaplanarak Tablo-7’de görüldüğü üzere risk seviyeleri belirlenmiştir. Risk seviyesinin değerlerine dikkat edildiği zaman 1 değeri anlamsız olmaktadır. Tehlikenin olabilirliği ve vereceği zarar düşük olması ya da hiçbir etkisi olmamasıdır. 2 ve 6 arasındaki değerler düşük seviyede, olabilirlik ve şiddetin zararının düşük olmasıdır. 8 ve 12 arası değerler orta seviyede risk olmaktadır. Bu durumda iş sağlığı ve güvenliği bakımından önlemler alınmalıdır. 15 ve 25 arasındaki değerlerde yüksek ve tolere edilemez seviyede tanımlanmıştır. Bu seviyedeki risklerin çalışanlara ciddi zararlar vereceğinden dolayı iş sağlığı ve güvenliği bakımından önlemlerin alınması gereklidir. Alınan önlemlerin yeterli olmaması halinde güncellenerek yeniden önlemler alınması zorunludur. Alınan önlemlere rağmen olabilirliği ya da şiddet seviyesi düşürülemez durumunda ise iş sürecinin değiştirilmesi gerekmektedir. İş sürecinin

değiştirilmesi, değiştirilemiyorsa eğer bu çalışma ortamı yüksek risk seviyesinde diye çalışanları bilgilendirecek uyarı tabelaları olmak zorundadır.

2.1.1.2 Fine – Kinney Metodu

İş yerindeki oluşabilecek tehlikeleri önleme ve tehlikelerin kontrolü için G.F Kinney ve A.D. Wiruth tarafından 1976 yılında geliştirilen bir metottur. Bu metot anlaşılabilirliği kolay olması nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır [32]. Matematiksel değerlendirme yapılırken bu metotta tehlikenin olabilirliği, frekansı ve şiddeti kavramları dikkate alınır.

$$Risk\ Değeri = O \times F \times \text{Ş} \quad (\text{Denklemler-2})$$

O = Olabilirlik, F = Frekans, Ş = Şiddet

formülü ile hesaplanmaktadır. Olabilirlik, tehlikenin ortaya çıkma olabilirliğidir. Frekans, tehlikeye maruz kalma sıklığıdır. Şiddet, tehlikenin gerçekleşmesi durumunda ortaya çıkabilecek zarardır. Olabilirlik, frekans ve şiddet değerlerini gösteren tablolar aşağıda verilmiştir.

Tablo 8 Olabilirlik Tablosu [30, s34]

Olabilirlik (Nicel)	Derecelendirme
0.2	"Pratik Olarak İmkânsız [30]"
0.5	"Zayıf Olabilirlik [30]"
1	"Oldukça Düşük Olabilirlik [30]"
3	"Nadir fakat Olabilir [30]"
6	"Kuvvetle Olabilir [30]"
10	"Çok Kuvvetli Olabilir [30]"

Tablo 9 Frekans Tablosu [30, s34]

Frekans (Nicel)	Frekans (Nitel)	Derecelendirme
0.5	"Çok Nadir[30]"	"Yılda bir ya da daha az [30]"
1	"Oldukça Nadir [30]"	"Yılda bir ya da birkaç kez [30]"
2	"Nadir [30]"	"Ayda bir ya da birkaç kez [30]"
3	"Ara Sıra[30]"	"Haftada bir ya da birkaç kez [30]"
6	"Sıklıkla [30]"	"Günde bir ya da daha fazla [30]"

Tablo 10 Şiddet Tablosu [30, s34]

Şiddet (Nicel)	Şiddet (Nitel)	Derecelendirme
1	"Dikkate Alınmalı [30]"	"Zararsız veya önemsiz [30]"
3	"Önemli [3]"	"Düşük iş kaybı, küçük hasar, ilk yardım [30]"
7	"Ciddi [30]"	"Önemli Zarar, Dış tedavi, işgünü kaybı [30]"
15	"Çok Ciddi [30]"	"Sakatlık, uzuv kaybı, çevresel etki [30]"
40	"Çok Kötü [30]"	"Ölüm, Tam maluliyet, Ağır çevresel etkisi [30]"
100	"Felaket [30]"	"Birden çok ölüm, önemli çevre felaketi [30]"

Tablo-8,9,10'da görülen tablodaki değerler dikkate alınarak risk değerlendirme analizi Fine-Kinney metodu uygulanmaktadır. Fine-Kinney metodu için örnek vermemiz gerekirse, güneş santrallerinde güneş panelinin birey üzerine düşmesi sonucu oluşabilecek risk nasıl değerlendirilmelidir? Bu metotta göre güneş panelinin düşme olasılığını belirlediğimizde nadir fakat olabilir olup ve değeri 3'tür. Olayın tekrarlanma sıklığına yani frekansına bakıldığında Çok Nadir olup ve frekans değeri 0.5'dir. Bu olayın şiddetine baktığımız zaman Çok Ciddi olmakta ve değeri 15 olmaktadır. Bu olayın Risk Değeri Denklem-2'ye göre hesaplandığında;

$$Risk\ Değeri = 3 \times 0.5 \times 15 = 22.5$$

olmaktadır. Risk Değeri tablosuna bakıldığında 20 ile 70 aralığında olmakta ve karar olarak kesin risk olarak görülmektedir. Eylem olarak Tablo-11'de "Dikkatle izlenmeli ve yıllık eylem planına alınarak giderilmeli" uygulanmalıdır.

Tablo 11 Risk Değeri Tablosu [30, s34]

Risk Değeri	Karar	Eylem
20'den az	Kabul Edilebilir Risk	"Acil tedbir gerekemeyebilir [30]"
20 ile 70	Kesin Risk	"Eylem planına alınmalı [30]"
70 ile 200	Önemli Risk	"Dikkatle izlenmeli ve yıllık eylem planına alınarak giderilmeli [30]"
200 ile 400	Yüksek Risk	"Kısa vadeli eylem planına alınarak giderilmeli [30]"
400'den yüksek	Çok Yüksek Risk	"Çalışmaya ara verilerek derhal tedbir alınmalı [30]"

2.1.1.3 Risk Puanlama Metodu

Bu metotta risk değeri hesabı, tehlikelerden etkilenen kişi sayısı, yaralanmanın şiddeti ve riskin olabirliği ile çarpılarak bulunur.

$$\text{Risk Değeri} = \text{Kişi sayısı} \times \text{Şiddet} \times \text{Olabilirlik} \quad (\text{Denklem-3})$$

Risk puanlama metodu ve risk değeri hesabına göre alınacak önlemlerin tablosu aşağıda görülmektedir.

Tablo 12 Risk Puanlama Metodu Tablosu [33, s48]

Kişi Sayısı	Katsayı	Yaralanmanın Şiddeti	Katsayı	Olabilirlik	Katsayı
A – Kişi	1	Küçük (İlk Yardım)	1	Muhtemel olmayan	1
B – C Kişi	2	Küçük (Hastane)	2	Muhtemel	2
C – D Kişi	3	3 Gün Dinlenme	3	Olabilir	3
F + Kişi	4	Büyük	4	Mümkün	4
		Ölüm	5	Mutlak	5

Tablo 13 Alınacak Önlemler Tablosu [33, s49]

Puan	Öncelik	Alınması Gereken Önlemler
1 - 16	Düşük	"Düşük önceliğe rağmen, riskin derecesinin düşürülmesi gerekmektedir. Zaman, gayret ve maliyetler risk ile orantılı bir şekilde harcanmalıdır.[33]"
18 - 36	Orta	"Aksiyonlar kısa bir zaman içinde yerine getirilmelidir. Aksiyonun yerine getirilmesi için geçecek zaman içerisinde geçici tedbirlere ihtiyaç duyulabilecektir.[33]"
40 - 100	Yüksek	"Riskleri kontrol altına alacak aksiyonlar acil bir şekilde yerine getirilmelidir. İş, acil tedbirler alınıncaya kadar durdurulabilir.[33]"

Risk Puanlama metodu için örnek verdiğimizde, güneş santrallerinde güneş panelinin birey üzerine düşme sonucu oluşabilecek risk nasıl değerlendirilmelidir? Bu metoda göre güneş panelinin düşme olabirliğini belirlediğimizde Muhtemel olup ve değeri 2'dir. Olayın şiddetine bakıldığında Küçük (Hastane) ve katsayısı 2'dir. Kişi Sayısı B – C alındığında katsayısı 2'dir. Denklem-3'e göre Risk Değeri hesaplandığında;

$$\text{Risk Değeri} = 2 \times 2 \times 2 = 6$$

Olmaktadır. Hesaplanan Risk Değerine göre Alınacak Önlemler Tablosuna bakıldığında öncelik Düşük olmaktadır. Alınması gereken önlemler açıklamasında “Düşük önceliğe rağmen, riskin derecesinin düşürülmesi gerekmektedir. Zaman, gayret ve maliyetler risk ile orantılı bir şekilde harcanmalıdır.” denilmektedir.

2.1.1.4 Ridley’in Metodu

Bu yöntemde risk değeri hesaplanmasında, riskin büyüklüğü diğer bir tanımla maksimum potansiyel kayıp, ortaya çıkma olasılığı ve son olarak riskin sıklığı parametreleri ile bulunmaktadır. Önceden hazırlanmış olan maksimum kayıp potansiyeli ve ortaya çıkma olasılık tabloları sayesinde risk değeri hesaplanmaktadır[34]. Risk değeri aşağıdaki formülle;

$$\text{Risk Değeri} = (MKP + O) \times S \text{ (Denklem-4)}$$

MKP = Maksimum kayıp potansiyeli, O = Olabilirlik, S = Sıklık

bulunur. Tablo-14’de belirlenmiş olan maksimum kayıp potansiyeli ve olabilirlik değerleri bulunmaktadır. Maksimum kayıp potansiyeli 1 – 50 arasında değerler almakta ve kayıp durumunu gösterilmektedir. Kayıp durumları en yüksek çok ölüm en az çizik, sıyrık olarak belirlenmiştir. Olabilirlik 1 – 50 arasında değerler almaktadır. Olabilirlik durumları her an, 5 yıl veya daha fazla sürede bir tanımlanmıştır. Tablo-14’de risk değeri hesabına göre 1 – 100 arasında değerler alması durumunda faaliyet durumları gösterilmektedir. Faaliyet durumları oluşan risk için alınması gereken önlemlerin ne kadar sürede yapılması gerektiğini belirtmektedir.

Tablo 14 Maksimum Kayıp Potansiyeli ve Olabilirlik Tablosu [34, s39]

Maksimum Kayıp Potansiyeli		Olabilirlik	
"Çoklu Ölüm [34]"	50	"Her an [34]"	50
"Tekli Ölüm [34]"	45	"Saatte bir [34]"	35
"Sürekli Sakatlık [34]"	40	"Günde bir [34]"	25
"Gözün Kaybı [34]"	35	"Haftada bir [34]"	15
"Kol/Bacak Kaybı [34]"	30	"Ayda bir [34]"	10
"El/Ayak Kaybı [34]"	25	"Yılda bir [34]"	5
"Sağlıklı [34]"	20	"5 yıl veya daha fazla sürede bir [34]"	1
"Kırık [34]"	15		
"Derin Kesik [34]"	10		
"Hafif Yaralanma [34]"	5		
"Çizik, Sıyrık [34]"	1		

Tablo 15 Risk Değeri Tablosu [34, s39]

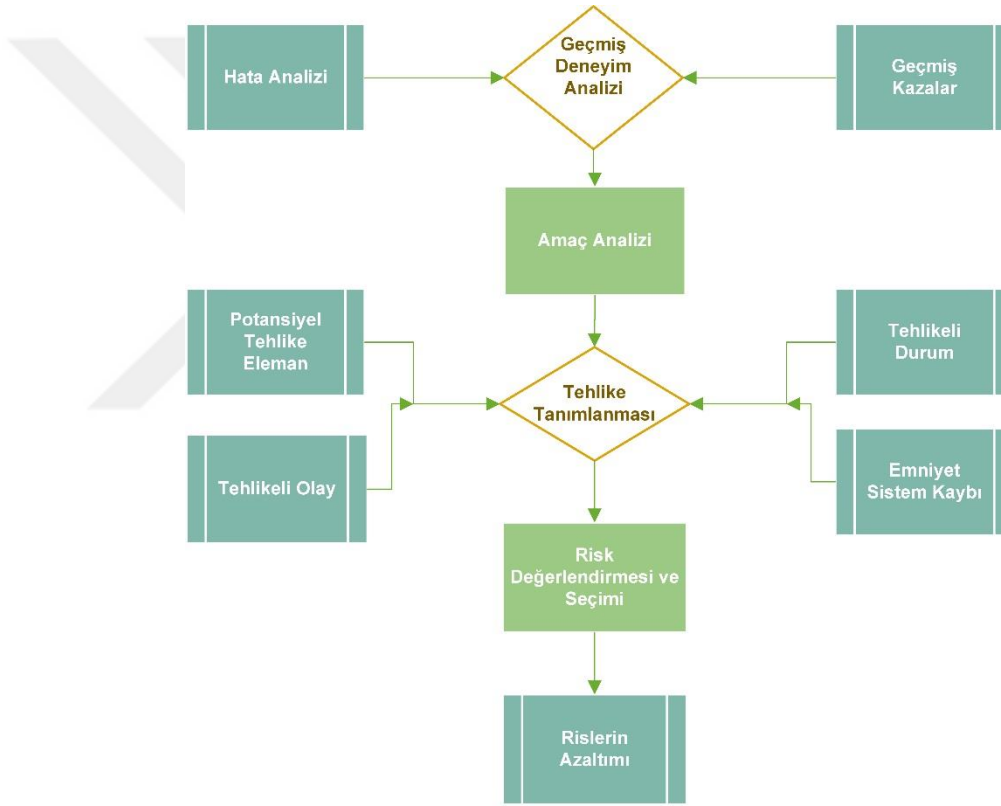
Risk Değeri	Faaliyetin Aciliyeti
"100'den çok [34]"	"Derhal [34]"
"80 - 100 [34]"	"Bugün [34]"
"60 - 79 [34]"	"2 gün içerisinde [34]"
"40 - 59 [34]"	"4 gün içerisinde [34]"
"20 - 39 [34]"	"1 hafta içerisinde [34]"
"10 - 19 [34]"	"81 ay içerisinde [34]"
"0 - 9 [34]"	"3 ay içerisinde [34]"

2.1.1.5 Ön Tehlike Analizi (ÖTA)

Ön tehlike analizi metodu risk değerlendirme ön çalışmaları sırasında tehlikeleri tanımlamak için çalışmaların diğer aşamalarında kullanılmak üzere yapılan güvenlik analizidir. Her bir tehlike olabilirliği ve tehlikenin ciddiyeti tahmin edilerek risk düzeyi belirlenir. Tanımlanmış olan risk düzeyinin tehlikesini ortadan kaldırmak veya tehlikeyi en aza indirilmesini hedefler. Belirlenmiş tehlikelerin erken önlemler alınması hakkında bilgiler sunmaktadır[35]. Ön tehlike analizi çalışması yapılırken;

- Zarara uğratacak tüm potansiyel tehlikelerin belirlenmesi
- Tanımlanan potansiyel tehlikelerin şiddetlerine göre sıralanması
- Alınması gereken tehlike önlemlerinin belirlenmesi ve takibi sağlanması

hususlarına dikkat edilmelidir. Ön tehlike analizinin kullanılmasının nedeni, bir risk değerlendirme çalışmasının başlangıç risk çalışması olması, mevcut çalışmalarda ayrıntılı bir risk analizinin bulunması ve basit bir çalışma olmasından dolayıdır [36]. Bu metod erken çalışmalarda uygulanmaktadır fakat tek başına yeterli bir metod değildir. Başlangıç bilgilerinin bulunması halinde yararlıdır. Ön tehlike analizi çalışma yöntem basamakları hata analizleri yapılarak, geçmiş kaza raporları incelenerek yöntemin geliştirilmesi sağlanabilir.



Şekil 4 Ön Tehlike Analizinin Çalışma Yöntemi [31,s117]

Şekil-4’de ön tehlike analizinin aşamaları gösterilmiştir. Şekil-4’e göre geçmiş kazalar ve hata analizi yapılarak geçmişte yapılmış olan hataların değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu değerlendirmeye göre güvenlik önlemlerinin analizi yapılmaktadır. Bir sonraki aşamada ise potansiyel tehlike eleman, tehlikeli olay, tehlikeli durum ve emniyet sistem kaybının analizi yapılmaktadır. Bu analizler sayesinde tehlikelerin tanımlanması yapılmaktadır. Bu süreç bittikten sonra risk değerlendirme yöntemleri ve alınacak

önlemlerin kararı verilmektedir. En son olarak alınan önlemlerin belirlenen risk değerleri ya da istenen düzeyde değilse risklerin kabul edilebilir risk seviyesine çekilmesi sağlanmaktadır.

2.1.1.6 Tehlike ve İşlerlik Çalışmaları Metodu (HAZOP)

Bu metot 1974 yılında ‘Imperial Chemical Industries’ Şirketi tarafından geliştirilmiştir. Kimya sektöründe çalışan şirketler için hazırlanmış olan bir metot olmaktadır. Riski bulunan tehlikeleri azaltmak için uzmanlar tarafından iş süreçleri, kritik sistemleri, bilgi ve deneyime dayanarak uygulanan bir tekniktir. Önemli işlem süreçleri ve kritik sistemlerde uygulanmaktadır. Risk bulunan tehlike olabilirliği olan sistemlerin sistematik bir biçimde incelenmesidir. Bu tehlikeleri önleme veya risk değerlendirme çalışmalarında takım olarak çalışılmaktadır. Çok disiplinli bir yöntem olduğundan takım çalışması gerektirir[37].

Bu metot uygulanırken takım ekibi içerisinde;

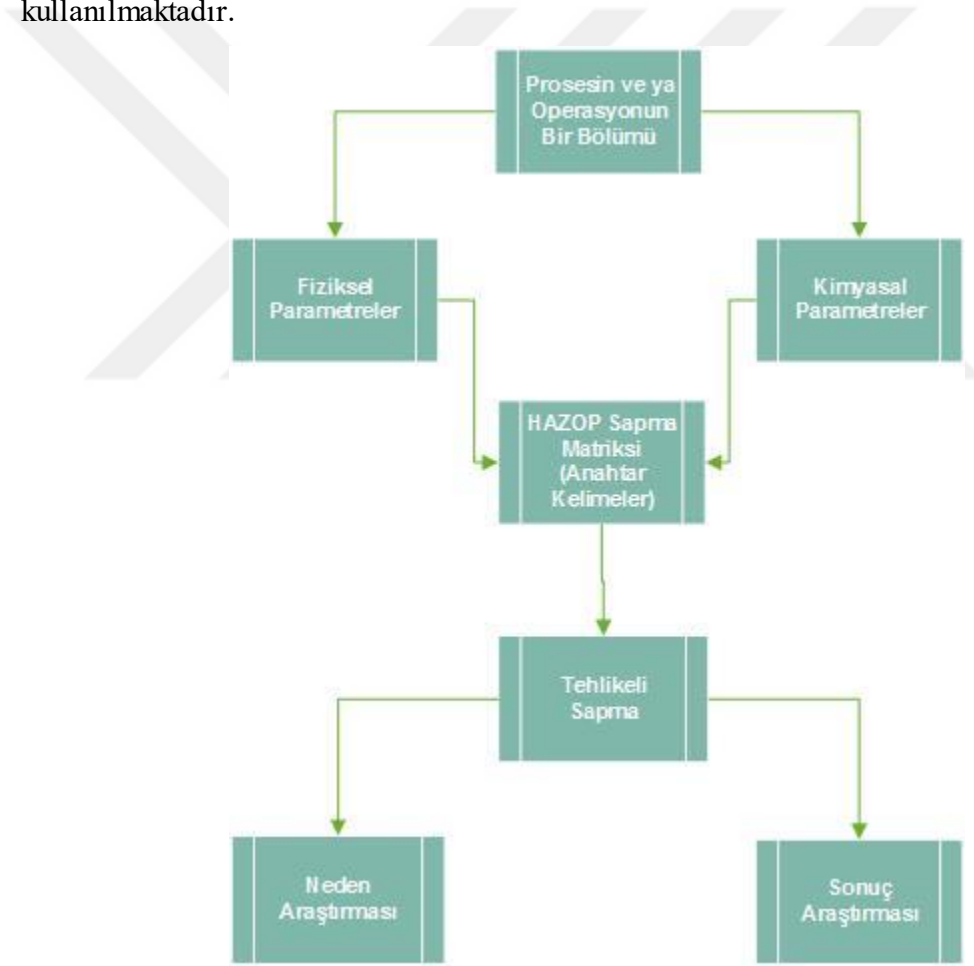
- Fabrikanın işveren vekili
- Fabrika Müdürü
- İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanı
- İşletme (Proses) Mühendisi
- Sistem ve Otomasyon Mühendisi
- Elektrik Mühendisi
- İnşaat Mühendisi (Gerekli ise)

bulunmalıdır. Tehlike ve işlerlik çalışmaları metodunda kullanılması gereken anahtar kelimeler Tablo-16’da gösterilmiştir.

Tablo 16 Anahtar kelimeler ve Anlamı [31,s139]

Anahtar Kelimeler	Anlamı
"Fazla (More) [31]"	"Nicel Çoğalma [31]"
"Az (Less) [31]"	"Nicel Azalma [31]"
"Hiç (None) [31]"	"Mevcut Değil [31]"
"Ters (Revence) [31]"	"Öngörülen Yönün Aksine [31]"
"Parçası (Part of) [31]"	"Sistemin Bir Bölümü Olması Gerekinden Farklı [31]"
"...kadar iyi (As well as) [31]"	"Aynı Derecede [31]"
"...dan başka (Other than) [31]"	"Tamamen Farklı [31]"

Tehlike ve işlerlik çalışmaları metottun da tehlikeyi saptama hipotezi olarak Şekil-5 kullanılmaktadır.



Şekil 5 HAZOP Tehlike Saptama Hipotezi [31, s140]

Bu hipoteze göre işlem sürecindeki bir sistemin kimyasal ve fiziksel parametreleri incelenmektedir. İncelemeler sonucunda HAZOP sapma matrisine göre anahtar kelimelere göre tehlikelerin belirlenmesi sağlanmaktadır. Belirlenen tehlikelerin neden olduğuna dair

araştırmalar yapılmaktadır. Aynı zamanda tehlikelerin sonuç araştırması yapılarak çalışma tamamlanmış olmaktadır.

Tablo 17 HAZOP Sapma Matrisi [31, s144]

Kılavuz Kelimeler							
	Fazla	Az	Hiç	Ters	ParasıKadar İyi	...Den Başka
Akış	Yüksek Akış	Düşük Akış	Akış Yok	Akış Yönü Ters			İçeriği Kaybetmek
Basınç	Yüksek Basınç	Düşük Basınç	Vakum		Kısmi Basınç		
Sıcaklık	Yüksek Sıcaklık	Düşük Sıcaklık			Kryogenik		
Seviye	Yüksek Seviye	Düşük Seviye	Seviye Yok				İçeriği Kaybetmek
Kompozisyon veya Durum	İlave Faz	Kayıp Faz		Durumun Değişmesi	Yanlış İçerik	Kirleten	Yanlış materyal
Reaksiyon	Yüksek Reaksiyon Oranı	Düşük Reaksiyon Oranı	Reaksiyon Yok	Ters Reaksiyon	Eksik Reaksiyon	Yan Etki	Yanlış Reaksiyon
Zaman	ok Uzun	ok Kısa					Yanlış Zaman
Sıra	Adım ok Geç	Adım ok Erken	Geriye Kalan Adım		Geriye Kalan Adımın Parçası	Ekstra Eylem Dahil Olması	Yanlış Eylem Almak

Tablo-17’de göre HAZOP sapma matrisi gösterilmektedir. Bu matrise göre yapılan risk değerlendirme çalışmaları hakkında detaylı bilgi vermektedir. Diğer parametreler olarak insan faktörü, ıs1 kapasitesi, statik elektrik vb. isteğe bağlı olarak kullanılır. Ayrıca risk değerlendirmesinin yapıldığı alana göre de sapma matrisi değişim gösterebilir.

2.1.1.7 Olursa ne olur? (What if ?)

Olursa ne olur? metodu risk olan tehlikelerden doğrudan etkiye sebep olan zararların analiz edilmesi yaklaşımıdır [38]. Bu yöntem risk değerlendirme aşamalarının her kademesinde gerçekleştirilebilir. Az tecrübeli risk analistleri tarafından kullanılmaktadır. Olabilir risk tehlikesi olan durumun, tehlikesini tarif etmek ve tehlikeli durumlara karşı tavsiyeleri değerlendirmek amacıyla izlenen yöntemdir. Tablo-18’deki gibi çevresel etkiler ve olabilir tehlikeleri göstermek için bu format kullanılır.

Tablo 18 Olursa ne olur? Metotdu Risk Değerlendirme Formu [31, s123]

Olursa ne olur?	Sonuç	Tavsiye	Sorumlu Personel	Alınan Eylemin Zamanı	Sonuç
1." ... Olursa ne olur?[31]"					
2." ... Olursa ne olur?[31]"					
3." ... Olursa ne olur?[31]"					

2.1.1.8 Hata Türü ve Etkileri Analizi Metodu(HTEA)

Hata türü ve etkileri analizi metodu ABD ordusu MIL-STD-1629 isimli askeri standardını ile 9 Kasım 1949 yılında kullanılmaya başlamıştır. Değerlendirme tekniği olarak kullanılan bu metot sistem ve donanım hatlarının çalışma durumlarının tanımlanmasıdır. Bu yöntemin uzay, kimya ve otomobil gibi sektörlerde kullanılmaktadır. Yöntemin bu sektörlerde tercih edilmesinin sebebi olarak kolay kullanıma sahip olması ve geniş teorik bilgi gereksinimidir. Genellikle sistem parçalarının ve ekipmanlar üzerine odaklanmaktadır. Sistemin tümü üzerinde fayda sağlayacak iyileştirmeler yapılır [30].

Bu yöntem analizinde aşağıdaki unsurlar belirlenmeye çalışılır:

- Kaza olma olasılığı
- Kazanın etkileri
- Kazanın nedenleri
- Kazanın nedenlerinin saptanabilirliği
- Kazanın önlemesi için alınan tedbirler

2.1.1.8.1 Hata Türü ve Etkileri Analizi Türleri

Hata türü ve etkileri analizi metodunun 4 türü bulunmaktadır. Bunlar sistem, tasarım, süreç ve servistir.

2.1.1.8.1.1 Sistem HTEA

Potansiyel hata çeşitlerini belirlemek amacıyla sistemin bütünü ve alt sistemleri analizi yapılmasıdır. Bu sayede sistemin amacı, kalitesi güvenilirliğini ve korunabilirliğini arttırmaktadır.

Sistem HTEA'nın faydaları aşağıdakiler gibidir:

- Sisteme etki eden potansiyel tehlikelerin bulunabileceği alanlar daralır.
- Uygulanması gereken süreçler için temel oluşturulmasına yardımcı olur.
- Sistem içerisindeki fazla olan parçaların tespit edilmesini sağlar.
- Uygulanabilir sistem tasarımının ve alternatiflerin seçimi sağlar.

2.1.1.8.1.2 Tasarım HTEA

Üretime başlamadan önce tasarım hatalarından kaynaklanan hata türlerinin analiz edilmesidir. Tasarım HTEA'nın hedefi tasarım kalitesi, güvenilirliği ve korunabilirliğini üst seviyede tutmaktır. Tasarım HTEA'nın faydaları aşağıdaki gibidir;

- Tasarım geliştirme süreci hakkında önceliklerin belirlenmesi
- Potansiyel hataların bu aşamada tanımlanması sağlanması
- Potansiyel tehlikelerin belirlenerek ortadan kaldırılmasına yardımcı olması ve değişiklikler için açıklamaların kayıt altında tutulmasını sağlaması
- Önemli ve kritik durumların tanımlanması

Tasarım HTEA'nın sonucunda;

- Risk öncelik sayısının listesinin hazır edilmesi
- Bu liste sayesinde güvenlik sorunlarını ve hataları azaltacak potansiyel tasarım faaliyetlerinin belirlenmesi

gerekmektedir.

2.1.1.8.1.3 Süreç HTEA

Süreç HTEA imalat ve montaj süreçlerini analiz etmektedir. Bu süreçte oluşabilecek potansiyel hata türlerini ortadan kaldırmak ve süreçlerin analiz edilmesi amacıyla hizmet etmektedir. Süreç HTEA'nın faydası üretim ve montaj süreçlerinin analizine yardımcı olması, düzeltici önlemlerin tanımlanması, önemli tespitlerin, kontrol planlaması yapılması ve süreç aşamasında hataların belirlenmesidir.

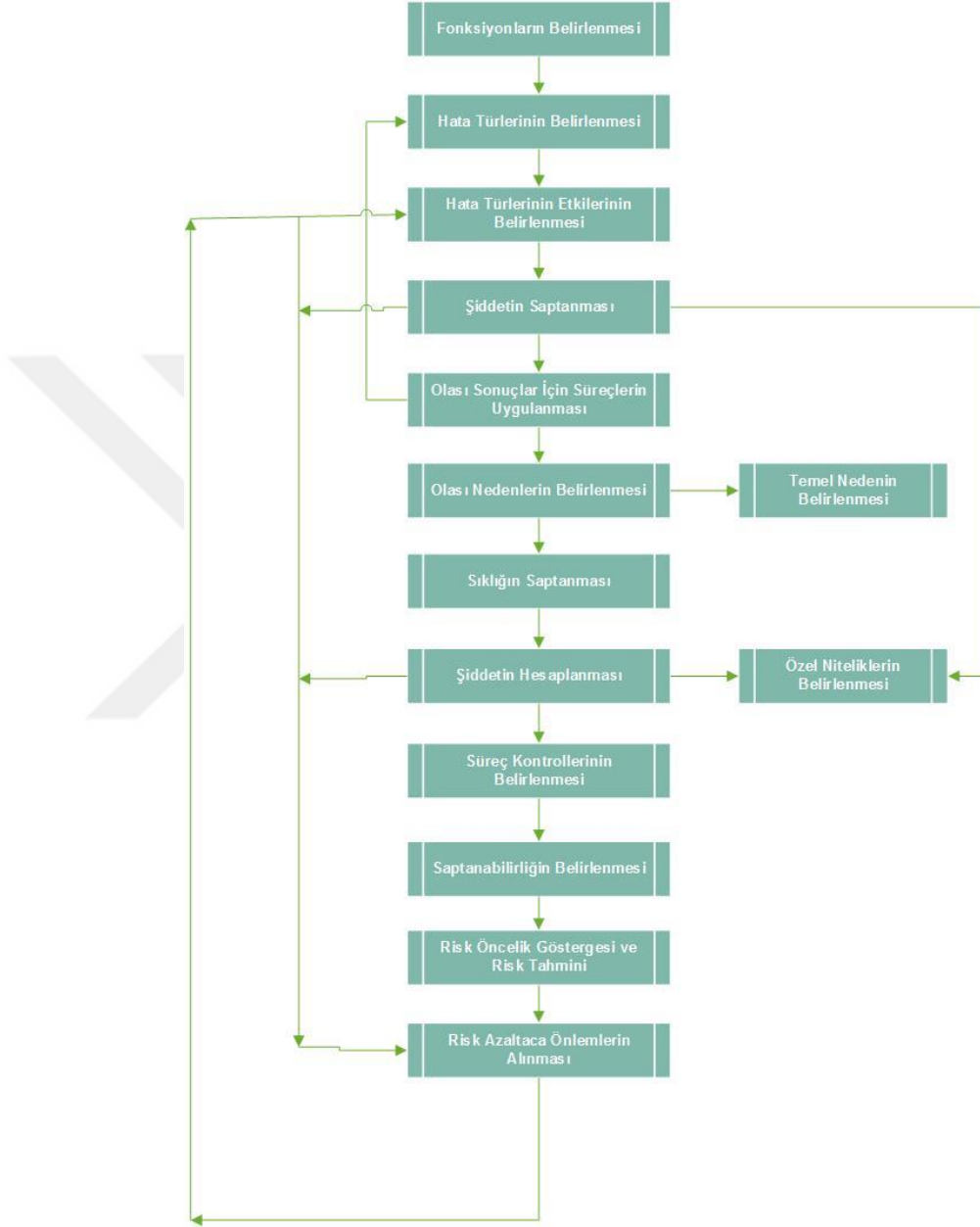
2.1.1.8.1.4 Servis HTEA

Servis HTEA organizasyondaki eksikliklerin giderilmesine yardımcı olmaktadır. Bu analiz uygulanması sırasında önceliklerin tanımlanması ve değişiklikler için açıklamaların kayıt altında tutulmasıdır. İş akışını, sistem ve süreç işleminin etkili yapılması, önemli işlerin tanımlanması ve kontrol planlarının yapılmasında önemli avantajlar sağlamaktadır.

Hata türü ve etki analizi 9 temel adımdan oluşmaktadır;

- HTEA amaçları ve düzeylerinin belirlenmesi için HTEA planlaması,
- HTEA'nın yapılabilmesi için özel süreçlerin, temel kuralların ve kriterlerin belirlenmesi,
- Fonksiyonlara, etkileşim alanlarına, faaliyet adımlarına ve türlerine, çevreye göre sistem analizinin yapılması,
- Hata ağacı şemalarının, süreçleri, birbirine olan bağımlılıklarını göstermesi, görev ve güvenilirliğini göstermesi ve analizinin yapılması,
- Potansiyel hata türlerinin tanımlanması,
- Hata türlerinin, etkilerinin analizi ve sınıflandırılması,
- Hataları önleyecek ve kontrol edilmesini sağlayacak önlemler alınması,
- Önerilen önlemlerin etkilerinin analizi yapılması,
- Sonuçların belgelendirilmesi,

Hata türü ve etki analizi temel adımlarına göre HTEA süreçleri şekil-6'da gösterilmektedir.



Şekil 6 HTEA Süreci [31, s166]

Şekil-6'ya göre HTEA'nın işleme sürecini özetlersek, sistem içerisindeki bütün olarak ya da bölüm olarak fonksiyonların belirlenmesidir. Belirlenen fonksiyonlar sayesinde hata türlerinin sistemin tümü ve ya bölüm olarak tanımlanmasıdır. Tanımlanan hata türlerinin çalışma koşullarına ve sisteme etkisinin belirlenerek, bu hata türlerinin şiddet sapmasının tanımlanması gerekmektedir. Bir sonraki aşamada şiddet sapmasına göre muhtemel

sonuçlar için süreç uygulamasının belirlenerek, muhtemel nedenlerin tanımlanması gerekmektedir. Hata türleri tanımlanan süreçte, hatanın sıklığı belirlenerek, şiddet hesaplaması yapılmalıdır. Hesaplama yapıldıktan sonra belirlenmiş olan süreçlerin kontrolleri yapılarak, düzeltilmesi gereken hataların saptanması gerekmektedir. Saptanan hatalar sayesinde tehlikenin zarar boyutuna göre risk önceliği ve tahmini yapılmalıdır. Son olarak bu risklerin düşürülmesi için önlemler alınmalıdır.

Hata türü ve etkileri analizinde risk öncelik sayısının belirlenmesi için;

$$R\ddot{O}S = F \times S \times D \quad (\text{Denkleml-5})$$

RÖS = Risk Öncelik Sayısı F = Olabilirlik S= Şiddet D = Fark Edebilirlik

hesaplanmaktadır. Bu hesaplama sayesinde şekil-6'da risk öncelik göstergesi için hesaplama yapılmış olmaktadır. Ayrıca risk öncelik sayısı bulunarak önceden zarar verebilecek risklerin tahminleri de yapılabilmektedir.

Tablo 19 Zararın Şiddeti Tablosu [31, s167]

Etki	Şiddetin Etkisi	Derece
"Uyarısız Gelen Tehlike [31]"	"Felakete yol açabilecek etkiye sahip ve uyarısız gelen potansiyel hata [31]"	10
"Uyarısız Gelen Tehlike [31]"	"Yüksek hasara ve toplu ölümlere yol açabilecek etkiye sahip ve uyarısız gelen potansiyel hata [31]"	9
"Çok Yüksek [31]"	"Sistemin tamamen hasar görmesini sağlayan yıkıcı etkiye sahip ağır yaralanmalara, 3. derece yanık, akut ölüm vb. etkiye sahip hata türü [31]"	8
"Yüksek [31]"	"Ekipmanın tamamen hasar görmesine sebep olan ve ölüme, zehirlenme, 3. derece yanık, akut ölümcül hastalık vb. etkiye sahip hata [31]"	7
"Orta [31]"	"Sistemin performansını etkileyen, uzuv ve organ kaybı, ağır yaralanma, kanser vb. yol açan hata [31]"	6
"Düşük [31]"	"Kırk, kalıcı küçük iş göremezlik, 2. derece yanık, beyin sarsıntısı vb. etkiye sahip hata [31]"	5
"Çok Düşük [31]"	"İncinme, küçük kesik ve sıyrıklar, ezilmeler vb. hafif yaralanmalar ile kısa süreli rahatsızlıklara neden olan hata [31]"	4
"Küçük [31]"	"Sistemin çalışmasını yavaşlatan hata [31]"	3
"Çok Küçük [31]"	"Sistemin çalışmasında kargaşa yol açan hata [31]"	2
"Yok [31]"	"Etki yok [31]"	1

Tablo-19'da şiddetin etkisi, derecesi ve etki görülmektedir. Etki tehlikenin boyutunu gösteren ifadelerden oluşmaktadır. Şiddetin etkisinde tehlikenin olması durumunda zararın ne olacağından bahsetmektedir. Derecede olayın 1-10 arasında değerler aldığı

görülmektedir. Tablo-20’de hatanın nicel ve nitel olabilirliği ve derecesi hakkında bilgi veren zararın oluşma olabilirliği tablosu bulunmaktadır. Hatanın nicel olabilirliği riskten oluşacak tehlikenin sayısal veri olarak olabilirliği tanımlanmıştır. Hata olabilirliği ise kavramsal olarak belirlenmiştir.

Tablo 20 Zararın Oluşma Olabilirliği Tablosu [31, s168]

Hatanın Olabilirliği (nitel)	Hatanın Olabilirliği (nicel)	Derece
"Çok Yüksek: Kaçınılmaz Hata [31]"	"1/2'den fazla [31]"	"10 [31]"
	"1/3 [31]"	"9 [31]"
"Yüksek: Tekrar Tekrar Hata [31]"	"1/8 [31]"	"8 [31]"
	"1/20 [31]"	"7 [31]"
	"1/80 [31]"	"6 [31]"
"Orta: Ara Sıra Olan Hata [31]"	"1/400 [31]"	"5 [31]"
	"1/2.000 [31]"	"4 [31]"
"Düşük: Nispeten Az Olan Hata [31]"	"1/15.000 [31]"	"3 [31]"
	"1/150.000 [31]"	"2 [31]"
"Pek Az: Olabilir Olmayan Hata [31]"	"1/1.500.000'den düşük [31]"	"1 [31]"

Tablo-21’de fark edilebilirlik tanımsal değerleri, olabilirliği ve derecelendirilmesi bulunmaktadır.

Tablo 21 Fark Edilebilirlik Tablosu [31, s168]

Fark edilebilirlik	Fark edilebilirlik olabilirliği	Derece
"Fark Edilmez [31]"	"Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedebilirliği mümkün değil [31]"	"10 [31]"
"Çok Az [31]"	"Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedebilirliği çok uzak [31]"	"9 [31]"
"Az [31]"	"Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedebilirliği uzak [31]"	"8 [31]"
"Çok Düşük [31]"	"Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedebilirliği düşük [31]"	"7 [31]"
"Düşük [31]"	"Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedebilirliği çok düşük [31]"	"6 [31]"
"Orta [31]"	"Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedebilirliği orta [31]"	"5 [31]"
"Yüksek Ortalama [31]"	"Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedebilirliği yüksek ortalama [31]"	"4 [31]"
"Yüksek [31]"	"Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedebilirliği yüksek [31]"	"3 [31]"
"Çok Yüksek [31]"	"Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedebilirliği çok yüksek [31]"	"2 [31]"
"Hemen hemen kesin[31]"	"Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedebilirliği hemen hemen kesin [31]"	"1 [31]"

HTEA için kullanılan risk değerlendirme formu Tablo-21’deki gibidir. Bu form tanımlanmış olan tehlikeler için kullanılarak, risk değerlendirme önceliği, şiddet, derecelendirme ve sıklık değerleri kayıt altına alınmaktadır.

Tablo 22 Hata Türleri ve Etkileri Analizi Risk Değerlendirme Formu [31, s169]

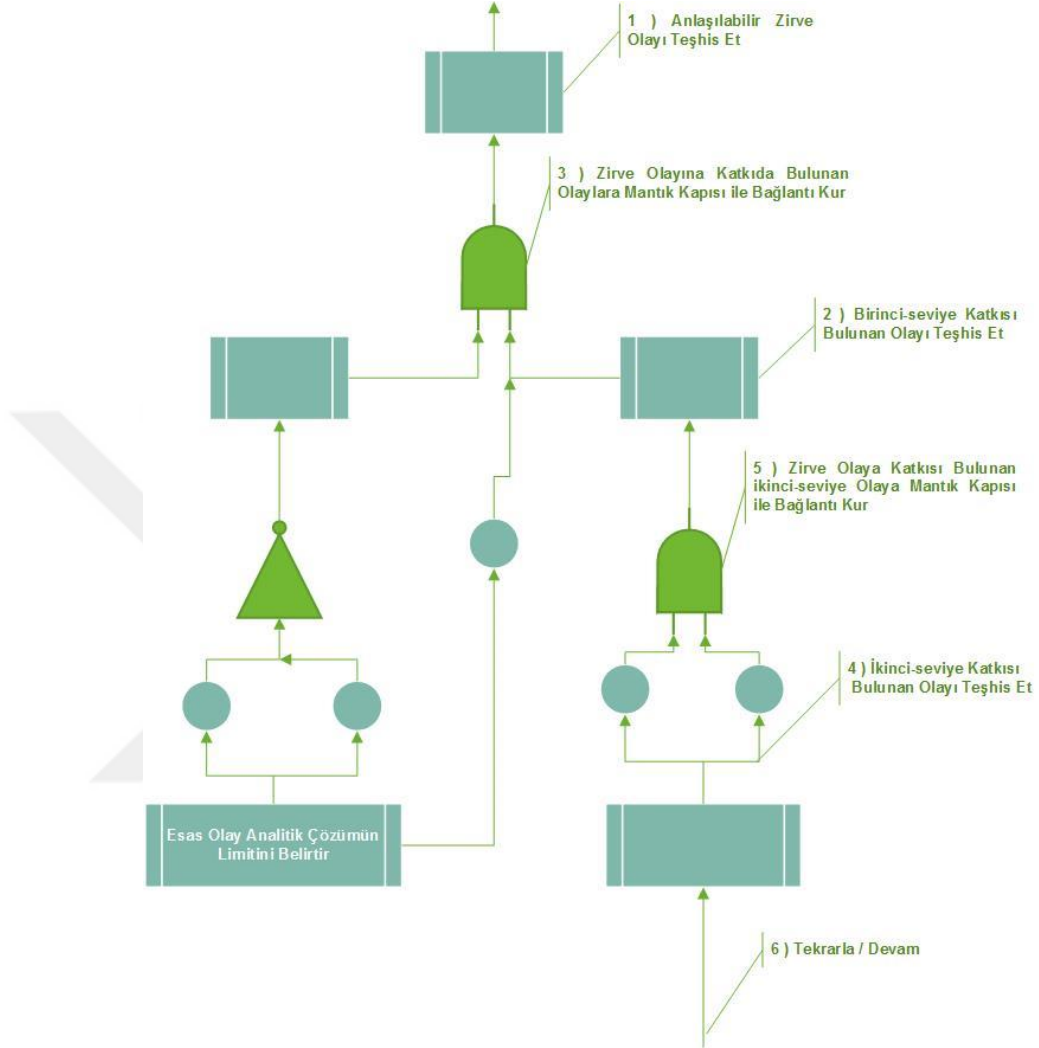
Tarih:		Hata Türleri ve Etkileri Analizi										HTEA Tipi:			
Proses/Sistem:		Risk Değerlendirme Formu										HTEA No:			
Alt Sistem:												Düzenleyen:			
Bileşen:												HTEA Tarihi:			
Dizayn Rehberi:												Revizyon Tarihi:			
HTEA Takımı:											Sayfa:				
Sistem / Parça	Potansiyel Hata Türleri	Hatanın Sonuçları	S	Hatanın Nedenleri	P	Kontrol Önlemleri	D	ROS	Tavsiye Edilen İyileştirmeler / Eylemler	Sorumlu Tamamlama Tarihi	Hareket Sonucu				
											Hareket Tarihi	Yeni (S)	Yeni (P)	Yeni (D)	Yeni (ROS)
Onay:															

2.1.1.9 Hata Ağacı Metodu (HAM)

Hata ağacı metodu ilk olarak 1961 yılında H. A. Watson tarafından Bell Telefon Laboratuvarında Amerikan hava kuvvetleri füze sistemlerinin kontrolü için tasarlanmıştır. Hata ağacı metodu temel kavramı olarak fiziksel sistemlerin içerisindeki hataların ve sakıncalı olayların mantıksal diyagramlar kullanılarak birbiri arasındaki bağı kurulmasıdır. Alt sistemlerin hatası sonucu gözlemlenen istenmeyen sistem hatalarını tanımlamak için kullanılan yöntemdir. Bu metotta sık kullanılan mantıksal diyagramlar VE (AND) kapısı ve VEYA (OR) kapısı olmaktadır. Diğer az kullanılan diyagramlar HAYIR (NOT) kapısıdır[39].

Hata ağacı metotunda hata ağacının oluşturulması için sistem içerisinde bir bölüm seçilerek, sistem içindeki bileşenler listelenir. Bu süreçte bölüm ile ilgili önemli tehlikeler tanımlanır. Bir sonraki aşamada riskin sebebi tüm ayrıntılarıyla listelenir ve oval daire içerisine alınır. Daha sonra başlangıç sebebine doğru yönelim eğiliminde, tüm risk sebepleri tanımlanır. Son olarak her riskin başlangıç sebebi belirlenerek hata ağacı oluşturulması bitirilmektedir[23]. Tablo-23’de Hata ağacı oluşturma aşamaları tablosu görülmektedir.

Tablo 23 Hata Ağacı Oluşturma Aşamaları Tablosu [31, s149]



Hata ağacı metodu analizi yapılırken belli aşamalardan geçmektedir. İlk aşama sistemin detaylı incelenmesidir. Sistemin çalışma prensibi anlaşıldıktan sonraki aşamada sistemdeki ana problemin tespit edilmesi gelir. Daha sonra sistem parçalarının hata türlerinin tespiti yapılmaktadır. Sonraki aşamaya gelindiğinde hata ağacının oluşturulması ve girdileri olan hataların değerlendirilmesi gelir. Süreç son olarak oluşturulan hata ağacının değerlendirilmesiyle bitmektedir. Hata ağacı metoduyla sistemin güvenilirliği ortaya konmakta ve birbiri içerisinde bulunan hataların ayrışması sağlanarak kolay gözlem yapılmaktadır. Tablo-24’de Hata ağacı metodu aşamaları gösterilmektedir.

Tablo 24 Hata Ağacı Metodu Aşamaları [31,148]



Hata ağacı metotunda nicel analiz yapılırken hata ağacında listelenmiş hataların, gerçekten oluşabileceğini ve diğer etken hatanın da ortaya konulabileceğinden emin olunmalıdır. Nicel analiz aşamasında hatanın olasılığı belirlenir. Belirlenmiş hata olasılığı ile güvenilirlik arasında bağlantı kurulur. Hatalar arasındaki bağlar tanımlanır. Son olarak mantık kapıları sayesinde hata ağacı oluşturulur.

2.2 Güneş Santrali Nedir?

Güneş enerjisi santrali elektrik tesisi olduğundan 30.12.2014 tarihli 29221 sayılı ‘Elektrik Tesisleri Proje Yönetmeliği’ne’[40] tabidir. Güneş enerjisi santralleri kurulumu hakkında 10.05.2005 tarihinde 5346 sayılı ‘Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretim Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun’[41] Resmi Gazetede yayımlanmıştır. Bu kanun

sayesinde güneş enerjisi ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının önü açılmıştır. Güneş enerjisine yönelik bir de 19.06.2011 tarihli 27699 sayılı Güneş Enerjisine Dayalı Elektrik Üretim Tesisleri Hakkında Yönetmelik de Resmi Gazetede yayınlanmıştır. Yönetmelik sayesinde güneş enerjisi santrallerinde olması gereken standartlar, test yöntemleri ve denetim usülleri belirtilmiştir.

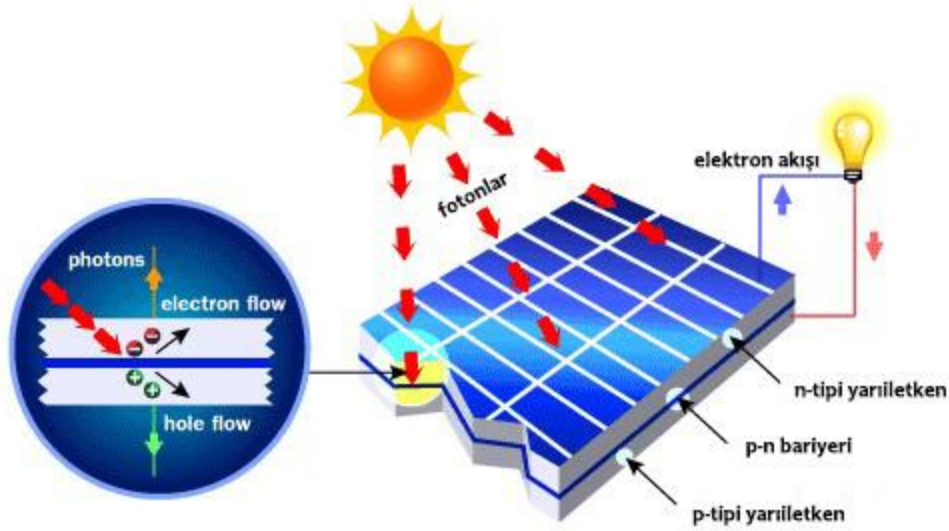
Güneş enerjisi güneşten gelen ışınların elektriğe çevrilmesiyle elde edilen enerjidir. Güneş enerjisini kullanarak büyük ölçekli elektrik üretimi yapan sistemlere güneş enerjisi santrali denir[42]. Güneş enerjisi santralleri fotovoltaik güneş enerjisi santralleri, termal güneş enerjisi santralleri ve yoğunlaştırılmalı güneş enerjisi santrali olarak üçe ayrılmaktadır.

2.2.1 Güneş Enerjisi Santralleri Çeşitleri ve Çalışma Prensipleri

Ülkemizde son yıllarda güneş enerjisi santrallerine yönelik yatırımlarda artış görülmektedir. Bu artışın sebebi olarak devletimizin güneş enerjisi santrallerinden üretilen enerjiyi alım garantisizlikle desteklemesidir. Ülkemizde genellikle fotovoltaik güneş enerjisi santralleri bulunmaktadır. Fotovoltaik santrallerin fazla olmasının sebepleri arasında yatırım maliyetinin diğer santrallere göre düşük olması, arazi miktarına daha az ihtiyaç duyması ve kullanılan teknolojinin kolay üretilmesi sayılabilir.

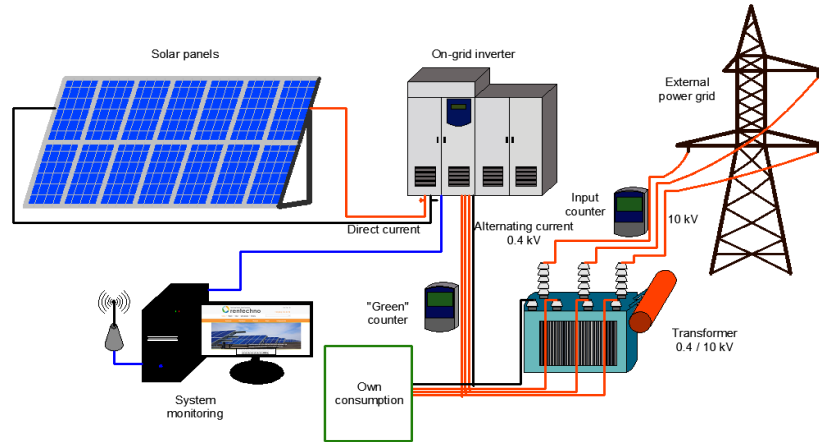
2.2.1.1 Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralleri

Fotovoltaik güneş enerjisi santralleri büyük arazi üzerine kurulmuş, güneşten gelen fotonları toplayarak elektrik üretimi yapan büyük sistemlerdir[43]. Fotovoltaik terimindeki foto güneşten gelen ışınları, voltaik voltaj gerilimini temsil etmektedir. Güneşten gelen fotonların santral üzerinde bulunan panellerin yüzeyine çarparak voltaj gerilimi yaratmasıyla elektrik üretimi yapmaktadır. Şekil-7'de güneş panelinin fotonlarla etkileşimiyle elektrik üretimi prensibi gösterilmektedir.



Şekil 7 Güneş Paneli Çalışması [44]

Şekil-7’de güneş panelinin elektrik üretme prensibini göstermektedir. Güneş paneli n-tipi ve p-tipi yarı iletkenlerden oluşmaktadır. Güneşten gelen fotonların n-tipi yarı iletkene çarparak orada bulunan elektronların enerji seviyelerinin artmasına neden olur. Elektron enerji seviyesi düşük olan p-tipi yarı iletkene, enerjisi seviyesi yüksek olan elektron hızla hareket etmektedir. P-tipi yarı iletkene gelen elektron enerjisini kaybettiğinden dolayı tekrar n-tipi yarı iletkene geçmektedir. Aynı süreç devam etmektedir. Bu sürecin devamlı olması sayesinde voltaj gerilimi oluşarak bir güneş panelinden elektrik üretimi sağlanmış olur. Fotovoltaik güneş enerjisi santrallerinde birden fazla güneş paneli kullanılarak elektrik üretimi yapılmaktadır. İstenen üretim miktarına göre kullanılan panel sayısı değişmektedir.

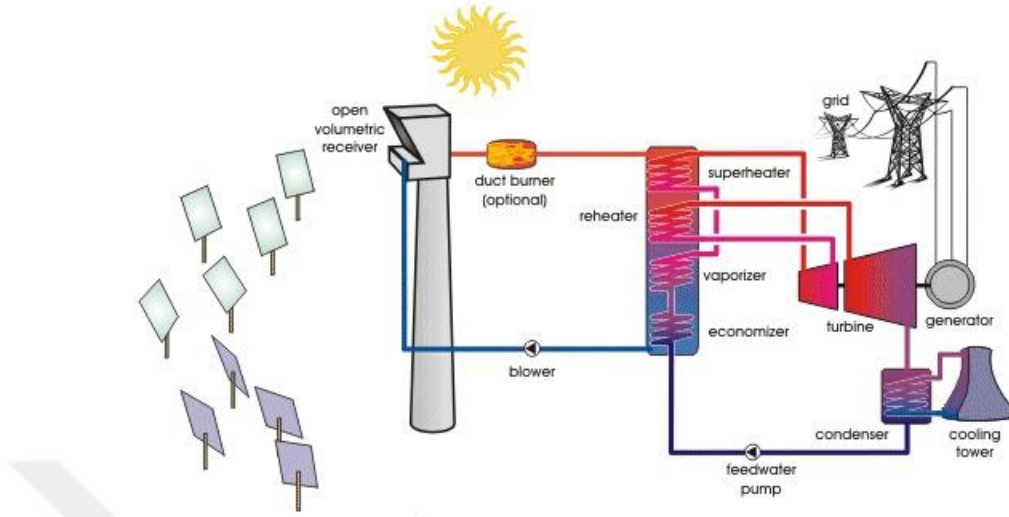


Şekil 8 Güneş Enerji Santrali [45]

Şekil-8’de görüldüğü üzere fotovoltaik güneş enerjisi santrali sistemi görülmektedir. Fotovoltaik güneş santrallerinde birde fazla panel kullanıldığından dolayı bu paneller toplayıcılar tarafından tek bir hatta dönüştürülür. Panellerden gelen elektrik doğru akım (Direct Current, DC) olmaktadır. Şehir şebekesindeki elektrik akımı alternatif akım (Alternating Current, AC)’dır. Doğru akımın alternatif akıma dönüştürülmesi için eviriciler kullanılmaktadır. Eviricilerden çıkan alternatif akım transformatörler sayesinde şehir şebekesine verilmektedir. Sistemin izlenmesi için bilgisayar kontrolü bulunmaktadır. Santralin ne kadar elektrik ürettiği, günlük güneşlenme miktarı vb. değerler bu sayede izlenebilmektedir.

2.2.1.2 Termal Güneş Enerjisi Santrali

Termal güneş enerjisi santralleri ilk olarak 1950 yılında Sovyetler tarafından geliştirilmiştir[46]. Termal güneş santralleri güneş ışınlarını aynalar sayesinde toplayarak tek bir noktaya odaklanarak elde edilen ısı enerjisinin elektriğe dönüştürülmesidir[47]. Termal güneş enerjisi santrallerinin avantajları 7/24 esasıyla olarak hergün çalışması, fosil yakıtlar kullanılmadığından çevre kirliliği yol açmaması ve çevreye zarar vermeyen sistemler kullanılmasıdır. Bu santrallerde güneşin batışıyla birlikte elektrik üretimi durmamaktadır, çünkü ısıyı tutan tuzun soğuması uzun sürdüğünden dolayı 7/24 esasıyla elektrik üretimine devam etmektedir. Fosil yakıtı kullanılmadan bu sürecin devam etmesinden dolayı çevre kirliliği oluşmamaktadır. Dezavantajları; büyük bir araziye ihtiyaç duyulması, kullanılan aynaların temizliğinin periyodik olarak yapılması, santral için ideal güneş enerjisine sahip bir alanın zor bulunmasıdır. Şekil-9’da Termal Güneş Enerjisi Santrallerinin çalışma prensibini göstermektedir. Güneşten gelen ışınların tek bir noktaya odaklanması için aynalar kullanılmaktadır. Bu aynalar kurulmuş olan kulenin üst kısmına odaklanarak, kulenin üst kısmındaki tuzu ısıtmaktadır. Kuledeki tuzun ısınıp almak için borularla soğuk su iletilmektedir. Isınan su, buhar tribünlerinden geçerek dönmelerini sağlamaktadır. Isınan suyun soğutulması için soğuk kulelerinden geçirilerek işlem tamamlanmaktadır. İşlemin tamamlanmasıyla elektrik üretimi yapılmaktadır.



Şekil 9 Termal Güneş Enerjisi Santrali [48]

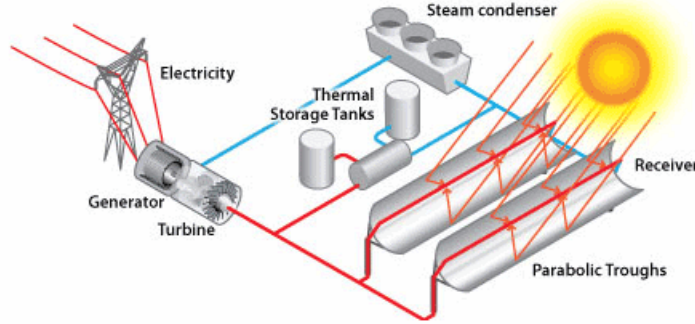
2.2.1.3 Yoğunlaştırıcı Güneş Enerjisi Santrali

Yoğunlaştırıcı güneş enerjisi santralleri fosil yakıtı kullanmadan, güneş enerjisi kullanılarak elektrik üreten sistemlerdir. Bu santrallerde optik sistemler kullanılmaktadır. Kullanılan optik sistemler sayesinde güneş enerjisi odaklanarak elektrik üretimi yapılmaktadır. Bu optik sistemlerde;

- Aynalar sayesinde parabolik sistemler
- Linear Fresnel aynalar
- Heliostat alanlarla birlikte güneş kuleleri
- Güneş çanakları
- Fresnel optiksel lensler

kullanılmaktadır[49]. Yoğunlaştırıcı santrallerde genel olarak parabolik aynalar kullanılmaktadır. Bu aynalar sayesinde güneş ışınları ayna içerisinden geçen su borularına odaklanarak suyun ısınması sağlanmaktadır. Isınan su buhar tribünlerine giderek, tribünleri döndürmektedir. Bu işlemin tamamlanması ile elektrik üretimi sağlanmaktadır. Termal Güneş Enerjisi Santrallerinden farkı olarak ısının tutulması tuz sayesinde olmayıp, su ile ısının taşınması sağlanmaktadır. Güneşin batmasıyla gece belli bir süre elektrik üretimi yapmaktadır. Avantajı fosil yakıtı kullanılmadan elektrik üretmesi ve çevreye zararı

bulunmamasıdır. Dezavantajı geceleri çalışmamasıdır. Şekil-10'da Yoğunlaştırıcı Güneş Enerjisi Santralini çalışması gösterilmektedir.



Şekil 10 Yoğunlaştırıcı Güneş Enerjisi Santrali [50]

2.2.2 Geoteknik ve Sismik Analiz

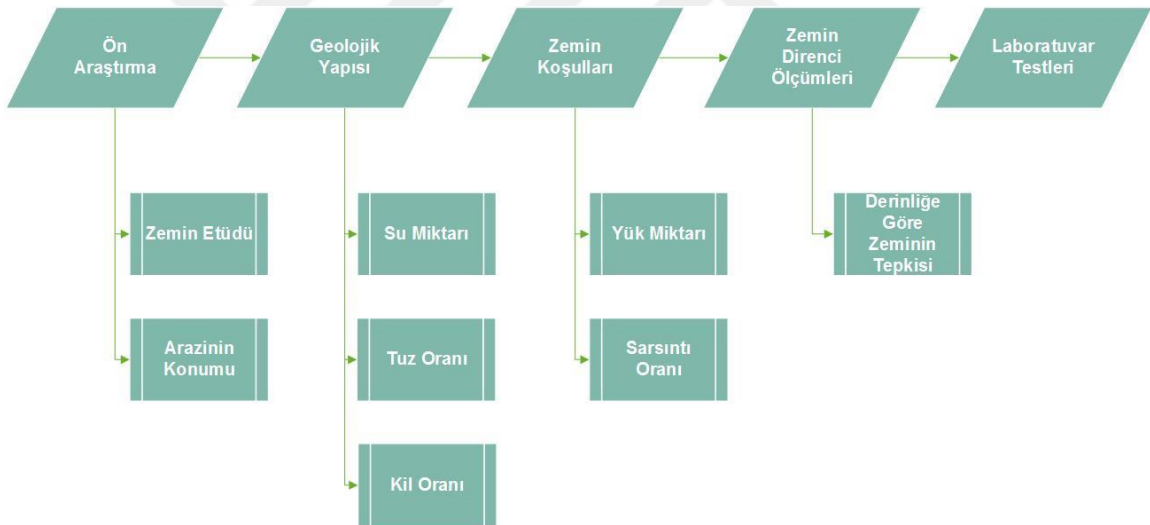
Güneş enerjisi santralleri kurulumu yapılmadan önce ilk olarak geoteknik analiz yapılmaktadır. Jeoteknik analizin sonucuna göre sismik analiz yapılarak kurulum yapılması sağlanır. Bu sayede deprem, rüzgâr hızı, kar yükü vb. hesaplarına uyumlu olarak tasarlanan santralin yıkılma riski daha düşük olmaktadır. Güneş enerjisi santrallerinde arazinin kontrolü iki analiz ile yapılmaktadır. Bunlar geoteknik analiz ve sismik analizdir.

2.2.2.1 Geoteknik Analiz

Teknik olarak Geoteknik analiz, zemin içerisindeki yer altı suları, tuz, kil, kayalık oranlarına bakılarak, zemin yapısını incelenmektedir. İncelenen zemin yapısı üzerine kurulacak olan yapının tasarımının nasıl olması gerektiği hakkında veriler vermektedir[51]. Bu veriler zeminin taşıyacağı yük miktarı, temel yapısı ve yer altı su miktarı olarak sıralanabilir. Zeminin taşıyacağı yük miktarı santralin kurulması için önemli bir veridir. Çünkü santral kurulumunda oluşacak yük miktarının, zeminin taşıyabileceği maksimum yük miktarından az olması gerekmektedir. Santral kurulumundan oluşan yük miktarının, zeminin taşıyacağı yük miktarından fazla olması durumunda kurulan yapının yıkılması ve zeminin çökmesi kuvvetle muhtemeldir. Temel yapısının belirlenmesi, zeminin killi veya kayalık olmasıyla ilgilidir. Killi zemin yapısında daha derine temel atılması gerekirken,

kayalık zemin yapısında temel derinliğinin daha az olması yeterlidir. Ayrıca güneş panellerinin konulduğu metal profillerin bu yapılara bakılarak yapılması sağlanmaktadır. Yer altı su miktarı, santral arazisinde ne kadarlık su miktarının bulunduğunu göstermektedir. Obrukların üzerine kurulan santraller, yapının ağırlığı yüzünden yıkımla sonuçlanır. Ayrıca, önceden dere yatağı olan bir arazinin herhangi bir sel durumunda santrale zarar vermesi riski bulunmaktadır.

Geoteknik analizle ortaya çıkan zemin yapısı bölgesel olarak farklılık göstermesinden dolayı her bölge için aynı santral tasarımının yapılması uygun olmayacaktır. Bu nedenle Geoteknik analiz yapılırken beş aşamadan geçmektedir. Bu aşamalar ön araştırma, Geolojik yapısı, zemin koşulları, zemin direnci ölçümleri, laboratuvar testleridir. Geoteknik analiz aşamaları Şekil-11’de gösterilmektedir.



Şekil 11 Geoteknik Analiz Aşamaları

Geoteknik analiz aşamalarından birincisi olan ön araştırma, arazinin konumuna göre zemin etüdü ve saha keşfi yapılmasıdır. Saha keşfi çalışmaları sırasında sondaj yapılarak örnekler alınmaktadır. Bu örneklerin sonucuna göre ön araştırma verileri tamamlanır. Daha sonraki aşama, jeolojik yapıdır. Bu aşamada zeminin yapısı incelenerek su miktarı ve tuz oranlarına bakılmaktadır. Arazi içerisindeki alüvyonlara da bakılmaktadır. Genç ve yaşlı olarak iki çeşit alüvyon bulunmaktadır. Genç alüvyonlar çöl toprağına benzer ve yumuşak yapıdadır. Yaşlı alüvyonlar, nemli ve yoğun olan zemin yapısıdır. Uzun yıllar bekleyen bu alüvyon tipi kayalık yapıya geçiş göstermektedir. Su miktarı araştırması yer altı sularıyla

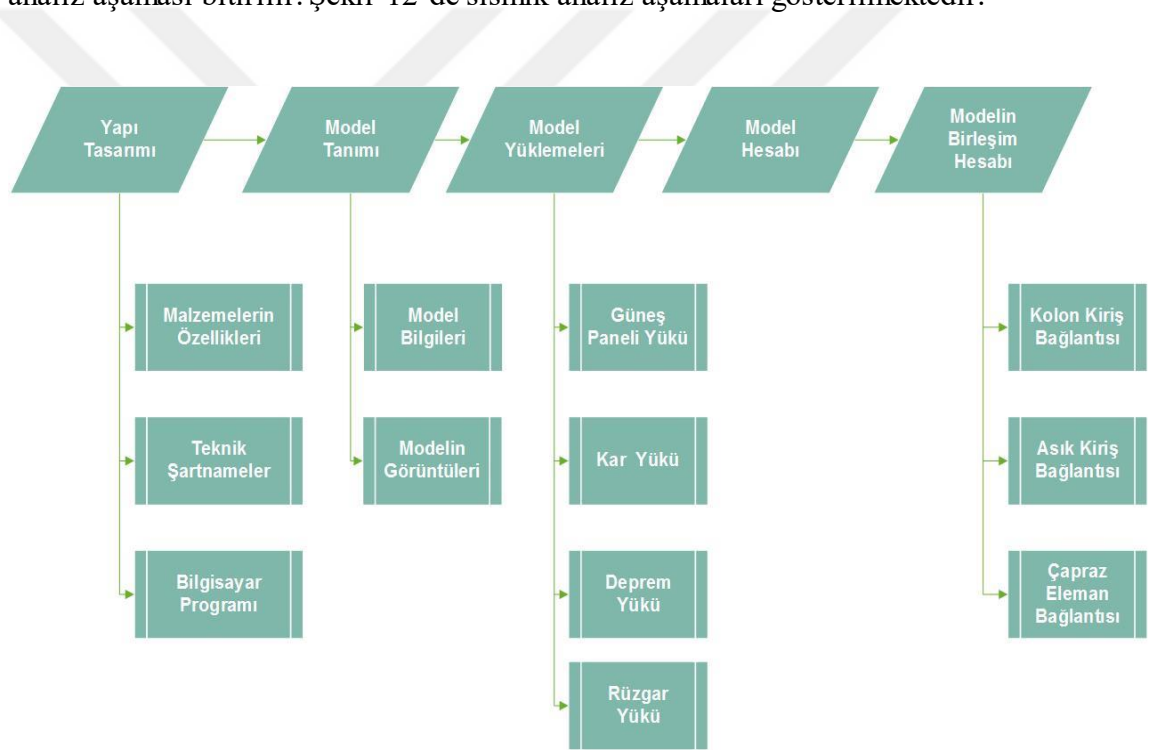
ilgilidir. Genel olarak 15 metreden daha derinlikteki yer altı su miktarına bakılmaktadır. 15 metreden daha fazla derinde bulunan yer altı suları, toprağın yapısı hakkında bilgi verir.

Bir sonraki aşama olan zemin koşullarına, zeminin jeolojik yapısı incelendikten sonra geçilir. İncelenen verilere göre zemin üzerine kurulacak yapının maksimum ağırlık sınırı bulunur. Ayrıca zemin yapısına göre sarsıntı oranı bulunur. Bir sonraki aşama zemin direnci ölçümleridir. Zeminin derinliği arttıkça, vereceği tepkisi değişmektedir. Bu durumdan dolayı her 1 metrede zeminin tepkisi bulunarak, kazı işlemi yapıp yapılmamasına ya da kurulacak santralin yapısında değişiklik önerilir. Son aşama laboratuvar testleridir. Bu testlerde zeminden alınan örneklerin, parça büyüklüğü için elek testlerine yapılır. Sonucunda o bölgedeki zemin içerisindeki parçaların büyüklüğü bulunmaktadır. Bir sonraki test kimyasal testlerdir. Bu testlerden en önemlisi olan santral kurulacak zeminin kimyasal yapısıdır. Burada zemin pH değerlerine bakılmaktadır. pH değerine göre zeminin zarar verici olup olmadığına bakılmaktadır. Beton ve demire zarar verebilecek bir zemin yapısı bulunan bölgede, bu zararı engellemek için önlemlerin alınması gerekir. Zeminin Jeolojik olarak kontrolü bitirildikten sonra sismik analizi çalışmalarına geçilir[51].

2.2.2.2 Sismik Analiz

Sismik analiz, dinamik ve statik yükler altındaki elemanların incelenmesidir. Dinamik yükler hareket halindeki yapılara etki etmektedir. Statik yükler dengede bulunan yapılara etki etmektedir. Sismik analiz öncelikle jeolojik analizden gelen veriler sayesinde yapılır. Sismik analiz beş aşamada gerçekleştirilir. Bu aşamalar, yapı tasarımı, model tanımı, model yüklemeleri, model hesabı ve modelin birleşim hesabıdır. İlk aşama olan yapı tasarımında malzemelerin özellikleri belirlenir. Jeoteknik analizden gelen verilere bağlı olarak hangi malzemedeki kullanılacağına karar verilir. Ayrıca yapı tasarımı yapılırken teknik şartnamelere de uyulması gerekmektedir. Bu teknik şartnameler TS 498 Yapı Yüklemeleri Hakkında Standart, TS 648 Çelik Yapılar Hakkında Standart'tır. Son olarak bilgisayar programı kullanılarak Jeoteknik analizden gelen veriler ve yapı tasarımı verileri girilerek sismik analizin ilk aşaması bitirilmiş olur. Bir sonraki aşama model tanımıdır. Bu

aşamada santralde kurulacak yapının model bilgileri hazırlanarak, kurulması planlanan yapının ön çalışması yapılır. Sonraki aşama model yüklemeleridir. Model yüklemeleri aşamasında güneş panelinin ağırlığı, bölgenin konumuna göre kar, rüzgâr yükleri, deprem oranı belirlenir. Model tanımı yapılmış olan yapının, söylenen parametrelere ve standartlara uyumluluğu gözetilir. Model hesabı aşamasında model yüklemeleri aşamasındaki parametreler hesaplanarak, tasarlanan yapının güvenilirliği kontrol edilir. Son aşama olan modelin birleşim hesabı aşamasında kolon kiriş bağlantısı, asık kiriş bağlantısı ve çapraz eleman bağlantısı üzerine düşen yük miktarlarına bakılarak sismik analiz aşaması bitirilir. Şekil-12’de sismik analiz aşamaları gösterilmektedir.

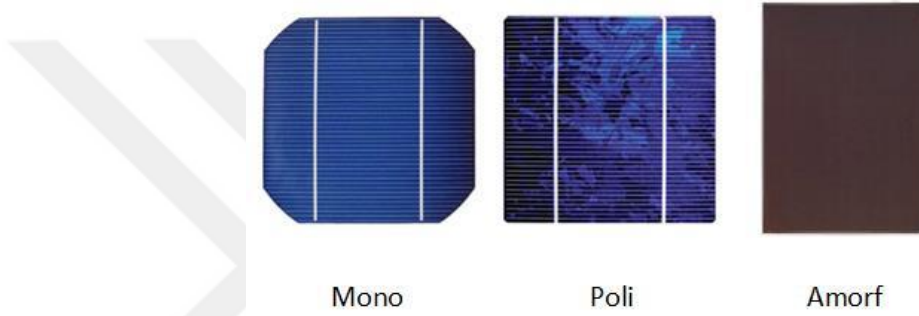


Şekil 12 Sismik Analiz Aşamaları

2.2.3 Güneş Panelleri ve Eviricilerin Seçimi

Güneş enerjisi santralleri kurulması sırasında en önemli sistem parçaları güneş panelleri ve eviricilerdir. Güneş panelinde güneşten gelen fotonlar panel yüzeyine çarparak doğrusal akım oluşturmaktadır. Eviriciler doğrusal gelen akımı alternatif akıma dönüştüren cihazlardır. Bu iki sistem parçasının birbirine uyumlu olarak çalışması gerekmektedir. Güneş panelleri çeşitleri Mono kristal, Poli kristal ve Amorf olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Mono kristal güneş panelleri saf silikondan yapılan panellerdir. Bu güneş

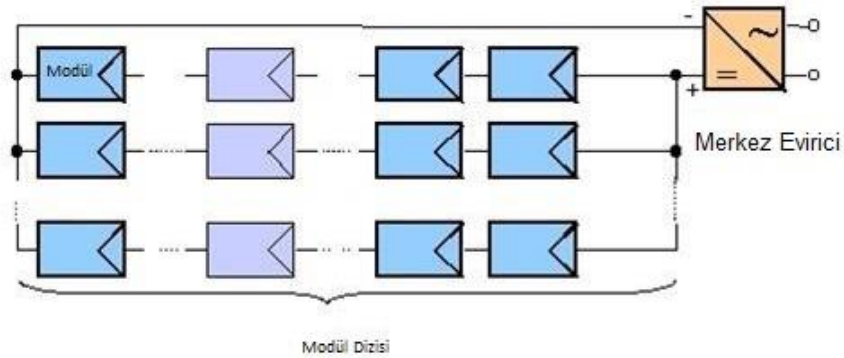
panellerinin verimliliği %15-20 arasında değişmektedir. Uzun ömürlü yapıya sahip olmaktadırlar. Poli kristal güneş panelleri saf silikon kullanılmadan yapılan panellerdir. Mono kristal güneş panellerine göre verimlilikleri daha düşük ve pahalı olmayan panellerdir. Kullanılan silikon malzeme miktarı mono kristal güneş panellerine göre daha az olmaktadır. Amorf güneş panelleri ince katmanlı bir yüzeye silikon atomlarının yerleştirilmesiyle yapılan panellerdir[52]. Bu paneller ucuz olmakla birlikte verimliliği düşüktür. Şekil-13’de güneş panellerinin çeşitleri görülmektedir.



Şekil 13 Güneş Panelleri Çeşitleri [52]

Eviriciler güneş santrallerinde kullanılmak üzere özel üretilmektedir. Gelen doğru akımı, alternatif akıma veya alternatif akımı, doğru akıma dönüştüren cihazlardır. Genellikle güneş santrallerinde, panellerden gelen akım doğru akım olduğundan, alternatif akıma şehir şebekesi formuna dönüştürülmektedir.

Güneş panelleri ve eviricilerin uyumluluğu sağlanması için hesaplamalar yapılmaktadır. İlk olarak güneş panelleri bir dizi şeklinde birbirlerine seri olarak bağlanırlar. Her bir dizi birbirine paralel olarak eviricilerin girişine gitmektedir.



Şekil 14 Güneş Panelleri Dizilerinin Paralel Bağlanması [53]

Şekil-14’de güneş panelleri dizilerinin paralel bağlanma şekli ve eviriciye bağlantı yapısı gösterilmektedir. Güneş santrallerinde kullanılan bir panelin firmalara göre 170-310W arasında değişen güç üretim miktarları bulunmaktadır. Aşağıda iki marka için örneklendirilen teknik analizler tercih edilen marka ve özellikle güneş paneli evirici ikilileri için yapılmalıdır.

Örneğin CSUN firmasının 265-60P güneş panelinin enerji üretimi 265W’dır. Tablo-25’de CSUN 265-60P panelinin özellikleri bulunmaktadır.

Tablo 25 CSUN 265-60P Özellikleri [54]

CSUN 265-60P Özellikleri	
Maksimum Güç	265 W
Açık Devre Voltajı (V_{oc})	37.8 V
Kısa Devre Akımı (I_{sc})	9.01 A
Maksimum Güç Voltajı (V_{mpp})	30.5 V
Maksimum Güç Akımı (I_{mpp})	8.58 A
Panel Verimliliği	% 16.32
Voltaj Sıcaklığı Katsayısı (TCV_{oc})	-0.292
Akım Sıcaklığı Katsayısı (TCI_{sc})	0.045
Güç Sıcaklığı Katsayısı (TCP_{mpp})	-0.408

CSUN 265-60P güneş panelinin özellikleri görülmektedir. Bu değerlere göre teknik hesaplamalar yapılarak, eviriciye uyumlu güneş paneli dizi sayısı belirlenir. SMA firmasının Sunny Tripower 25000TL eviricinin teknik özellikleri Tablo-26’da gösterilmektedir.

Tablo 26 Sunny Tripower 25000TL Özellikleri [55]

Sunny Tripower 25000TL Özellikleri	
Maksimum Doğrusal Akım Güç	25550 W
Maksimum Giriş Voltajı (MGV)	1000 V
Voltaj Aralığı V_{mpp} / Nominal Giriş Voltajı	390-800 V / 600 V
Minimum Giriş Voltajı / Başlangıç Giriş Voltajı V_{min}	150 V / 188V
Maksimum Giriş Akımı Giriş A / Maksimum Giriş Akımı Giriş B I_{max}	33 A / 33 A
Giriş Sayısı	2 / A:3, B:3

Tablo-25 ve 26'ya göre örnek teknik hesaplamalar yapılarak, güneş paneli ve eviricinin uyumluluğu hesaplanacaktır.

Güneş Santralinin gücünün 1 MW olduğunu varsayalım. Güneş panellerinin kaç diziden oluşacağı hesabı yapılacaktır. Bu hesapta ilk olarak güneş panelinin açık devre voltajı ve eviricinin maksimum giriş voltajı değerlerine bakılır. Güneş panelinin açık devre voltajı 37.8V, eviricinin maksimum giriş voltajı 1000V olmaktadır. 16 dizinin olduğunu düşündüğümüzde,

$$MGV = Voc * 16 = 37.8 * 16 = 604.8 V$$

olmaktadır. 16 dizi olduğunda güneş panellerinin voltajı 604.8 V olduğu hesaplamadan görülmektedir. Eviricinin maksimum giriş voltajı 1000V olduğundan 16 diziye sahip bir güneş paneli tasarımı uygundur. Bir sonraki basamakta ise dizi yapısına bakılır. Array yapısı eviricinin kaç girişi olduğuyula orantılıdır. Sunny Tripower 25000 TL eviricisinin toplamda 6 girişi A ve B olarak ayrılmaktadır. 16 diziye sahip güneş panellerinin kaç W enerji ürettiğine bakılmaktadır.

$$Dizi Güç Miktarı = 16 * 265 = 4240 W$$

16 dizi olan güneş panelleri 4240W güç üretmektedir. 6'lı array yapısına sahip olduğunu düşündüğümüzde

$$Array güç miktarı = 4240 * 6 = 25 440 W$$

olmaktadır. Eviricinin giriş gücüne bakıldığı zaman 25550Wdır. Bu değer altında kaldığından dolayı bu tasarım uyumlu olmaktadır. Ayrıca eviricinin 6 girişinin kullanılacağı belirlenmiştir. Her bir arrayden kaç tane kullanılacağı ise 1MW'a bölünerek bulunmaktadır.

$$Evirici\ Sayısı = \frac{1000000}{25440} = 39.30$$

Evirici sayısı 1MW'lık bir sistem için 39.30 adet olmaktadır. Bu değeri yaklaşık olarak 39 adet olarak alınmaktadır. Kaç adet güneş paneli kullanılacağı ise,

$$Güneş\ Paneli\ Sayısı = 16 \times 6 \times 39 = 3744$$

bulunmaktadır. 1 MW'lık bir sistem için 3744 adet güneş paneli ve 39 adet evirici kullanılmaktadır. Bu değerler 1 MW'lık sistemde CSUN265-60P güneş panelli ve Sunny Tripower 25000TL eviriciler için geçerlidir. Bu iki sistem parçasının uyumluluğu teknik hesabı açık devre voltajı V_{oc} değeri 37.8 V dur. V_{mpp} değeri 25°C çalışma değeridir. -10°C ve 60°C çalışma voltajı değeri Voltaj Sıcaklık Katsayısı (TCV_{oc}) ile bulunmaktadır. Bilindiği üzere sıcaklık arttıkça voltaj değeri düşer, sıcaklık düştükçe voltaj değeri yükselir. TCV_{oc} değeri eviricinin minimum giriş voltajı (V_{min}) değeriyle karşılaştırılmaktadır.

$$Voltaj\ değişme\ miktarı = V_{oc} \times \left(\frac{TCV_{oc}}{100} \right) = 37.8 \times \left(\frac{0.292}{100} \right) = 0.1104$$

10°C'de değişme miktarı 0.1104 olmaktadır. -10°C ve 60°C normal çalışma sıcaklığından çıkarıldığında aradaki fark 35 olmaktadır. Voltaj değişme miktarı aradaki sıcaklık farkıyla çarpıldığında;

$$A = 35 \times 0.1104 = 3.8632$$

değeri bulunmaktadır. A değeri bir güneş panelinin -10°C ve 60°C'de değişme miktarıdır. Bir dizide 16 güneş paneli bulunduğundan dolayı A değeri dizi sayısı ile çarpılır. Buna göre;

$$B = A \times Dizi\ sayısı = 3.8632 \times 16 = 61.8106$$

bulunmaktadır. B değeri -10°C 'de voltaj artımı ve 60°C 'de voltaj düşümünü göstermektedir. 16 diziye sahip güneş panellerinin voltaj miktarı;

$$C = \text{Dizi Sayısı} \times V_{oc} = 16 \times 37.8 = 604.8 \text{ V}$$

olmaktadır. C değerini -10°C 'de B değeri eklenerek, 60°C 'de B değeri çıkarılarak eviricinin Voltaj aralığı V_{mpp} değerinin arasında olmasının gözlenmesi gerekmektedir. -10°C 'de;

$$D1 = C + B = 604.8 + 61.8106 = 666.6106 \text{ C}^{\circ}$$

60°C 'de;

$$D2 = C - B = 604.8 - 61.8106 = 542.9894 \text{ C}^{\circ}$$

olmaktadır. -10°C 'de 666.6106 V ve 60°C 'de 542.9894 V değerlerinde çalışmaktadır. V_{mpp} değeri aralığına bakıldığı zaman D1 ve D2 değerleri aralıkta olduğu gözlemlenmektedir. V_{mpp} değeri kontrol edildikten sonra eviricinin Maksimum Giriş Akımı I_{max} değeri için teknik hesaplama yapılacaktır. I_{max} her iki giriş için 33A olmaktadır. Eviricinin A girişi ve B girişi 3 adet olmaktadır. Yani 3 farklı dizinin giriş akımı toplamı etkin olacaktır. Voltaj değerindeki hesaplama gibi -10°C ve 60°C 'de I_{max} değerini geçmemesi gerekmektedir. Yukarıda da bahsedildiği gibi akım sıcaklıkla doğru orantılıdır. Sıcaklık arttıkça akım artar, sıcaklık düştükçe akım azalmaktadır. Bir dizide güneş panellerinin akımları aynı olacağından tek bir güneş panelinin akım değeri $I_{sc} 9.01 \text{ A}$ olmaktadır. 3 diziye sahip olduğumuza göre toplam A ve B girişine akım miktarı;

$$\text{A ve B girişine akım miktarı} = 3 \times I_{sc} = 3 \times 9.01 = 27.03 \text{ A}$$

olmaktadır. Bir güneş panelinin 1°C 'de akım değişim miktarı TCI_{sc} ve I_{sc} değerlerinin çarpımı ile bulunur. Buna göre;

$$\text{Akım Değişim Miktarı} = \text{TCI}_{sc} \times \left(\frac{I_{sc}}{100}\right) = 9.01 \times \left(\frac{0.045}{100}\right) = 0.0041$$

bulunur. 1⁰C’de akım değişim miktarı 0.0041 olmaktadır. -10⁰C ve 60⁰C’de akım değişim miktarları normal çalışma sıcaklığı farkı ve dizi sayısı ile çarpımı ile bulunur. Buna göre -60⁰C’de;

$$E = 0.0041 \times 35 = 0.1435$$

$$F = 27.03 - 0.1435 = 26.8865$$

olmaktadır. E değeri akım değişim miktarı, F değeri -10⁰C’de çalışma akımı değerini göstermektedir. 60⁰C’de;

$$G = 27.03 + 0.1435 = 27.1735$$

olmaktadır. G değeri 60⁰C’de çalışma akım değerini göstermektedir. F ve G değerlerine bakıldığı zaman eviricinin I_{max} değerini geçmediği görülmektedir. Bu durumda kullanılan dizi sayısı ve güneş paneli, seçilen eviriciyle uyumlu olmaktadır. Seçilmiş olan güneş paneli CSUN 265-60P, inverter Sunny Tripower 25000TL bir birine uyumlu dizi ve array yapısıyla uyumlaştırılmıştır. 16X6 array yapısı 1MW’lık güneş santrali için uyumlu bir yapı olmaktadır.

2.2.4 Trafo ve Beton Köşk kurulumu

Güneş enerjisi santralleri elektrik üretimine eviricilerden sonra başlamaktadır. Üretilen elektriğin şehir şebekesine verilebilmesi için santral içerisinde beton köşk kurulumu ve santral alanı dışında da şehir trafosu bulunmalıdır. Trafolar üretilen elektrik enerjisinin yapısını ve frekansını değiştirmeden başka yere gönderilmesini sağlayan elektrik aksamlarıdır. Yapıları büyük olmasından dolayı yüksek gerilime sahiptirler. Üretilen elektriğin taşınması, enerji yapısının ve frekansının değişmemesi için bu yapılara ihtiyaç vardır. Trafolar güneş enerjisi santralleri dışında bulunmaktadır. Kontrollerini bölgesel

olarak dağıtım şirketleri yapmaktadır. Bir güneş enerjisi santralının enerjisini taşıyabilmesi için o bölgedeki trafoda boşluk bulunması gerekmektedir. Dağıtım şirketleri her ayın başında bölgelerindeki trafoların kapasitelerini yayınlamaktadırlar. Boş olan kapasite için dağıtım şirketine başvuru yapılarak, oradaki kapasite belirlenmiş olan güneş enerjisi santraline ayrılmaktadır. Trafolarda boş kapasite olmaması durumunda güneş enerjisini santrali kuran firma kendi trafosunu Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketinin izni alınarak trafosunu kurabilir. Ortalama bir trafo kurulumu kapasitesine göre en az 6 ay sürmektedir.

Beton köşkler güneş santrali içerisinde bulunan küçük trafolar olarak düşünülebilir. Beton köşkların görevi trafolar gibi üretilen elektrik enerjisinin yapısını ve frekansını değiştirmeden dağıtım trafolarına gönderilmesini sağlamaktır. Beton köşkların kapasiteleri güneş enerjisi santralının kurulu gücünden belli bir oranda fazla olmaktadır. Santral alanı içerisindeki bu köşkler eviricilerden gelen elektrik enerjisini toplamaktadırlar. Toplanan elektrik enerjisini dağıtım panosuna taşımaktadırlar.

2.2.5) Topraklama Tasarımı

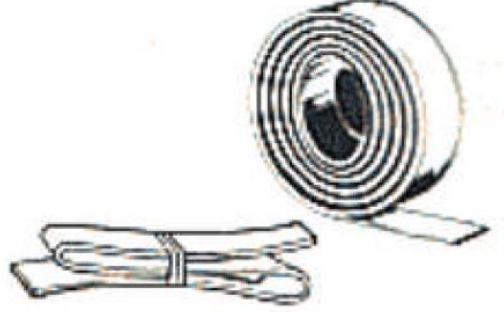
Tüm elektrik tesislerinde olduğu gibi güneş santrallerinde de topraklama tasarımının yapılması gerekmektedir. Topraklamada 21.08.2001 tarihli 24500 sayılı “Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği”[56] kullanılmaktadır. Bu yönetmelikte tesisin kurulması, işletilmesi, denetlenmesi, can ve mal kaybı önlemlerinin alınacağı hükümleri kapsayan yönetmeliktir. Bu yönetmelikteki formüllerle santralin topraklanması için gerekli olan hesaplamalar yapılmaktadır. Güneş santralının topraklanması dışında da yıldırımdan korunma yapılması gerekmektedir. Yıldırım koruması 21.07.1991 tarihli 20936 sayılı “Yıldırımdan Korunma Yönetmeliği”[57] kapsamında yapılmaktadır. Bu yönetmelik kapsamında uyulması gereken standartlar ve hesaplama yöntemleri gösterilmektedir.

İlk olarak Elektrik Tesislerinde Topraklama Yönetmeliğine göre hesaplamalar yapılmaktadır. Elektrik tesislerinde topraklama çeşitleri bulunmaktadır. Bunlar şerit, yıldız, halka, gözlü biçiminde, çubuk, levha topraklayıcılar olmak üzere altıya ayrılmaktadır[50].

2.2.5.1 Topraklayıcı Çeşitleri

2.2.5.1.1 Şerit Topraklayıcılar

Topraklama sisteminin zeminine uygun olarak yuvarlak veya örgülü iletkenden oluşan derinliği az olan topraklama sistemidir. Genel olarak 0.5-1m arasına gömülmektedirler.



Şekil 15 Şerit Topraklayıcı [58, s8]

Şekil-15’de şerit topraklayıcı gösterilmektedir. Bu topraklama tipi kullanıldığı zaman yayılma direnci hesaplanması gerekmektedir. Buna göre toprak özdirenci;

$$R_e = \frac{P_e}{\pi * L} + \frac{2 * L}{d}$$

L= Şerit topraklayıcının uzunluğu (m)

d = Şerit kalınlığının yarısı (m)

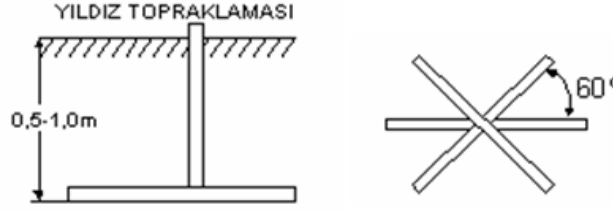
P_e = Toprak özdirenci (Ω.m)

R_e = Toprak Özdirenci(Ω)

formülüyle hesaplanmaktadır. Toprak özdirenci sonucuna göre şerit topraklayıcının kullanılıp kullanılmamasına karar verilmelidir.

2.2.5.1.2 Yıldız Topraklayıcılar

Yıldız topraklayıcılar da sistem topraklaması yapılırken, fazla elektriğin ya da aşırı yükün toprağa akması için kullanılır. Bu tip topraklayıcılar genel olarak elektrik tesislerinin yıldız noktasının topraklaması sağlar. Bu sayede elektrik tesisinin topraklaması genel olarak güven içerisine alınmaktadır.

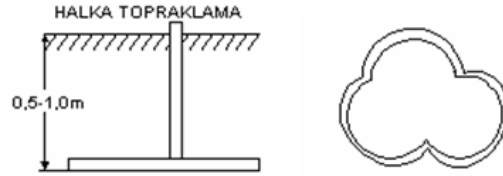


Şekil 16 Yıldız Topraklayıcı [58, s9]

Şekil-16’da yıldız topraklayıcı gösterilmektedir. Bu topraklama sisteminin derinliği 0,5-1m arasında veya topraklayıcıların arasındaki açı 60° olması gerekmektedir. Topraklayıcıların arasındaki açının 60°’den küçük olmaması gerekmektedir. Aşırı yükün veya elektrik akımının toprağa akması için en uygun açı budur.

2.2.5.1.3 Halka Biçimindeki Topraklayıcılar

Halka topraklayıcılar topraklama direncini düzeltmek amacıyla bina ve fabrikalarda transformatör merkezlerinde kullanılmaktadır. 0,5-1m arasında derinliğe gömülmektedirler.



Şekil 17 Halka Topraklayıcı [58, s9]

Şekil-17’de görüldüğü üzere halka biçimindeki topraklayıcılar kullanılmaktadırlar. Bu topraklama sistemi için toprak öz direnci hesabı yapılmaktadır. Buna göre;

$$R_e = \frac{P_e}{\pi^2 * D} * \ln \frac{2 * \pi * D}{d}$$

L = Şerit topraklayıcının uzunluğu (m)

d = Şerit kalınlığının yarısı (m)

P_e = Toprak özdirenci ($\Omega.m$)

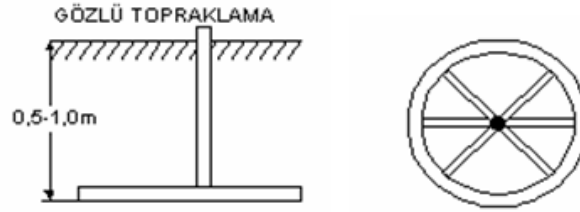
D = Halka topraklayıcının çapı (m)

R_e = Toprak Özdirenci(Ω)

formülüyle hesaplanmaktadır. Toprak özdirenci elverişli olması durumunda halka biçimindeki topraklayıcılar kullanılabilir.

2.2.5.1.4 Gözlü Biçimindeki Topraklayıcılar

Gözlü biçimindeki topraklayıcılar transformatör ve elektrik tesislerinin topraklaması amacıyla kullanılmaktadır. 0,5-1m arasında toprağa gömülmektedirler.



Şekil 18 Gözlü Topraklayıcı [58, s10]

Şekil-18’de görüldüğü üzere gözlü biçimindeki topraklayıcılar kullanılmaktadır. Toprak özdirenci hesaplanması için aşağıdaki formül kullanılmaktadır. Buna göre;

$$R_e = \frac{P_e}{2 * D}$$

P_e = Toprak özdirenci ($\Omega.m$)

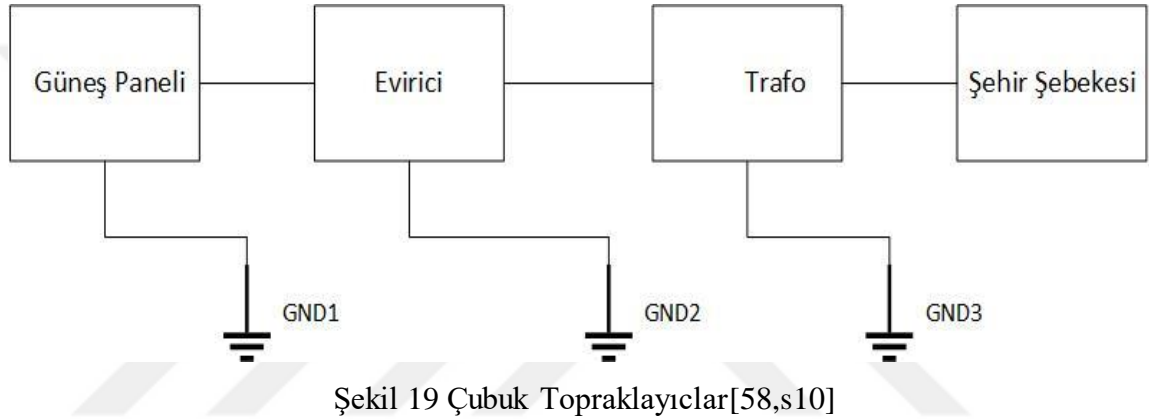
D = Gözlü topraklayıcının çapı (m)

R_e = Toprak Özdirenci (Ω)

formülüyle hesaplanmaktadır. Toprak öz direnci elverişli olması durumunda elektrik tesislerinde halka biçimindeki topraklayıcılar kullanılabilir.

2.2.5.1.5 Çubuk Topraklayıcılar

Boru veya çelikten yapılan, bakır yada başka malzemeden yapılan çubukların toprağa gömülerek yapılan topraklama çeşididir. Bu çubukların toprağa yeterince dik çakılmasıyla yüksek olan elektrik yükünün toprağa akması sağlanmaktadır. Topraklayıcı çubuklarının uzunluklarının, toprak öz dirençlerine göre seçilmesi gerekmektedir.



Şekil-19'da görüldüğü üzere çubuk topraklayıcıların güneş santrallerinde bağlantı yerleri gösterilmektedir. Kullanılan güneş panellerinin topraklanması için her bir panel veya bir dizi üzerindeki paneller topraklanmaktadır. Daha sonra ise eviricilerin topraklanması yapılmaktadır. İnverterlerin topraklanmasındaki amaç aşırı gerilim altındaki inverterlerin gerilimlerinin düşürülmesi sağlanmasıdır. Son olarak santrallerde trafoların topraklanması olmaktadır. Çubuk topraklayıcıların toprak öz direnci hesabı;

$$R_e = \frac{P_e}{2 \times \pi \times l} \times \ln \frac{4 \times l}{d}$$

L= Şerit topraklayıcının uzunluğu (m)

d = Şerit kalınlığının yarısı (m) (burada 0.015m kabul edilmiştir)

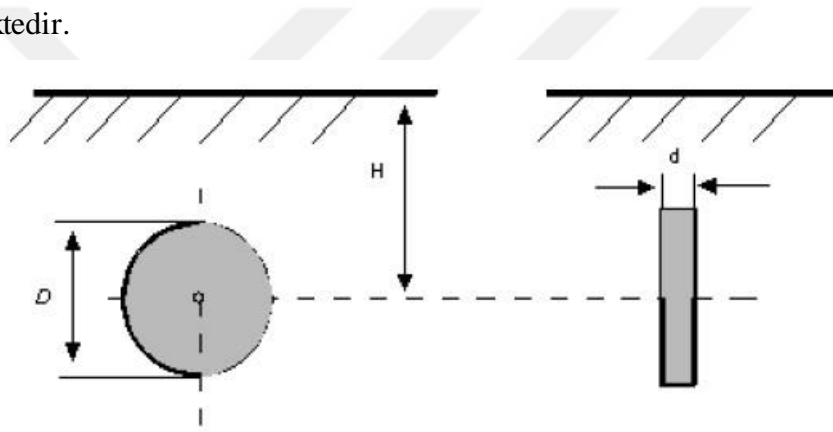
P_e = Toprak öz direnci (Ω.m)

R_e = Toprak Öz direnci(Ω)

formülü ile hesaplanmaktadır. Toprak öz direnci uygun olması durumunda çubuk topraklayıcılar kullanılabilir. Toprak öz direnci uygun olması durumunda çubuk topraklayıcılar kullanılabilir.

2.2.5.1.6 Levha Topraklayıcılar

Levha topraklayıcılar genel olarak iki tip olarak kullanılmaktadırlar. Bunlar daire şeklinde ve kare şeklinde levha topraklayıcıdır. Bu topraklayıcılar toprağın içerisine diğer topraklayıcılara göre daha derine gömülmektedirler. Düşey ve yatay olarak ise farklı kullanım çeşitleri vardır. Düşey olarak gömülen topraklayıcılar için Şekil-19'da kullanımı gösterilmektedir.



Şekil 20 Düşey Gömülen Topraklayıcı [56, s93]

Şekil-20'de göre düşey olarak gömülen topraklayıcıların diğer çeşitlerine göre daha derine gömülmekte olmaktadır. Bu durumda gömülme işleminin yapılması zor olmaktadır. Toprak öz direnci hesabı aşağıdaki formüle göre yapılmaktadır. Buna göre;

$$R_e = \frac{P_e}{2 \times D} \left(0.5 + \frac{d}{4 \times \pi \times H} \right)$$

D = Topraklayıcının çapı (m)

H = Topraklayıcının merkezine göre gömülme derinliği (m)

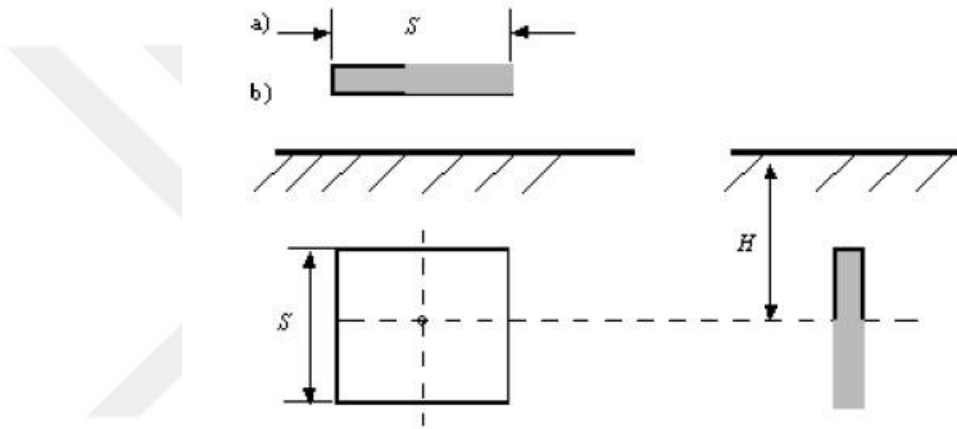
d = Levhanın kalınlığı (m)

P_e = Toprak öz direnci (Ω.m)

R_e = Toprak Öz direnci(Ω)

formülü ile hesaplanmaktadır. Bu hesaba göre toprak özdirencinin uygun olması için kullanılan levhanın kalınlığı ve gömülme derinliği önem göstermektedir.

Kare şeklindeki topraklayıcı çeşidi, ana topraklayıcının toprak altında korozyona karşı etkilenmesini azaltmak ve korumak için kullanılmaktadır. Kare topraklayıcı yüzey ve derine gömülerek kullanılmasıyla iki tipe ayrılmaktadır. Şekil-20’de yüzey ve derine gömülmesine yönelik kullanımı gösterilmektedir.



Şekil 21 Kare Topraklayıcı [56, s94]

Şekil-21’de (a) şekli topraklayıcının yüzeye gömülmesini, (b) şekli topraklayıcının derine gömülmesini göstermektedir. Bu iki çeşit topraklayıcıya göre toprak özdirenci hesabı farklı olmaktadır. Buna göre;

a) Levha topraklayıcının yüzeye tesis edilmesi;

$$R_e = \frac{P_e}{2 \times 2 \times S}$$

b) Levha topraklayıcı derine gömülmesi;

Eğer $H < S$ ise

$$R_e = \frac{P_e}{4 \times 4 \times S}$$

Eğer $H > S$ ise

$$R_e = \frac{P_e}{3 \times S}$$

S = Topraklayıcının bir kenar uzunluğu (m)

H = Topraklayıcının merkezine göre gömülme derinliği (m)

P_e = Toprak özdirenci ($\Omega \cdot m$)

R_e = Toprak Özdirenci(Ω)

formülleriyle hesaplanmaktadır. Toprak özdirenci uygunluğuna göre bu topraklayıcı çeşitleri kullanılabilir. Levha topraklayıcılar için kullanılması gereken levhaların özellikleri TSE-544 standardında belirtilmiştir. Standartta bahsedilen özelliklere göre levhaların kullanılması yapılan hesaplamaların yönetmeliklere uyumluluğunu sağlayacaktır. Tablo-27’de standartta bahsedilen özellikler gösterilmektedir.

Tablo 27 Levha Topraklayıcının Özellikleri [58, s11]

Standart	Kalınlık ve Ebadı	Ağırlık (kg)
"TSE 554 [58]"	"700x700x1 4,3706 [58]"	"700x700x1 4,3706 [58]"
	"700x700x1,5 6,556 [58]"	"700x700x1,5 6,556 [58]"
	"700x700x2 8,742 [58]"	"700x700x2 8,742 [58]"
	"700x700x3 13,112 [58]"	"700x700x3 13,112 [58]"
	"1000x1000x1 8,920 [58]"	"1000x1000x1 8,920 [58]"
	"1000x1000x2 17,840 [58]"	"1000x1000x2 17,840 [58]"
	"1000x1000x3 26,760 [58]"	"1000x1000x3 26,760 [58]"
	"1000x1000x5 44,600 [58]"	"1000x1000x5 44,600 [58]"

2.2.5.2 Özgül Toprak Direnci

Özgül toprak direnci elektrik tesislerinde topraklama yapılırken dikkat edilmesi gereken değerlerden bir tanesidir. Özgül toprak direnci topraklama yapılacak toprak çeşidine göre

toprağın direnci olarak kısaca özetlenebilir. Özgül toprak direncinin yüksek olması elektrik tesislerine kullanılacak topraklama çeşidinin değişmesine yol açabilir ve kullanılan kabloların kalınlığının seçiminde etkilidir. Bu yüzden elektrik tesisinin topraklaması yapılmadan önce özgül toprak direnci hesabının yapılması gerekmektedir. Özgül toprak direnci arazide bulunan toprak yapısına göre değişiklik göstermektedir.

Tablo 28 Özgül Toprak Direnci [58,s12]

Toprağın Cinsi	Toprağın Cinsi Özgül direnç p (Ω.m)
"Bataklık [58]"	"30 [58]"
"Killi toprak [58]"	"100 [58]"
"Rutubetli kum [58]"	"200 [58]"
"Rutubetli çakıl [58]"	"500 [58]"
"Kuru kum ve ya çakıl [58]"	"1000 [58]"
"Taşlı zemin [58]"	"3000 [58]"

Tablo-28'de toprak cinsine göre özgül toprak direnci değerleri gösterilmektedir. Bu değerler dikkate alınarak elektrik tesislerinde topraklama işleminin yapılması gerekmektedir. Ayrıca özgül toprak direncinin hesabı;

$$P_t = \frac{R \times S}{L} = \frac{ohm \times m^2}{m}$$

P_t =Özgül Toprak Direnci (ohm.m)

R= Kablonun direnci (ohm)

S = Kablonun kesiti (m)

L= Kablonun uzunluğu (m)

formülü ile hesaplanmaktadır. Özgül toprak direnci birimi ohm.m'dir. Özgül toprak direncinin değerine göre elektrik tesislerinde kullanılacak alanın genişlemesi, kullanılan topraklama yönteminde yardımcı topraklama yöntemlerinin eklenmesi gibi kararlar verilebilir. Bu durumda özgül toprak direnci değerinin hesaplanması ve buna göre topraklama yöntemi belirlenmesi gerekmektedir.

2.2.5.3 Yayılma direnci

Yayılma direnci elektrik tesislerinde kabloların cinsine, uzunluğuna ve toprak cinsine göre değişiklik göstermektedir. Yayılma direnci topraklama yapılacak elektrik tesislerinde kullanılacak malzemelerin neler olması gerektiğini belirlemede rol oynamaktadır. Yanlış malzeme seçiminde topraklaması yapılmış elektrik tesislerinde aşırı gerilimin elektrik tesisinden uzaklaşması sağlanamayacaktır. Bu durumda elektrik tesisinde çalışan bireylere zarar verir ve büyük çaplı hasarlara sebep olur. Oluşan zararlar sonucunda elektrik tesisinin çalışamaz duruma gelmesi ve iş güvenliği bakımından elektrik tesisinin çalışma koşullarının elverişli olmaması söz konusudur. Yayılma direnci hesabı;

$$R=P_t \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot A}} + \left(1 + \frac{1}{1+h \cdot \sqrt{20/A}} \right) \right]$$

P_t = Özgül Toprak Direnci ($\Omega \cdot m$)

R = Yayılma Direnci (Ω)

L = Gömülmüş toplam iletken boyu (m) (Çubuklar Dâhil)

A = Ağın Kapladığı Alan (m^2)

h = Ağın Gömülme Derinliği (m)

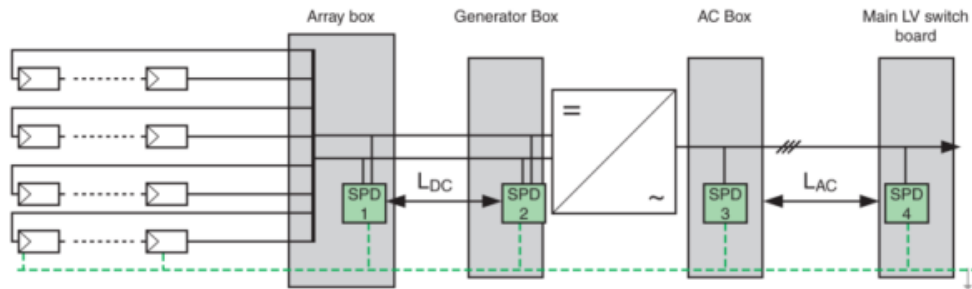
formülü ile yapılmaktadır. Yayılma direnci hesabına göre elektrik tesisinin topraklama tasarımı yapılmaktadır.

2.2.5.4 Güneş Santrallerinde Topraklama Sistemi

Güneş santrallerinde topraklama sistemi ülkemizde Elektrik Tesislerinde Topraklama Yönetmeliği'ndeki hesaplara uygun olarak yapılmaktadır. Genel hatları anlatan bu yönetmelik bazı yönlerden eksik kalabilmektedir. Bu durumda TSE'nin yayınlamış olduğu standartlara ya da uluslararası kuruluşların standartlarına bakılması gerekmektedir. Güneş santrallerinin topraklamasının ülkemizde yönetmeliğe ve standartlara uyumlu olarak yapılması gerekmektedir.

Güneş santrallerinin topraklanmasında ilk olarak güneş panellerinin tek olarak topraklanması ya da dize içerisindeki panellerin grup olarak topraklanması gerekmektedir. Daha sonra inverterlerin kendi içerisinde topraklanması olmasına rağmen yardımcı olarak topraklama yapılması olmaktadır. Sonraki aşamada eviricilerden çıkan elektrik akımı trafoya gitmektedir. Trafonun da topraklanması yapılmaktadır. Son olarak ise güneş santralının genel olarak topraklanması yapılarak sistem tasarımı bitmiş olmaktadır.

Güneş panellerinin topraklanmasında tek olarak topraklama yapılabilmekle birlikte dizi içerisindeki panellerin de grup halinde topraklanması yapılabilmektedir. Panellerin topraklanması için kenarlarında toprak hatları bulunmaktadır. Topraklama hatlarının doğru bağlantısı sağlanarak hattın toprağa uygun topraklayıcı ile toprağa iletilmesi sağlanmalıdır. Panellerin topraklanması sırasında ayırıcı ya da kesiciler kullanılması gerekmektedir. Bunlar aşırı gerilim altında kendilerini korumaya alan küçük sistemler olmaktadır. Bu sistemler sistem tasarımına uyumlu olarak panellerin topraklamasından önce veya inverterlere bağlantı yolu üzerinde kullanılabilirler. Bu sayede aşırı gerilim altında olması durumunda ayırıcı veya kesiciler devreye girerek inverter ve güneş panellerini güvenlik altına alınmış olur. Eviricilerin kendi içerisinde topraklama sistemi olmasına rağmen yardımcı topraklama sistemi kullanılarak aşırı gerilim altında zarar görmesi engellenmektedir. İnverter sonraki sistem parçaları olarak eviriciden çıkan voltajın trafolarla gitmeden önce ayırıcı ve kesiciler kullanılarak aşırı gerilimden etkilenmemesini sağlamaktadır. En son aşamada ise tüm sistemin genel topraklanması yapılarak güneş santralının topraklanması tamamlanmış olacaktır.



Şekil 22 Paneller, Eviriciler Arasındaki Topraklama Şekli [59]

Şekil-22’de görüldüğü üzere güneş panelleri, eviriciler ve son kısım olarak trafoda topraklama şekli gösterilmiştir. Güneş panelleri ve eviriciler arasında, eviriciler ve trafolar arasında koruyucu dalga cihazları kullanılmaktadır. Bu cihazlar ayırıcı ve kesiciler olarak da tanımlanır. Koruyucu dalga cihazlarının özelliklerine göre tip-1,2,3,4 olarak ayrılmaktadır. Koruyucu dalga cihazlarının tiplerine göre özellikleri Tablo-29’da gösterilmektedir.

Tablo 29 Koruyucu Dalga Cihazları Özellikleri [59]

Yeri	PV modül ve ya Array Kutusu		Evirici DC tarafı	Evirici AC tarafı		Ana Hat	
	<10m	>10m		<10m	>10m	Evet	Hayır
Uzaklık	<10m	>10m		<10m	>10m	Evet	Hayır
SPDs tipi	Gerek yok	SPD1 Tip-2	SPD2 Tip-2	Gerek yok	SPD3 Tip-2	SPD4 Tip-1	SPD4 Tip-2

Tablo-29’da koruyucu dalga cihazlarının kullanma mesafeleri kullanılacak tiplere göre gösterilmiştir. Bu sayede güneş santrali sistemi aşırı gerilim altında koruma altına alınmış olacaktır. Koruyucu dalga cihazlarının kullanımı TS EN 61219 ve TS EN 62271-112 numaralı standartlarda anlatılmıştır.

Koruyucu dalga cihazlarının arasındaki kullanılacak kabloların kesit alanları miktarı ve uzunlukları aşağıdaki formülde gösterilmiştir. Buna göre;

$$S_{cmin} = \frac{I_f \times P_c \times L_c \times 10^6}{U_w}$$

S_{cmin} = Kablonun Kesit Alanı (mm²)

I_f = kA cinsinden kablodan akan akım

P_c = $\Omega.m$ cinsinden kablonun öz direnci

L_c = m cinsinden kablo uzunluğu

U_w = kV cinsinden elektronik sistemin darbe dayanımı

formülü ile hesaplanmaktadır. Bu kabloların üzerinden geçmesi gereken akım miktarı (I_f) hesabı da yapılmak zorundadır. Siperli ve siperli olmayan kablolar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kablo üzerinden geçen akımın hesaplanması için;

Siperli kablolar için ; $I_f = 8 \times S_c$

Siperli olmayan kablolar için ; $I_f = 8 \times n' \times S'_c$

I_f = kA cinsinden kablodan akım akım

n' = İletkenlerin sayısı

S_c = mm² cinsinden ekranın kesiti

S'_c = mm² cinsinden her iletkenin kesiti

formülleriyle hesaplanmaktadır. Bu hesapların yapılması sistem üzerindeki devre elemanlarının koruma altına alınması sağlanacaktır. Ayrıca uygun topraklama yöntemi seçiminin yapılmasında yardımcıdır. Güneş santrallerin de topraklama yapılması için gerekli hesaplar anlatıldığı gibi yapılır ve santralin topraklanması tamamlanır.

2.2.6) Yıldırımdan Koruma Sistemleri

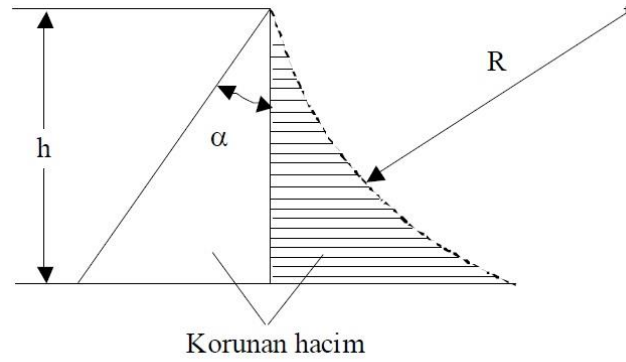
Güneş santrallerinin topraklama sisteminin yapılması yanında yıldırımdan koruma sistemlerinin de yapılması gerekmektedir. Yıldırımdan korunma sistemleri 21.07.1991 tarihli 20936 sayılı “Yıldırımdan Korunma Yönetmeliği”[57] kapsamında yapılmaktadır. Bu yönetmelik sayesinde güneş santrallerinin yakınına yıldırım düşmesi durumunda ya da santral üzerine düşmesi ihtimal durumunda oluşan yüksek gerilimin santralden uzaklaştırılması sağlanmaktadır. Birçok kaynakta olduğu gibi Yıldırım Koruma Yönetmeliği de dış ve iç yıldırımdan korunma sistemleri diye iki sistemden bahseder. Dış yıldırımdan korunmadan kısaca bahsedilecek olduğunda, birçok bina ve elektrik tesisleri yıldırımdan korunmak amacıyla paratoner kullanmaktadır. Kısaca dış etkenlerden korunma yöntemine dış yıldırımdan korunma denir. Bu sistemlerde elektrik tesislerinin çevresinde ya da üzerine düşme ihtimali olan yıldırımların etkilerinin en aza düşürülmesi gerekmektedir. Yıldırım düşmesinden oluşan yüksek gerilim cihazlara ve elektrik tesisatına zarar verebilmektedir. Zararların engellenmesi için paratonerler yani yakalama

uçları kullanılmaktadır. Kullanılacak olan yakalama uçlarının kafes genişliği ve açısı koruma seviyelerine göre tanımlanmıştır.

Tablo 30 Yakalama Uçları Koruma Seviyeleri [57, s6]

Koruma Seviyesi	h (m) R(m)	20 α°	30 α°	45 α°	60 α°	Kafes Genişliği (m)
"I [57]"	"20 [57]"	"25 [57]"	" * [57]"	" * [57]"	" * [57]"	"5 [57]"
"II [57]"	"30 [57]"	"35 [57]"	"25 [57]"	" * [57]"	" * [57]"	"10 [57]"
"III [57]"	"45 [57]"	"45 [57]"	"35 [57]"	"25 [57]"	" * [57]"	"10 [57]"
"IV [57]"	"60 [57]"	"55 [57]"	"45 [57]"	"35 [57]"	"25 [57]"	"20 [57]"

Tablo-30'da yakalama uçlarının koruma seviyelerine göre yerleştirilmesi gösterilmiştir. Yakalama uçları Tablo-30'daki verilere düzenlenerek korunması gereken hacim hesabı Şekil-23'ye göre yapılmaktadır.



Şekil 23 Koruma Alanı [57, s6]

Şekil-23'ye göre Tablo-30'daki veriler kullanılarak düzenlemeler yapılmaktadır. Yakalama ucu düzenlemeleri yapılması sırasında kullanılması gereken levhaların ve boruların kalınlıkları Tablo-31'de gösterilmiştir.

Tablo 31 Levhaların Çeşitleri ve Kalınlıkları [57,s7]

Koruma Seviyesi	Malzeme	t kalınlığı (m)
"I,II,III,IV [57]"	"Fe [57]"	"4 [57]"
	"Cu [58]"	"5 [57]"
	"Al [57]"	"7 [57]"

Tablo-31'deki malzeme yapılarına göre levha kalınlıkları belirtilmiştir. Bu kalınlıklar yıldırım düşmesi durumunda oluşan yüksek gerilimin toprağa akması için gerekli koşullardır. Bu sayede tesis üzerindeki elektronik cihazlar ve elektrik tesisatı zarar

görmeyecektir. Yıldırım koruma yönetmeliğine göre kullanılacak yakalama çubuklarının arasındaki ortalama mesafe de belirtilmiştir.

Tablo 32 Yakalam Uçları Arasındaki Mesafeler [57, s8]

Koruma Seviyesi	Ortalama uzaklık (m)
"I [57]"	"10 [57]"
"II [57]"	"15 [57]"
"III [57]"	"20 [57]"
"IV [57]"	"25 [57]"

Tablo-32’de kullanılan malzeme yapısına göre yakalama çubuklarının arasındaki mesafeler gösterilmiştir. Yakalama çubuklarının birbirine yakın olması durumunda, yıldırım düşmesiyle oluşan gerilimin elektrik sisteminden uzaklaştırılamayacaktır. Bu durumda uzaklaşmayan gerilim elektrik tesisindeki elektronik cihazlara ve elektrik tesisatına zarar verecektir. Oluşan zararın maddi olarak yüksek olmasından dolayı tablo-30,31,32’deki verilere dikkat edilerek dış yıldırım koruması tasarlanması gerekmektedir.

İç yıldırımdan koruma sistemleri 2 koşula bağlı olarak yapılmaktadır. İlk olarak sistem içerisindeki devrelerin potansiyel dengelemesidir. Potansiyel dengeleme voltaj farkından oluşan gerilim farkının sistem içerisindeki devrelerin zarar görmesini engelleyecek gerilim düzeyine gelmesi sağlanmasıdır. Diğer koşul da tesislerin yıldırım koruma sistemlerinin ayırma açıklığıdır. Bu koşulda potansiyel dengelemenin sağlanmadığı durumlarda, kıvılcımlardan etkilenmesini en az düzeye indirilmesi sağlanmalıdır.

İlk koşulun yapılması için Yıldırımdan Korunma Yönetmeliğinde gerekli şartların sağlanması gerekmektedir. En önemli şartlar yıldırım düşmesi durumunda yıldırım akımının büyük kısmını geçiren malzemelerin kesitleri ve yıldırım akımının küçük bölümünü geçiren malzemelerin kesitleridir. Bu kesit alanları koruma düzeylerine göre farklılık göstermektedir.

Tablo 33 Yıldırım Akımının Büyük Bölümünü Geçiren Kuşaklama İletkenlerinin Malzemesi ve En küçük Kesitleri [57, s12]

Koruma Seviyesi	Malzeme	Kesit Alanı (mm ²)
"I,II,III,IV [57]"	"Cu [57]"	"16 [57]"
	"Al [57]"	"25 [57]"
	"Fe [57]"	"50 [57]"

Tablo 34 Yıldırım Akımının Küçük Bölümünü Geçiren Kuşaklama İletkenlerinin Malzemesi ve En Küçük Kesitleri [57, s12]

Koruma Seviyesi	Malzeme	Kesit Alanı (mm ²)
"I,II,III,IV [57]"	"Cu [57]"	"6 [57]"
	"Al [57]"	"10 [57]"
	"Fe [57]"	"16 [57]"

Tablo-33 ve 34’de yıldırım akımını büyük ve küçük bölümünü geçiren malzemelerin kesit alanları verilmiştir. Bu kesit alanlarına uyularak yıldırım koruma sisteminin tasarlanması gerekmektedir.

İç yıldırım koruma sisteminde eş potansiyel dengenin sağlanmadığı durumlarda, metal tesislerin ve hatların, kıvılcımlardan etkilenmemesi için gerekli önlemler bulunmaktadır. Bunlar elektrik tesisindeki iç hatlar ile dış iletkenler arasındaki ayırma açıklığı, güvenlik açısından büyük olması gerekmektedir. Güvenlik açıklığının hesaplanması için;

$$s \geq d$$

$$d = k_i \times \frac{k_c}{k_m} \times l$$

d= Güvenlik açıklığı

k_i= Yıldırım koruma sisteminin koruma düzeyi

k_c= Geometrik boyut

k_m= Ayırma malzemesi

l= Tesislerin yıldırım koruma sisteminden açıklığının dikkate alınacağı noktadan, en yakın potansiyel dengeleme barasına kadar indirme iletkeni boyunca uzunluktur.

s= Ayırma açıklığı

formülü ile bulunmaktadır. Yıldırım koruma sisteminin koruma düzeyi katsayı değerleri (k_i), ayırma malzemesi katsayı değerleri (k_m) tablo-35,36'da gösterilmektedir. Geometrik boyut katsayı değeri (k_c) şekillerde görülmektedir.

Tablo 35 k_i katsayı değerleri [57, s13]

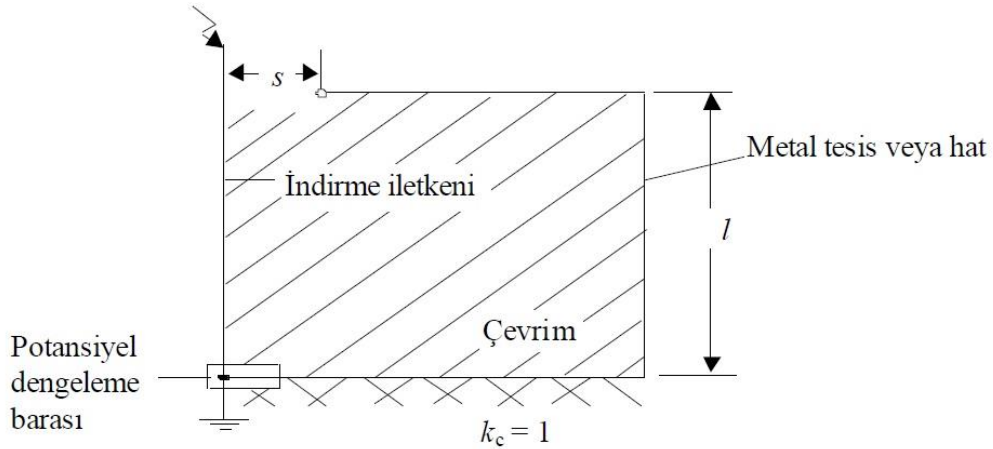
Koruma Düzeyi	k_i
"I [57]"	"0.1 [57]"
"II [57]"	"0.075 [57]"
"III ve IV [57]"	"0.05 [57]"

Tablo-35'e göre yıldırım koruma sistemlerinden koruma düzeyine göre k_i katsayı değerleri gösterilmektedir. Bu değerler koruma düzeylerinin durumuna göre belirlenip yıldırım koruma sisteminin tasarımın yapılması sağlanmalıdır.

Tablo 36 k_m katsayı değerleri [57, s13]

Koruma Düzeyi	k_m
"Hava [57]"	"1 [57]"
"Katı [57]"	"5 [57]"

Tablo-36'ya göre yıldırım koruma sistemlerinden koruma düzeyine göre k_m katsayı değerleri gösterilmektedir. Bu değerler koruma düzeylerinin durumuna göre belirlenip yıldırım koruma sisteminin tasarımın yapılması sağlanmalıdır.



Şekil 24 Yıldırım Koruma Sistemi Açıklığı, $k_c=1$ [57,s65]

Şekil-24'de gösterilen yapıdaki yıldırım koruma sistemlerinde k_c katsayı değerleri 1 olarak alınmaktadır. Bu değer 1 alınması yıldırım koruma sistemlerinin tasarımında

tasarlanması ve geniş alana uygulanmasından dolayı güvenlik açıklığının belirlenmesi gerekmektedir.

Yıldırım koruma sistemi tasarımında koruma seviyeleri seçimi önemlidir. Koruma seviyesi yapıya ya da korunan hacim içerisindeki alanı, yıldırım düşmesi durumunda oluşabilecek tehlikeli gerilimi kabul edilebilir düzeye indirgenmesidir. Koruma seviyeleri yıldırım akım parametrelerine göre belirlenmektedir.

Tablo 37 Yıldırım Parametrelerine Göre Koruma Seviyeleri [57,s15]

Yıldırım Parametresi	Koruma Seviyesi		
	I	II	III ve IV
"Akım Tepe Değeri – I (kA) [57]"	"200 [57]"	"150 [57]"	"100 [57]"
"Toplam Elektrik Yüğü – Q _{top} (C) [57]"	"300 [57]"	"225 [57]"	"150 [57]"
"Darbe Elektrik Yüğü – Q _{darbe} (C) [57]"	"100 [57]"	"75 [57]"	"50 [57]"
"Özgül Enerji W/R (kj/ Ω) [57]"	"10000 [57]"	"5600 [57]"	"2500 [57]"
"Ortalama Diklik d _i /d _t (kA/μs) [57]"	"200 [57]"	"150 [57]"	"100 [57]"

Tablo-37’de yıldırım parametrelerine göre koruma seviyeleri belirlenmiştir. Tablo-37’ye bakıldığı zaman en yüksek olan koruma seviyesi I en tehlikeli durumdur. Koruma seviyesi I durumunda Şekil-24,25,26’ya göre korunacak hacimin tasarlanması gerekmektedir. Hesaplamalara uyumlu olarak tasarlanan yıldırım koruma sistemi yıldırım düşmesi durumunda tehlikeye sebep olmayacaktır.

Yıldırım koruma sistemi tasarlanırken elektrik tesisinin kurulduğu bölgeye göre yıldırım boşalma sıklığının hesaplanması gerekmektedir. Buna göre;

$$N_d = N_g \times A_e \times C_e \times 10^{-6}$$

N_d = Yıldırım boşalma beklenen sıklığı (adet/yıl)

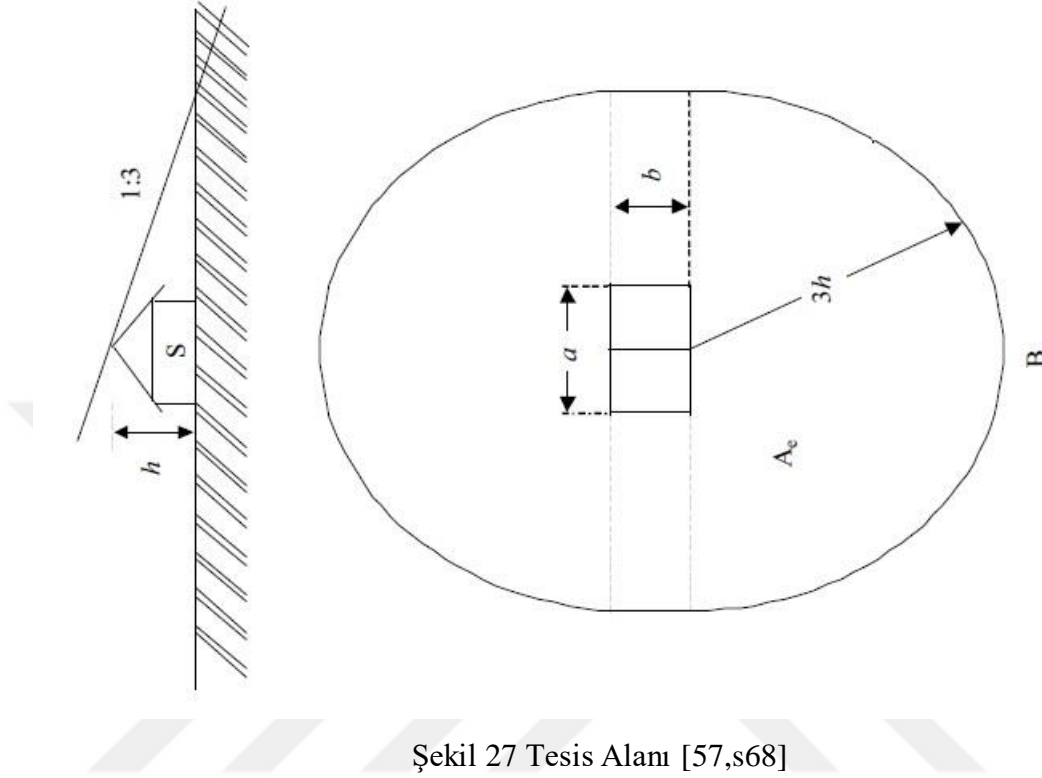
N_g = Toprağa yıldırım boşalma yoğunluğu

A_e = Yapının toplam alanı

C_e = Çevre faktörü

formülü ile hesaplanmaktadır. Yapının toplam alanı (A_e) hesaplanmasında Şekil-25’e göre hesaplanmaktadır. Buna göre;

$$A_e = (a \times b) + 6h \times (a + b) + 9\pi \times h^2$$



Şekil 27 Tesis Alanı [57,s68]

Tesisin toplam alanı yukardaki formüle ve şekil-27'ye göre hesaplanmaktadır. Elektrik tesislerinin farklı bölgelerde kurulumu olacağından dolayı çevre etkisi önemli bir faktördür. Çevre etkisi değerlendirmesi Yıldırım Koruma Yönetmeliğinde belirtilmiştir.

Tablo 38 Çevre Etkisi [56,s17]

Yapının çevresindeki durum	C _e
"Yapının bulunduğu geniş bir alan içerisinde aynı veya daha yüksek yapıların veya cisimlerin (kule, orman) bulunması [56]"	"0.25 [56]"
"Çevresinde küçük binalar bulunan yapı [56]"	"0.5 [56]"
"Ayrık (izole) yapılar, yapının 3h mesafedeki çevresi içinde herhangi bir yapı ve ya cisim bulunmaması durumu [56]"	"1 [56]"
"Tepe üstlerinde bulunan yapı [56]"	"2 [56]"

Yıldırım koruma sistemi bahsedilen parametrelere dikkat edilerek tasarlanmaktadır. Yıldırım koruma sisteminin güvenli olması durumunda yıldırım düşmesi halinde tesis içindeki hiçbir elektronik cihaza ve insana zarar gelmeyecektir.

2.2.7 Santral Kurulumu ve Kontrolü

Güneş santrallerinin kurulumu için Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi'nin (TEDAŞ) yayınlamış olduğu Lisanssız Üretim Yönetmeliği (LÜY) Kapsamında 50kWe Kadar Güneş Enerjisine Dayalı Elektrik Üretim Tesislerinin Tip Şartnamesi bulunmaktadır. Bu şartnameye göre güneş santrallerinin kurulumu gerçekleştirilmektedir. Şartname içerisinde güneş panellerinin, inverterların konulması, statik hesaplamalar, yıldırım koruma ve topraklama sistemleri hakkında bilgi verilmektedir.

İlk olarak güneş santralının kurulacağı alan önemlidir. Alan üzerinde bitki örtüsünün temizlenip güneş panelleri için beton yapıları veya çakma yöntemi uygulanacaksa, zeminin uygun hale getirilmesi sağlanmalıdır. Uygun hale getirilen zeminin üzerine güneş panellerinin konulacağı profiller konulması gerekmektedir. Bu işlemlerin yapımı sırasında İş Sağlığı ve Güvenliği önlemlerinin alınması gerekmektedir.

2.2.7.1 Güneş Panellerinin Kurulması

Güneş santrallerinde elektriğin üretilebilmesi için kullanılan sistem parçası güneş panelleridir. Güneş panellerinin boyutları ortalama olarak 1650x992x40 mm veya 1559x1046x41 mm arasında, ağırlıkları 19-18kg arasında değişmektedir. Boyutları ve ağırlıklar göz önüne alındığında bir çalışanın taşınması gereken ağırlıktan fazladır. Ayrıca güneş panellerindeki hücrelere en küçük darbe durumunda çatlak oluşma ihtimali yüksektir. Çalışanların güneş panellerini yerleştirme sırasında gerekli eğitimlerinin verilmesi ve uygun malzemelerinin bulunması gerekmektedir. Son olarak 24.07.2013 yılında 28717 sayılı "Elle Taşıma İşleri Yönetmeliği'ne"[60] de uyulması gerekir.

Güneş panelleri elektrik üretimi yapan parçalardır. Paneller zeminin en uygun duruma hazır getirildikten sonra zemin üzerine profiller inşa edilmelidir. Zeminin drenajı sağlandıktan sonra profiller inşa edilir. Drenajın önemi santral zemini üzerindeki su birikimine engel olunması ve suyun belirlenmiş yöne doğru yönlendirilerek alandan uzaklaştırılması sağlanmaktadır. Daha sonra zemin üzerine hazırlanan profiller monte edilir.

Güneş panelinin belirlenmiş açıyla durmasının sebebi panel üzerine daha dik açıyla güneş ışığının düşmesi sağlanmasıdır. Bu sayede daha çok elektrik üretimi olacaktır. Profillerin üzerine konulan panellerin üzerinin örtülü olması gerekmektedir. Güneş ışığının gelmesiyle elektrik üretimine başlanmış olacaktır. Bu durum çok risklidir. Çalışanların farkında olmadan yüksek gerilime kapılma olasılığı vardır. Bu sebepten güneş panellerinin mümkünse üzerinin örtülü olması veya panellerin kablolarının proje tasarımına göre kesicilere bağlanması sağlanmalıdır. Bu sayede santralin diğer işlemleri sırasında elektrik geçişi sağlanmayacak olup, çalışan personellerin güvenliği sağlanmış olacaktır.

2.2.7.2 Eviricilerin kurulumu

Eviriciler güneş panellerinden gelen DC akımı AC akıma dönüştürmesini sağlamaktadır. Elektrik gelmeden çalışmayan elektronik cihazlardır. Elektrik gelmesi durumunda yüksek voltaj ve akıma sahip olabilmektedirler. Eviriciler üzerlerine yüksek gerilim uyarı yazısı konulması gerekmektedir.

Eviricilerin güneş santralının tasarımına göre konulması gereken yerler belirlenmiştir. Eviricilerin giriş sayıları kullanılan markaya göre değişmektedir. Projede en uygun yere konulması sağlanmalıdır. Eviricilerden alınan elektrik akımı beton köşk yapısına gönderilmektedir. Bu aşamadan sonra şehir şebekesi için gerekli dönüşümler yapılmaktadır.

2.2.7.3 Beton Köşk ve Trafo kurulumu

Güneş enerjisi santrallerinde üretilen enerjinin şehir şebekesine verilebilmesi için beton köşkler ve trafolarla iletilmesi gerekmektedir. Beton köşkler, eviricilerden gelen DC akımının şebeke trafolarına uyumlu AC akımına dönüştürülmesini sağlamaktadır. Beton köşkün, güneş enerjisi santralının en uygun yerine kurulması gerekmektedir. Herhangi bir acil durumda müdahale için ulaşımı kolay bir konuma sahip olması gerekmektedir. Santrallerin trafoya bağlanmasında alçak gerilim ve orta gerilim kullanılmaktadır. Alçak

gerilimden bağlanan santrallerde beton köşkler 36kVa'ya kadar, orta gerilimden bağlanan santrallerde 630-1000kVa aralığında trafolara bağlanmaktadır. Bu gerilim sınırları şehir şebekesine bağlanmada önemlidir. Tüm şehir şebekesinin alt yapısına uyumlu olarak bağlanmayan santrallerde üretilen elektriğin şebekeye verilememesi ve şebeke sisteminin hasar görmesine sebep olabilmektedir. Gerilim sınırlarına uyumlu olarak beton köşkler yapılarak kurulum tamamlanmaktadır.

2.2.7.4 Güneş Santralinin Devreye Alınması

Güneş santrallerinin kurulumu bittikten sonra santralin kontrolleri yapılmaktadır. Bu kontroller TS HD 60364 ve TS EN 62446 standartlarındaki gerekliliklerine göre yapılmaktadır. TS HD 60364 standardında elektrik tesislerinin güvenliğinin sağlanması için topraklama tasarımı, santral içindeki devrelerin bağlantı kabloları ve koruyucu cihazların kullanımından bahsedilmektedir. TS EN 62446 standardında fotovoltaiik sistemlerin minimum gereklilikleri, dokümantasyonları ve kontrolleri kapsamaktadır. TS EN 62446 standardındaki kontrol işlemleri sırasıyla;

- Kontrol çizelgesi
- Topraklama sisteminin testi
- Polarize testi
- Dizi açık gerilim testi
- Dizi kısa gerilim testi
- Fonksiyonel testler
- Doğrusal akım devrelerin yalıtım testi

içermektedir. Ayrıca alternatif akım testleri yapıldıktan sonra bu testlerin sonuçları rapora eklenmesi gerekmektedir.

Testlerin bitimiyle santralin her bir fazdaki alternatif akım çıkışı 16A'e kadar olan santraller TS EN 50483 standardı kapsamına girmektedir. Tek fazda (230V) 3.68kW ve üç fazda (400V) 11.04kW'a denk gelmektedir. Bu santraller için farklı devreye alma

prosedürü uygulanmamaktadır. Her bir fazdaki alternatif akım çıkışı 16A'den fazlaysa Alçak Gerilim(AG) seviyesinden bağlantı sağlanmalıdır. TS K 191 standardı kapsamına girmektedir. Bu santrallerin güvenliğinin emin olunması için ek prosedürler uygulanabilmektedir.

Güneş santralının devreye alınabilmesi için testler, raporlama işlemi tamamlanmasıyla TEDAŞ yetkilileri tutanak hazırlamaktadır. Tutanağın sonucu olumlu olması durumunda santralin devreye alınması yapılmaktadır. Güneş enerjisi santrali elektrik üretimi işlemine başlamaktadır.



BÖLÜM 3

RİSK DEĞERLENDİRME ANALİZİ

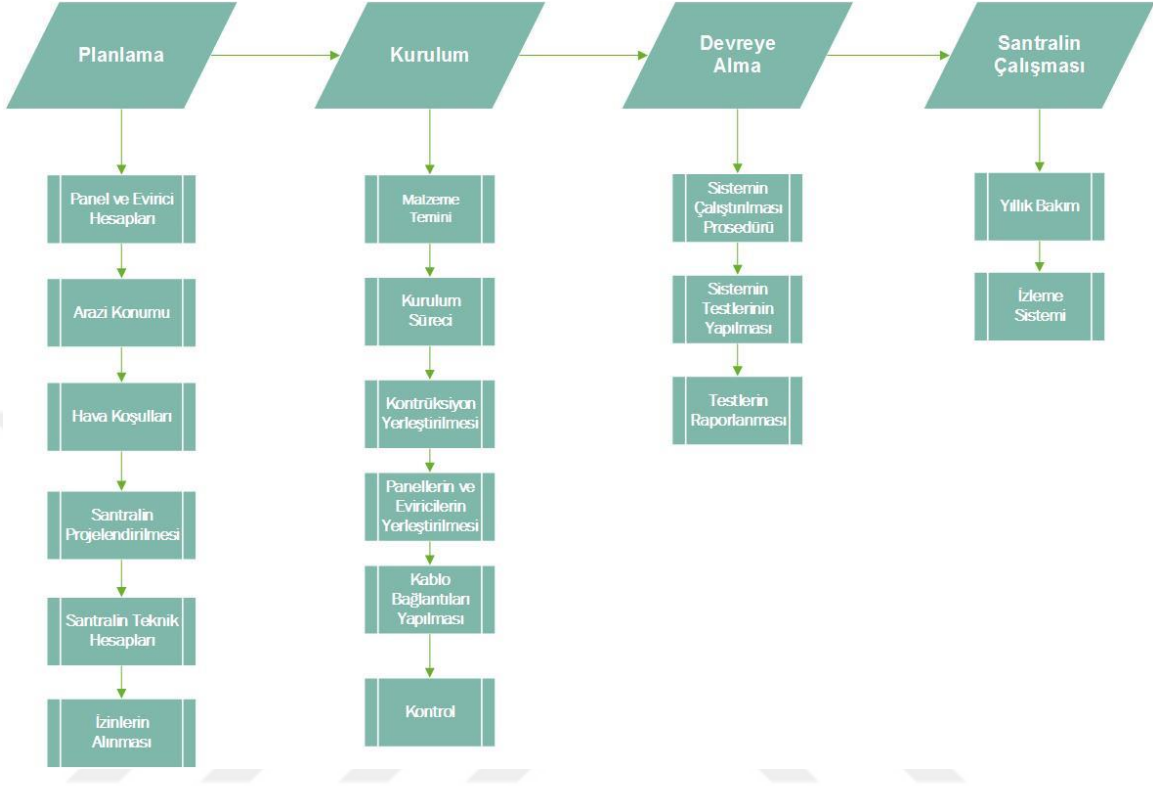
3.1 Risk Değerlendirme Analizi Nedir?

Risk değerlendirme analizi birçok proje uygulamasında gerçekleştirilmektedir. Amacı proje yürütülürken oluşabilecek risklerden doğacak olumsuzlukların önceden belirlenmesidir. Tanımlanan bu riskler sayesinde yatırım yapılan projenin maliyetinin belirlenmiş düzeyde tutulması sağlanmaktadır. Ayrıca projenin uygulanması sürecinde oluşabilecek risklerden dolayı planlanan süre dışına çıkılmaması veya uzaması olabirliği olabilmektedir. Sürenin uzaması durumunda da projeye ek maliyet olacaktır. Ek maliyet olmaması için projenin risk değerlendirme analizinin en iyi şekilde yapılması gerekmektedir. Bu bölümde güneş santrali kurulumunda risk değerlendirme analizi aşamaları anlatılacak, iş sağlığı ve iş güvenliği bakımından analizler yapılacaktır.

3.1.1 Güneş Santralleri Kurulumunda Risk Değerlendirme Analizi

Güneş enerjisi santralleri maliyeti yüksek yatırımlar olduğundan risk değerlendirme analizinin her yönden yapılması gereklidir. Risk değerlendirme analizinin eksik yapılması durumunda kurulum sırasında çalışanların zarar görmesi söz konusu olabilmektedir. Risk değerlendirme analizinin, ulusal/uluslararası standartlara ve kanuni çerçeveye uygun yapılması gerekmektedir. Güneş enerjisi santrallerinde risk değerlendirme analizi aşamaları Tablo-39'da gösterilmiştir.

Tablo 39 Güneş Enerjisi Santralleri Risk Değerlendirme Analizi



Risk değerlendirme analizi aşamalarına göre ilk olarak planlama yapılmaktadır. Sonraki aşamalar olarak kurulum, devreye alma ve santralin çalışması olmaktadır. Planlamada güneş santralının kurulacağı bölgeye ait veriler toplanmaktadır. Bölge verileri olarak rüzgâr hızı, yıllık yağış, kar ve dolu miktarı, yıllık güneşlenme miktarı, bölgenin deprem riski vb. toplanır. Ayrıca panel ve eviricinin verimli çalışabilmesi için de bu faktörlerin doğru hesabı önemlidir. Sonra panel evirici uyum hesapları, teknik hesaplamalar ve gerekli izinlerin alınmasıyla projelendirme yapılır. Ayrıca santralin kurulacağı konuma ve güneş miktarına göre paneller, eviriciler, dağıtım panosu ve bağlantı için kullanılacak kablo özellikleri seçilir. Planlama aşamasında gerekli izinlerin de alınması gerekmektedir. Bu izinler arazinin uygunluğuyla ilgili kurumlardan alınacak belgelerdir. Planlama sürecinde yapılan risk değerlendirme analizleri diğer aşamaları da etkileyeceğinden önemlidir.

Kurulum aşamasında kullanılacak bilgilerin planlama aşamasında edinilmiş olması gerekmektedir. Bu bilgiler arasında kullanılacak güneş paneli ve evirici çeşidi, bağlantı kabloları, topraklama çubukları, yıldırım koruma tasarımı vb. vardır. Kurulum süreci içerisinde idari riskler bulunabilmektedir. Kurulum aşamasında başka bir sorun olarak

güneş paneli, evirici ve diğer malzemelerin temin sürelerinin gecikmesi olmaktadır. Kurulum sürecinde raporlama yapılması çok önemlidir. Projenin ilerleme sürecinin buradan takibi yapılması sağlanarak, planlama aşamasında tahmin edilen risklerle karşılaşılıp karşılaşılmadığı gözlemlenebilir.

Güneş santralini devreye alma aşamasında, sistemin çalıştırma prosedürü ortaya çıkar ve sistemin testleri yapılır. Kurulum tamamen bitirildikten sonra devreye alınması için TEDAŞ'ın görevlendirmiş olduğu memurlar kontrol yaparlar. Bu kontroller planlama aşamasında yapılan çalışmaların kontrollerini de içerir. Kontrollerin başarılı bir şekilde tamamlanması durumunda santralin devreye alınması yapılmaktadır.

Son aşama santralin çalışmasıdır. Santralin çalışması aşamasında tüm izinler ve yetkiler alınmış ve kontroller başarılı bir biçimde sonlandırılmıştır. Santralin çalışmasının uzaktan izlenmesi için elektronik bir izleme sistemi kurulmaktadır. Santralin günlük olarak ne kadar elektrik ürettiği ve santralde her hangi bir sorun oluşup oluşmadığı bu izleme sistemiyle takip edilir.

3.1.2 İş Sağlığı ve İş Güvenliği Risklerinin Analizi

Güneş enerjisi santrallerinde kurulum aşamalarına göre iş sağlığı ve güvenliği riskleri belirlenmelidir. Planlama aşamasından sonraki risklerin en aza indirilmesi için ilk olarak bölgenin güneşlenme süresine göre panel ve evirici hesaplarının yapılması gereklidir. Bu hesaplamaların bölgenin coğrafi konumundan etkilenen güneşlenme miktarına göre yapılması gerekmektedir. Planlama sürecinde gerekli izinlerin alınması da önemlidir. Çünkü projelendirme bittiğinde izinlerden birinin eksik olması durumunda kurulum sürecine geçilememektedir. Santralin teknik hesaplarının doğru yapılmaması durumunda, santralin devreye alınma aşamasında sistemin çalışmaması veya zarar görmesi söz konusu olacaktır.

Santralin devreye alınma aşamasında iş sağlığı ve güvenliği bakımından çalışanlara zarar verebilme durumu da söz konusudur. Santralin teknik hesaplamaları içerisinde

kullanılacak kablo özellikleri, kabloların gömülmesi gereken derinlik, arazinin jeolojik yapısı, statik, kaçak akım, topraklama ve yıldırım hesaplamaları vardır. Örneğin topraklama hesabı yanlış yapıldığında sistem çalışması sırasında fazla akım oluşacağından veya gerilimin santralden uzaklaşmasını sağlayamayacağından dolayı, santralin kurulu olduğu arazide fazla akım ve gerilim birikmesi olacaktır. Bu fazla akım ve gerilimin çalışanların üzerinden toprağa geçme tehlikesi oluşacaktır. Bu durumda çalışanlara zarar verecektir. 300 mA'den fazla akım ve 1000V'a yakın olan gerilim insan vücudu için ölümcüldür. Böyle bir kazanın ölümle sonuçlanması kuvvetle muhtemeldir[61].

Yıldırım koruma hesaplarının yanlış olması durumunda düşen yıldırım yüzünden santraldeki sistemlerde büyük zararlar oluşacaktır. Örneğin yıldırım sonucu paneller ve eviriciler bozulabilir. Bu iki sistem parçasının bozulmasıyla santral elektrik üretimi duracaktır ve maliyet kaybı başlayacaktır. Yıldırım düşmesi durumunda yüksek akım ve gerilim oluşmaktadır. Bu akım ve gerilimin yanlış yıldırım koruma sistemleriyle uzaklaştırılmayacağından dolayı çalışanların ölümüyle sonuçlanan zararlar oluşacaktır.

Arazinin jeolojik yapısı ve statik hesaplamaların yanlış olması durumunda santral kurulumu yapıldıktan sonra sistem parçalarının zarar görmesi muhtemeldir. Arazinin jeolojik yapısı incelenirken taşıma kapasitesi üstünde kurulum yapılması durumunda santralin yıkılması durumuyla karşı karşıya kalınacaktır. Bu durumda çalışanların santralin yıkılma durumunda altında kalmasıyla ölümle sonuçlanabilecek zararlar görmesi mümkündür. Statik hesapların yanlış hesaplanması durumunda da santralde zararlar oluşacaktır. Örneğin rüzgâr hızına göre statik hesabın yanlış yapılması konulan panellerin yerinden uçmasıyla çalışanlara ya da başka sistem parçalarına zarar vermeleri muhtemeldir. Bu durumda çalışanların sakatlıkla sonuçlanabilecek zararlar görmesi mümkündür. Ayrıca uçan panellerin diğer sistem parçalarına zarar vermesi bakım onarım maliyetini artıracak unsurlardandır.

Kurulum aşamasındaki adımlar malzeme temini, kurulum süreci, konstrüksiyon yerleştirilmesi, paneller ve eviricilerin yerleştirilmesi, kablo bağlantılarının yapılması ve son kontrollerdir. Güneş panellerinin projedeki konumuna yerleştirildiği andan itibaren

elektrik üretme özelliği vardır. Santralin kurulumu bitmediğinden dolayı şehir şebekesine iletim söz konusu değildir. Bu durum güneş panelinin bulunduğu yerde elektrik kaçağına yol açacaktır. Ayrıca santral çalışanları işlerine devam edeceklerdir. Bu durum çalışanların sağlığını tehlikeye düşürmektedir. Çalışanların sağlığının tehlikeye düşmesi durumunda elektrik kaçağı oluşabilecek yerlerde gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

Malzeme temini sürecinde gecikme yaşanması durumunda santral kurulumu gecikmektedir. Bu da sadece maliyet yükselmesine neden olacaktır. Konstrüksiyon, panellerin ve eviricilerin yerleştirilmesi sürecinde planlama aşamasında yapılan hesaplamaların yanlış olması durumunda kurulan sistem parçalarının çökmesi muhtemeldir. Bu durumda çalışanların yaralanması veya sakat kalması mümkündür. Kablo bağlantıları sürecinde yanlış bağlantı sonucunda bir sonraki devreye alma aşamasında sistem parçalarının zarar görmesi ve çalışanların yaralanması mümkündür. Bu süreç bir sonraki aşamayı etkilediğinden tekrardan kablo bağlantılarının düzeltilmesi ek maliyet oluşturacaktır. Son olarak kontrol sürecinde, kurulum sırasında planlamalar, teknik hesaplar, bağlantılar ve diğer sistemlerin yerleştirme kontrolleri yapılmaktadır. Bu süreç kurulum aşamasının başlamasından bitmesine kadar olan süreçtir. Yapılan bir hata kurulum sürecinde düzeltilme fırsatı sağlayarak çalışanların zarar görmesini engellemekte ve ek maliyetleri düşürmektedir.

Devreye alma aşamasında santralin çalıştırma prosedürünün oluşturulması, testlerin yapılması ve raporlanması adımları vardır. Santralin çalıştırma prosedürü oluşturulduğunda santralin kontrollü biçimde çalıştırılması sağlanacaktır. Bu sayede risklerin en aza indirgenmiş olmasıyla birlikte sistemin ve çalışanların zarar görmesi engellenmiş olacaktır. Santralin testlerinden bazıları topraklama, yıldırımdan koruma ve kaçak akım testleridir. Bu testlerin yapılmasıyla santralin güvenliği test edilmiş olacaktır. Testlerin başarılı olmasıyla santralin çalışması aşamasına geçilecektir.

Santralin çalışması aşamasında santralin yıllık bakımı ve izleme sisteminin uyarılarına göre hareket etme adımları vardır. Santralin yıllık bakımı sırasında kar, yağmur, dolu gibi hava koşullarından dolayı üst kısmı kirlenmiş paneller temizlenir, zarar görmüş paneller

onarılır. İzleme sistemi güneş santralini kontrolünü sağlamaktadır. Santralin günlük ne kadar elektrik ürettiğini, sistem parçalarının arızalanma uyarısını ve santralin bulunduğu bölgenin hava koşullarını göstermektedir. Ayrıca santralde arıza olma durumunda hemen müdahale etme olanağı sağlamaktadır. Bu sayede elektrik üretiminde kayıp olması engellenmekte ve kazanç kaybı azaltılır. Herhangi bir arıza durumunda riskler önceden bilinmesiyle santral çalışanları bilgilendirilerek çalışanların da güvenliği sağlanmış olur.

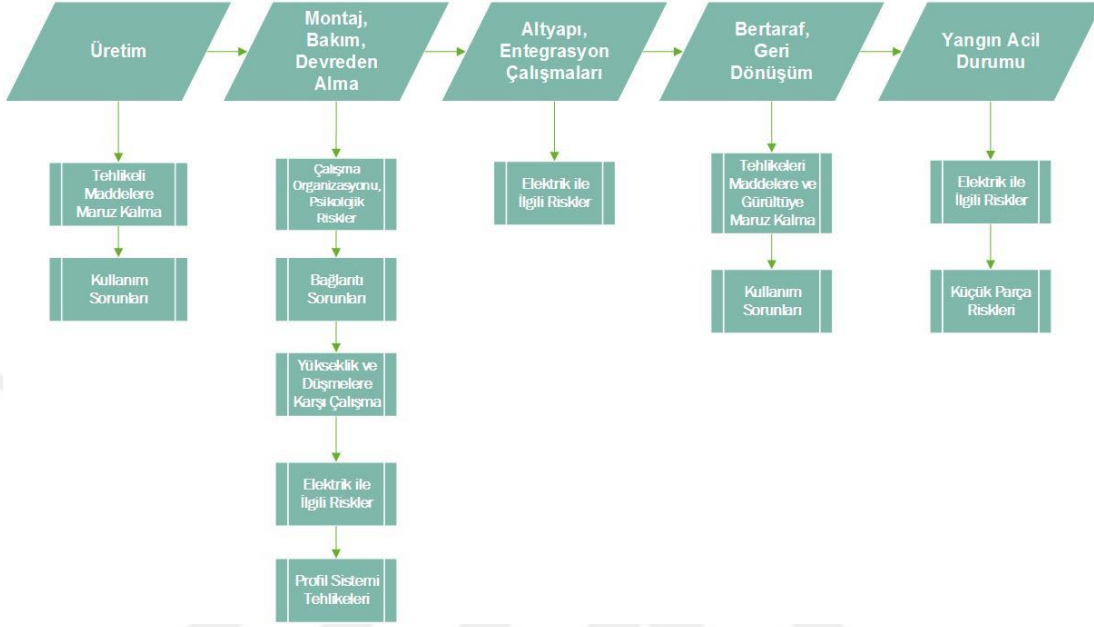
3.1.3 Güneş Enerji Santrallerinde İSG Kontrol Listeleri ve Risk Değerlendirme Tabloları

Güneş enerjisi santrallerinin tüm ülkelerde kurulumu yapıldığı için uluslararası kuruluşların hazırlamış olduğu kontrol listeleri ve risk değerlendirme tabloları bulunmaktadır. Bazı kuruluşların sadece kontrol listeleri bazılarının hem kontrol listeleri hem risk değerlendirme tabloları vardır. Kontrol listeleri daha kolay ve anlaşılabilir. Risk değerlendirme tabloları ise formu dolduran kişiden daha fazla katkı bekler.

3.1.3.1) İş Sağlığı ve Güvenliği Avrupa Ajansı (European Agency for Safety and Health at Work)

İş Sağlığı ve Güvenliği Avrupa Ajansı (European Agency for Safety and Health at Work) adlı kurumunun yayınlamış olduğu kontrol listesi iş kazalarının ve sağlık bozulmasının önlenmesi ile ilgilidir. Kontrol listesi ile beraber örnek tedbirler de verilmiştir. Bu kontrol listesi Tablo-40'da belirtilen beş başlık atındadır.

Tablo 40 Güneş Enerji Sektöründe Sağlık İş Kazaları ve Zararlarının Sağlık Bozulmasının Önlenmesi İçin Kontrol Listesi [62]



Tablo-40’da kontrol listesinin ana başlıkları gösterilmektedir. İlk başlık olan üretimde belirtilen riskler tehlikeli maddelere maruz kalma ve elleçleme sorunlarıdır. Güneş panelleri kullanıldığı malzemeye göre tehlikeli madde sınıfına girmektedir. Bunun için çalışanların kişisel koruyucu donanım kullanması gerekmektedir. Sadece tehlikeli maddelere karşı eğitim almış kişilerin çalışması uygundur. Üreticinin acil eylem planının olması gerekmektedir. Elleçleme sorunları içerisinde çalışanların eğitimlerinin verildiğine ve elleçlemeyle oluşabilecek risklerin azaltılıp azaltılmadığına bakılmaktadır. Bir sonraki kontrol listesi başlığı montaj, bakım ve devreden almadır. Bu başlık çalışma organizasyonu ve psikolojik riskler, yükseklikte bağlantılar ve düşmelere karşı çalışma, elektrik ile ilgili riskler, profil sistemi risklerini içermektedir. Çalışma organizasyonu ve psikolojik riskler kısmı çalışanların risklerine göre iş bölümü yapılması, çalışma prosedürlerinin belirlenmesi ve son olarak kurulumu yapılacak yapı hakkında bilgilerin verilmesini içermektedir. Yükseklikte bağlantılar ve düşmelere karşı çalışma riskleri daha çok çatı uygulamalarında görülmektedir. Arazi uygulamalarında daha çok montajlaması yapılan profiller hakkında risklerden bahsedilmektedir. Elektrik ile ilgili riskler kısmında güneş panellerinin bağlantılarının doğru olmaması durumunda oluşabilecek riskler tanımlanmıştır. Tanımlanan bu risklere karşı alınması gereken önlemler belirtilmiştir. Son

olarak profil sistemi risklerinden ve kurulan profillerin yapılan teknik hesaplamalara uygun olarak kurulumunun yapılmasından bahsedilmektedir.

Altyapı entegrasyonu ve operasyon çalışmaları kontrol listesinde elektrik ile ilgili riskler vardır. Bu riskler içerisinde iş bölümü yapılan kurulum sürecinde, belirlenmiş olan çalışanlar tarafından çalışmaların yapılıp yapılmadığına bakılmaktadır. Ayrıca güneş panelleri montajında tek çalışan değil, yardımcı çalışanların olup olmadığına da bakılmaktadır.

Bertaraf ve geri dönüşüm kontrol listesinde tehlikeli maddeler ve gürültüye maruz kalma ve kullanım sorunlarına odaklanılmıştır. İlk olarak çalışanların güneş panelleri ve profillerin yerleştirilmesi sırasında oluşan gürültünün belirlenmiş sınır içerisinde kaldığına bakılmaktadır. Kullanım sorunları riskleri içerisinde montajı yapılırken kullanılan aletler hakkında eğitimlerin verildiği, çalışma ortamının koşulları ve kişisel koruyucu donanımların kullanıldığı kontrol edilmektedir.

Yangın acil durumu kontrol listesi içeriğinde elektrik ile ilgili riskler ve küçük parça riskleri tanımlanmıştır. Elektrik ile ilgili riskler kısmında çalışmalar sırasında güvenli mesafe oluşturulması ve acil eylem planının olup olmamasına bakılmaktadır. Küçük parça riskleri içinde kurulum sırasında kısa devreye sebep verecek parçaların temizliği ve toplanması hakkında kontrol listesi oluşturulmuştur[62].

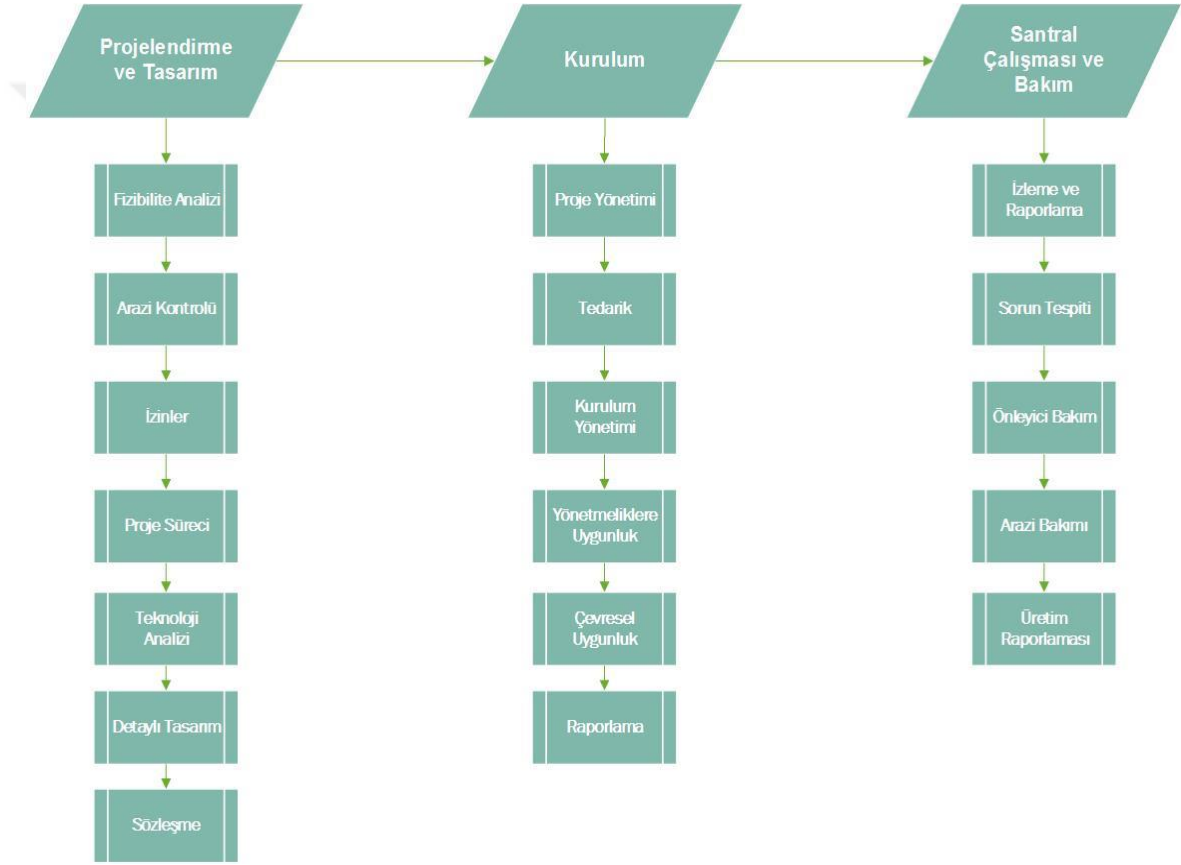
3.1.3.2) Underwriter Laboratories (UL) ve National Renewable Energy Laboratory (NREL)

Underwriter Laboratories (UL) Amerikan merkezli, güvenlik konusunda faaliyet gösteren bir sertifikasyon kurumudur. Amerika kıtasında bu kurumun yayınlamış olduğu standartlara uyulmaktadır. Güneş Enerjisi Santralleri üzerine yayınlamış olduğu standartlar ve risk analizi raporları bulunmaktadır. Bu raporlar ve standartlara göre güneş enerjisi santrallerinin kurulumu yapılmaktadır. Ayrıca güneş enerjisi santralleri risk yönetimi hakkında bilgilerde sunulmaktadır. Raporlara göre güneş enerji santralleri geliştirme süreçleri hakkında bilgiler verilmektedir. UL'ye göre güneş enerjisi santralleri geliştirme süreçleri içerisinde risk analizi yapılabilmektedir. Geliştirme süreçleri sırasında yapılan

risk analizleri sayesinde belirlenen risklerin önlemleri alınabilir. Bu sebeple kontrol listesi oluşturulmakta ve santralin kurulumu için hazırlanan kontrol listesi takip edilebilmektedir.

UL'in hazırlamış olduğu kontrol listesi projelendirme ve tasarım, kurulum, santral çalışması ve bakım olarak üç bölüme ayrılmaktadır. Tablo-41'de güneş enerjisi santrallerinde kontrol listesi gösterilmektedir.

Tablo 41 Güneş Enerjisi Santrallerinde Kontrol Listesi [63]



UL'in kontrol listesindeki ilk aşama projelendirme ve tasarımıdır. Bu aşama da yedi kısma ayrılmaktadır. Bunlar fizibilite analizi, arazi kontrolü, izinler, proje süreci, teknoloji analizi, detaylı tasarım ve sözleşmeden oluşmaktadır. İlk olarak fizibilite analizi kısmı, projenin nerede yapılacağı, güneş miktarının ne kadar olduğu, yıllık elektrik üretimi ve satış fiyatı gibi analizleri içermektedir. Bu kısımda en önemli olan nokta güneş miktarının ne kadar olduğu ve yıllık üretim miktarının belirlenmesidir. Güneş miktarına göre üretilen elektrik miktarı değişiklik göstereceğinden dolayı yapılan yatırımın geri dönüşü

de ona göre değişecektir. Bu kısımda yapılan kontroller ilerleyen aşamaların temelini oluşturmaktadır. İkinci kısım arazi kontrolüdür. Arazi kontrolü içerisinde arazinin jeolojik yapısı, çevresindeki bitki türleri, toprağın kaldırma yükü ve hava koşullarına bakılmaktadır. Bu kısımda arazinin jeolojik yapısı ve toprağın kaldırma yüküne bakılarak santralde kurulacak olan panel, evirici, profillerinağırlığı belirlenir ki bu santralin tasarımı için önemlidir. Kurulacak olan santralin ağırlığının toprak kaldırma yükünden fazla olmaması gerekmektedir. Hava koşullarına panel ve profillerin statik analizleri yapılırken de bakılması gerekmektedir. Statik analizlerin yanlış olması sonucunda hava koşullarına dayanıklı olmayan profiller yapılmasıyla santral yıkılabilir. nc kısımda izinler vardır. Güneş enerjisi santralleri kurulurken devletlerin belirlemiş olduğu kuruluşlardan izinler alınması gerekmektedir. Bu izinler alınmadığı durumda santral kurulumu durdurulabilir ya da kurulumun yapılmasına izin verilmeyebilir. Böyle bir durum yapılan bütün çalışmalar, yatırımların boşa çıkmasına sebep verecektir. Dördüncü kısımda proje sürecidir. Proje süreci santral kurulumlarında önemlidir. Çünkü proje sürecinin planlama kısmının iyi olmasıyla birlikte kurulumun bitmesi ve karşılaşacak sorunlara göre sürecin de iyi devam etmesi sağlanır. Buradaki riskler önceden belirlenip proje sürecinin risklere göre hazırlanması gerekmektedir. Beşinci kısım teknoloji kontrolüdür. Güneş enerjisi santralleri farklı teknolojilere sahiptir. Farklı teknolojilere sahip olmasından dolayı kurulması en verimli teknolojinin seçilmesi daha uygun olacaktır. Altıncı kısım detaylı tasarımdır. Detaylı tasarımda santral içerisinde kullanılacak paneller ve eviricilerin uyumu, kablo hesapları, yıldırım koruma ve topraklama hesapları yapılır. Devlet kurulumları bu hesapların sonuçlarının doğruluğuna göre izinlerin verilip, verilmemesine karar vermektedir. Bu yüzden detaylı tasarımda yapılacak hatalar izinlerin alınamamasına, izinler alınsa bile santral kurulumu bittikten sonra çalışma evresinde santralin çalışmaması gibi sorunları ortaya çıkacaktır. Bu yüzden teknik hesapların doğru bir Şekilde yapılması önemlidir. Son kısım sözleşmelerdir. Bu sözleşmeler kurulumu yapacak firma ile sözleşme, devlet kurumlarıyla olan sözleşmeler ve son olarak santralin sigorta sözleşmesidir. Sözleşmelerin her detayı düşünülüp hazırlanmasıyla, santral içerisinde oluşabilecek risklere karşı önlemler alınmış olacaktır.

Kontrol listesindeki ikinci aşama kurulumdur. Kurulum aşamasının kısımları proje yönetimi, tedarik, kurulum yönetimi, yönetmeliklere uygunluk, çevresel uygunluk ve

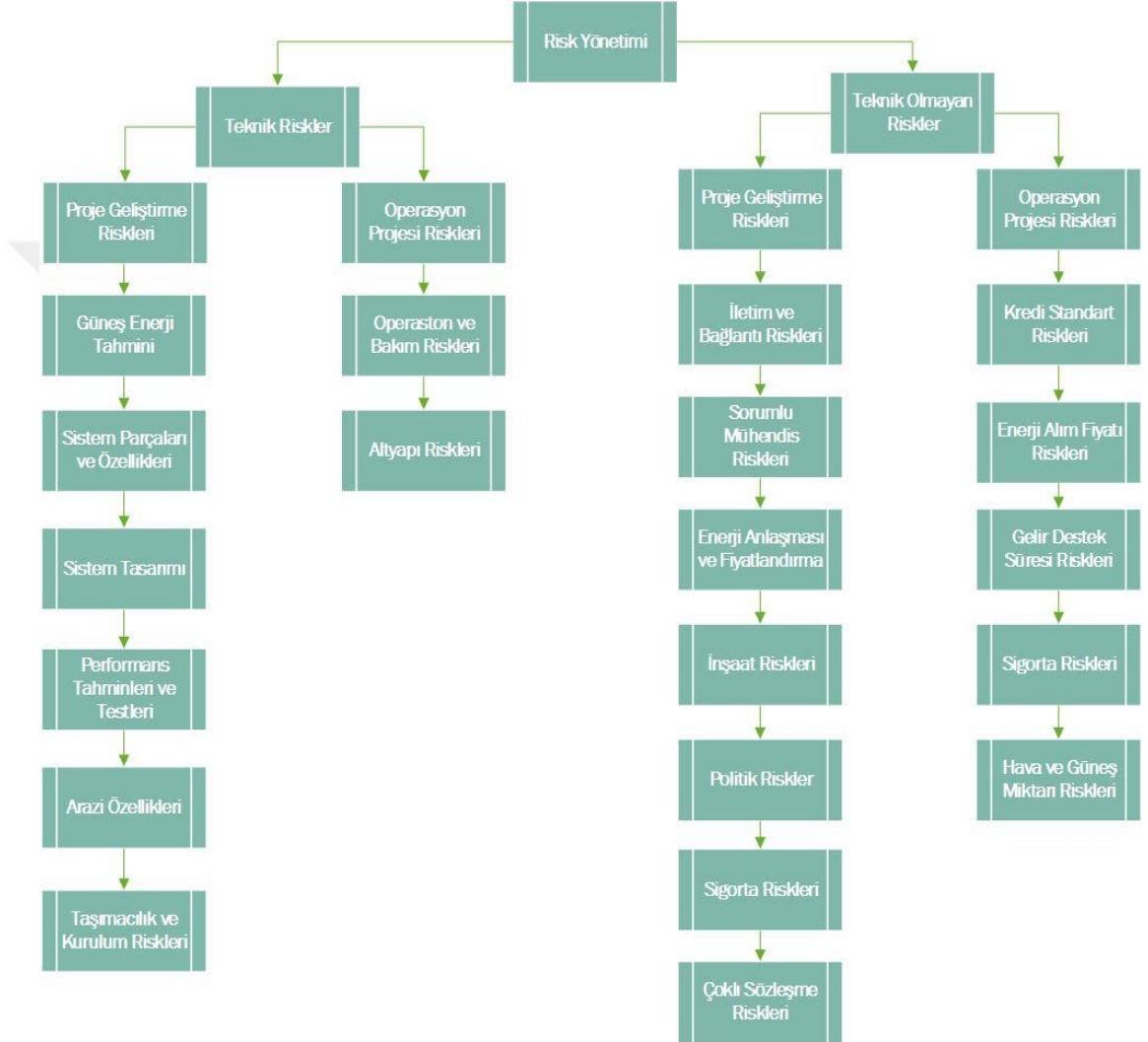
raporlamadır. İlk adım olan proje yönetiminde kurulum sırasında çalışanların neler yapacağı önceden belirlenir. Sıralama şeklinde çalışanların bölümlere ayrılarak, kurulumun yapılması iş sürecini hafifletecektir. Bu sayede proje süresinde bitmiş olacaktır. İkinci kısım tedariktir. Proje başlamasıyla paneller, eviriciler, kablolar vb. malzemelerin saha alanına gelmesi gerekmektedir. Proje başlamadan önce sipariş verilen malzemelerin belirlenmiş olan iş zamanında gelmesiyle kurulum devam eder. Siparişlerin gecikmesi durumunda proje süresinin uzaması, ek maliyet oluşur. Bu risklere karşı önlemlerin alınması sağlanmalıdır. Üçüncü kısım kurulum yönetimidir. Kurulum yönetimi iş planının önceden belirlenip, iş planı sıralamasına göre kurulumun yapılmasıdır. İş planının aksama olabilirliği sıklıkla tedarik kısmında siparişlerin gecikmesinden kaynaklanır. Ayrıca kurulum sırasında panellerin, eviricilerin, kabloların konulması sırasında iş sağlığı ve güvenliği tehlikeleri oluşabilmektedir. Bu yüzden çalışanlara eğitimlerin verilmesi gerekmektedir. Eğitimi alan çalışanlarda bile dikkatsizlik veya iş yetiştirme stresiyle kazalar oluşabilecektir. Bu kazaların oluşmaması için gerekli önlemlerin alınması ve kazalar gerçekleşse bile acil eylem planının devreye sokulması sağlanmalıdır. Acil eylem planı veya risklere karşı gerekli önlemler ilk başta proje yönetiminde belirlenir ve kontrolü kurulum yönetiminde yapılır. Dolayısıyla önceden belirlenen risklere karşı önlemler alınmış ve acil eylem planı hazırlanmış olur. Dördüncü kısımda ise yönetmeliklere uygunluk aranır. Kurulum sırasında yönetmeliklere bağlı olarak çalışanların iş sağlığı ve güvenliği bakımından önlemlerin alınıp, alınmadığına dair kontroller yapılır. Çalışanların güvenliği için yönetmeliklere uygun şekilde çalışması ve kişisel koruyucu donanım kullanması, risklere karşı önlemler alınması sağlanır. Beşinci kısım çevresel uygunluktur. Bu kısımda daha çok arazinin bulunduğu hava koşullarına göre santralin kurulumunun yapılmasına dikkat edilir. Ayrıca yapılan santralin bölgedeki doğaya zarar verip vermediği kontrol edilir. Doğanın yapısının bozulması gibi bir durum olması durumunda yıllar içerisinde santrale zarar verme durumu söz konusu olabilir. Örneğin, önceden dere yatağı olan kurumuş bir araziye santral kurulumunda, beklenmeyen aşırı yağmur yağması, kar suyunun akması halinde fazla suyun santral arazisinin kullanarak gitmesi sağlanacaktır. Bu durumda santral üzerindeki tüm yapıların zarar görmesi ve santralin yıkılmasına kadar zararlar olabilecektir. Dolayısıyla santralin kurulacak olan araziye zarar verilmeden ve geçmişini incelenerek yapılması gerekmektedir. Altıncı kısım raporlamadır. Raporlama

kısımında iş planı süreci, sipariş verilen malzemelerin süresi, çalışanların kazaya maruz kalması vb. proje ile ilgili olan bilgiler verilmektedir. Bu bilgiler santral kurulumunun nerede olduğu, risklere karşı oluşan kazalar için oluşturulan acil eylem planının işleyişi hakkındadır. Bu sayede santral kurulumunun güvenilirliği ve yönetmeliklere uyumluluğu gözetilir.

Kontrol listesinde üçüncü aşama santral çalışması ve bakımındır. Bu kontrol listesi beş kısma ayrılmaktadır. Bunlar izleme ve raporlama, sorun tespiti, önleyici bakım, arazi bakımı, üretim raporlamasıdır. İlk kısım izleme ve raporlamadır. Bu kısımda santralin çalışma devresinde üretilen elektrik miktarı, arıza kontrolünü sağlayan sistemler bulunmaktadır. Bu sistemlere uzaktan kontrol sistemi de denmektedir. Uzaktan kontrol sistemi sayesinde santralin çalışması sırasındaki tüm bilgilere İnternet sayesinde ulaşılabilir. Dolayısıyla santralin kontrolü uzaktan yapılabilir. Önceden belirlenmiş olan risklere karşı alınmış olan önlemlerin kontrolü, arıza durumunda acil müdahale etme fırsatı sunabilmektedir. İkinci kısım sorun tespittir. Sorun tespiti uzaktan kontrol sistemleri sayesinde yapılabilir. Bu sayede santralde oluşabilecek arıza durumunda müdahale etme fırsatı sağlanabilmektedir. Sorunun tespiti sağlandığı zaman üretim kaybı olmadan uzaktan ya da santral görevlisi sayesinde sorunun giderilmesi hızlı bir şekilde olacaktır. Üçüncü kısım önleyici bakımdır. Önleyici bakım önceki kısımlardan izleme ve raporlama, sorun tespiti ile ilişkilidir. İlk iki kısmın doğru planlanmasıyla santral üzerinde oluşabilecek zararlar ve sorunlar önceden belirlenmiş olur ve acil eylem planıyla da bakım sağlanır. Dördüncü kısım arazi bakımındır. Arazi bakımı santralin arazi üzerine çimen, çakıl taşlarıyla düzenlenmesi durumunda bunların bakımının periyodik olarak yapılmasıdır. Son kısım üretim raporlamasıdır. Uzaktan kontrol sistemleri sayesinde santralin günlük olarak hava koşulları, üretim miktarı vb. durumlar için raporlaması yapılır. Bu kayıtlar santral içerisindeki bilgisayar hafızasında ve işletmeci şirketin sunucularında tutularak, istenildiği zaman ulaşılabilmesi sağlanır. Dolayısıyla santral 24 saat kontrol altında tutulmuş olur[63].

Amerika menşeli National Renewable Energy Laboratory (NREL) yapmış olduğu çalışma risk yönetimi ve çözümlerini içermektedir. NREL'in risk yönetimi ve çözümü kontrol listesi Tablo-42'de gösterilmektedir.

Tablo 42 Risk Yönetimi Kontrol Listesi [64]



Risk yönetimi ilk başta teknik olan ve olmayan riskler olarak ikiye ayrılmaktadır. Teknik olan riskler projenin gerçekleşmesi durumunda ve çalışmalar sırasında oluşabilecek tehlikelerden oluşmaktadır. Teknik olmayan risklerin çoğunluğu kuruluşlardan alınacak izinleri içermektedir.

Teknik olan riskler, genel olarak proje geliştirme riskleri, santral tasarımına başlanmadan önce yapılması gerekenler ve kurulumla geçildiği durumda dikkat edilmesi gereken

hususları içermektedir. Proje geliştirme riskleri UL'in kontrol listesinde kısmen projelendirme ve tasarım aşamasına denk gelmektedir. Güneş enerji tahmini, arazi özellikleri, sistem tasarımı, sistem parçaları özellikleri kısımları projelendirme ve tasarım aşaması içerisinde geçmektedir. Taşımacılık ve kurulum riskleri, operasyon projesi riskleri UL'de kurulum aşamasına denk gelir. NREL bu kısımlarında projenin kurulumu sırasında dikkat edilmesi gereken risklerden bahsetmektedir. İş sağlığı ve güvenliği yönünden alınması gereken önlemler de bu kısımlarda belirlenir.

Risk yönetiminin teknik olmayan riskler, teknik olan riskler gibi proje geliştirme riskleri ve operasyon riskleri olarak ikiye ayrılır. Bunlar kurulum öncesi ve sonrası oluşması ihtimal olan riskleri kapsamaktadır. Proje geliştirme riskleri içerisinde, iletim ve bağlantı riskleri, sorumlu mühendis riskleri, enerji anlaşması ve fiyatlandırma, inşaat riskleri, politik riskler, sigorta riskleri, çoklu sözleşme riskleri sayılabilir. İlk olarak iletim ve bağlantı riskleri kısmında, güneş enerjisi santralının kurulacağı arazi ve bağlanması gereken trafo merkezi belirlenir. Trafo merkezinin santral alanına uzak olması durumunda iletim hattı kurulması gerekir. Bu durumda iletim hattı kurulumundaki riskler bulunmaktadır. İletim hattının geçeceği güzergâhın önceden belirlenerek kurulması muhtemel riskleri en aza indirger. Sorumlu mühendis riskleri projeyi yapan mühendisin deneyimi ile ilgilidir. Enerji anlaşması ve fiyatlandırma riskleri, politik riskler, birbiriyle ilişkili risklerdir. Eğer devlet politikası yurt dışına enerji bağımlılığını azaltmak için çaba gösterir. Bu sayede yapılacak olan enerji anlaşması ve fiyatlandırmada kolaylıklar ve teşviklerle desteklenir. Sigorta riskleri güneş enerji santralının sigortalanmasıdır. Bunun için birçok sigorta şirketi mevcuttur. Sigorta poliçesinin en uygun şartlara göre imzalanmasıyla oluşabilecek risklere karşı önlemler alınmış olunur. Son olarak çoklu sözleşme riskleri ise işin alt işverene verilmesidir. Alt işverene verilen iş için belirlenen sürede bitirilmesi gereken işin bitmemesi durumunda oluşabilecek risklerin yönetilmesi gereklidir. Belirlenen sürede bitmeyen iş santralin geç faaliyete girmesine ve diğer işlerin aksamasına sebep verecektir. Bu durumda da gelir kaybı ve iş süresi kaybı gibi riskler vardır.

Operasyon riskleri içerisinde kredi standart riskleri, enerji alım fiyatı riskleri, gelir destek süresi riskleri, sigorta riskleri, son olarak hava ve güneş miktarı riskleri kapsamında beşe ayrılmaktadır. Bu riskler proje geliştirme riskleri içerisinde anlatılan risklere denk gelmektedir. Proje geliştirme riskleri için alınan önlemlerin benzerleri alınmalıdır[64].

3.1.3.3) International Electromechanical Commission (IEC)

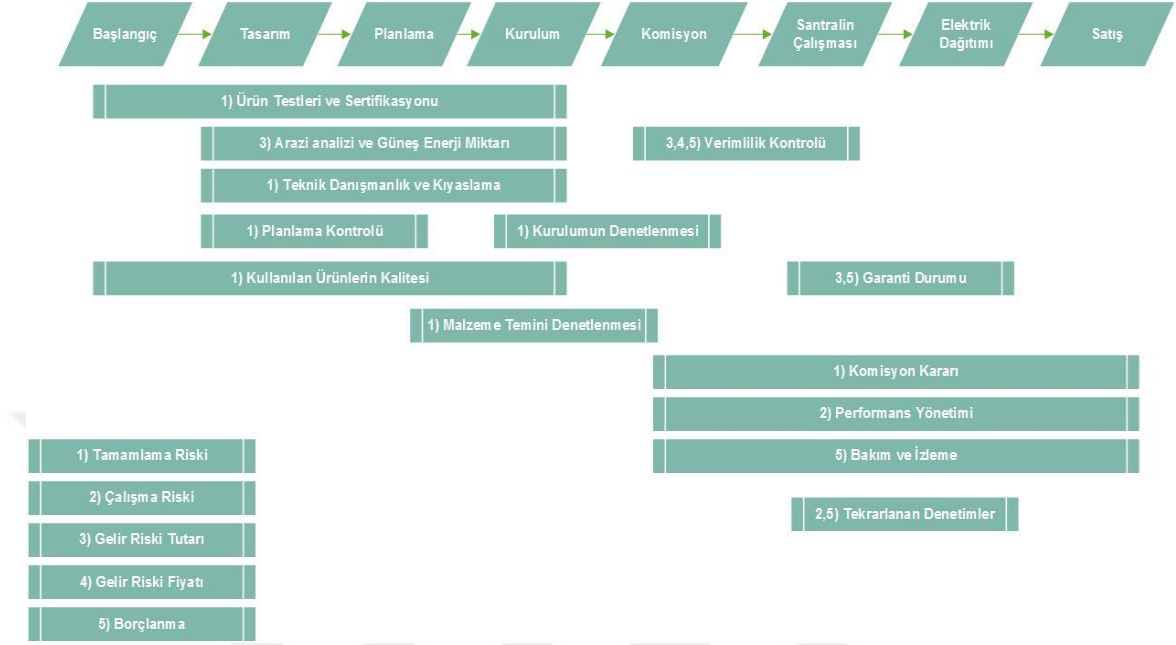
International Electromechanical Commission (IEC) kurumu Avrupa merkezli bir kuruluştur. Avrupa içerisinde uyulması gereken standartlar genellikle IEC Kurumu tarafından belirlenmektedir. Güneş enerjisi santralleri tasarımında kullanılacak panellerin, eviricilerin, kabloların, topraklama ve yıldırım çubukları standartları ile beraber tasarımda uyulması gereken kuralları içeren standartları da bulunmaktadır. Güneş enerjisi santralleri risk analizi kontrolleri için geniş kapsamlı bir kontrol listesi vardır[65]. Kontrol listesi içeriğinde güvenlik, finansal, güvenilirlik, ilişkiler, kurulum sürecindeki organizasyon ve personel dağılımı, son olarak çevresel faktörlerden bahsedilmektedir. Güvenlik kısmında ilk yardım ve sakatlanmaların risklerine göre olabilirliği verilmiştir. Finansal kısımda herhangi bir sorun olması durumunda gelir kaybı oranları belirtilir. İlişkiler kısmında riskin düzeyine bağlı olarak kurulum planlamasında değişikliklerin neler olacağı anlatılır. Organizasyon ve personel bölümünde hizmet sunumunda oluşacak riskler belirtilir. Son olarak çevre bölümünde çevre olaylarının raporlanmaması durumunda oluşacak risklerden bahsedilmektedir. Bu risk analizi kontrol listesi 5x5 matriks düzeninde oluşturulmuştur. Tablo-43'de risk analizi kontrol listesi gösterilmektedir.

Tablo 43 Risk Analizi Kontrol Listesi [65,s38]

Kriterler	1	2	3	4	5
Güvenlik	İlk Yardım yaralanmaları veya Hastalıklar	Tıbbi yaralanma veya hastalık	Yaralanmada kayıp zaman veya sakatlık	Kalıcı Engel	Ölümcül
Finansal	< \$ 500.000	\$ 500.000 – 1 Milyon	\$ 1 – 5 Milyon	\$ 5 – 10 Milyon	> \$ 10 Milyon
Güvenirlilik	<250.000 müşteriden saat başı 1'i kayıp < 2 GWh enerji hizmeti ve ya teslimat kaybı	250.000 – 1 Milyon müşteriden saat başı 1'i kayıp 2 – 7 GWh enerji hizmeti ve ya teslimat kaybı	1 - 3 Milyon müşteriden saat başı 1'i kayıp 7 – 20 GWh enerji hizmeti ve ya teslimat kaybı	3 – 7 Milyon müşteriden saat başı 1'i kayıp 20 – 50 GWh enerji hizmeti ve ya teslimat kaybı	> 7 Milyon müşteriden saat başı 1'i kayıp > 50 GWh enerji hizmeti ve ya teslimat kaybı
İlişkiler	Kısa vadeli gecikmeler ve ya planlarda küçük değişiklikler dış etkilerden	İş planının uygulanması için koşullar kısıtlıdır veya maddi değişiklikler için planlar gerekli	Sonuçlanan inceleme payı artışı ya da çalışma alanına erişim kısıtlı	Mahkeme ya da devlet müdahalesi	Lisans kaybı ya da kuruma yasal olarak dayatmalar
Organizasyon ve Personel	Hizmet sunumu ve kişiler önemsiz	Hizmet sunumunun etkilenmesi	Beklenmedik koşullar yüzünden hizmet sunumunun azalması	Kurumsal hedeflere ulaşamaması ve hizmet sunumunda maliyet artışı	Beklenmedik koşullar yüzünden personel kaybı ve hizmet sunumunun kritik seviyede artması
Çevre	Rapor edilmeyen çevresel olaylar	Kısa dönemli çevresel olaylar raporu 1 yıldan az	Uzun dönemli çevresel olayların raporu 1 yıldan fazla	Çevresel olay raporlarının tutulmamasından para cezası ve düzenleme	Çevresel olay raporlarına göre savcılık soruşturması
Güvenlik	İlk Yardım yaralanmaları veya Hastalıklar	Tıbbi yaralanma veya hastalık	Yaralanmada kayıp zaman veya sakatlık	Kalıcı Engel	Ölümcül

IEC standartları kapsamında Güneş Enerjisi Santralleri kurulumu sekiz basamaktan oluşmaktadır. Bu basamaklar başlangıç, tasarım, planlama, kurulum, komisyon, santralin çalışması, elektrik dağıtımı ve satış olmaktadır. Bu basamakların her biri içerisinde karşılaşılabilecek riskler olmaktadır. Örneğin ürün testleri ve sertifikasyonu, başlangıç basamağından başlayarak kurulum basamağına kadar devam etmektedir. Santral kurulumunda sertifikası bulunmayan malzemeler alındığında, oluşabilecek risk basamak aralığı başlangıç basamağından kurulum basamağına kadardır. Sertifikasyonu bulunmayan ürünlerin kurulum aşamasına geçmesine yetkili kurumlar tarafından izin verilmemektedir. İzin verilmeyen kurulumlarda, santralin kurulumu başlamadan tehlikeli olay önlenmiş olunur. Bu sayede kurulum başlamadan santral çalışanlarının iş sağlığı ve güvenliği yönünden önlem alınmaktadır[66]. Tablo-44'de IEC'nin güneş enerjisi santralleri kurulum aşamasındaki riskler gösterilmektedir.

Tablo 44 IEC Güneş Enerjisi Santralleri Kurulum Riskleri [66,s13]



3.1.3.4) Indicator Limited

Indicator Limited şirketinin güneş enerjisi santralleri için çalışmaları bulunmaktadır. Bu çalışmalar içerisinde risk yönetimi tablosu göze çarpmaktadır. Risk tablosu içerisinde çalışma, kablo ve panel alanı içerisinde oluşabilecek tehlikelere karşı risk analizi yapılmıştır. Risk derecesi yüksek olması durumunda alınması gereken önlemlerle risk derecesi düşürülmektedir. Kısa olan bu risk tablosu kullanımı bakımından kolaydır[67]. Tablo-45'de risk yönetimi tablosu gösterilmektedir. Kurulum sırasında bu tabloya bakılarak risklere karşı önlemler alınabilmektedir.

Tablo 45 Risk Yönetimi Tablosu [67]

Kabul Edilebilir Risk (3. Öncelikli Tehlikeler)			Dikkate Değer Risk (2. Öncelikli Tehlikeler)					Kabul Edilemez Risk (1. Öncelikli Tehlikeler)						
Ref	Faaliyet Yeri	Tehlike	Risk	Etki / Zarar sonuç	Risk Değeri			Önerilen Tedbirler	Alınan Önlemler	Kontrol İzleme, Değerlendirme	Son Risk Değeri			Alınması gereken önlemlerden sorumlu kişi veya departman
					Olasılık	Şiddet	Risk				Olasılık	Şiddet	Risk	
1	Çalışma alanı	Yetkisiz kişilerin zarar görmesi	Çalışma alanına yetkisiz kişilerin girmesiyle oluşacak tehlike	Yaralanma Ölüm	3	3	9	Çalışma alanının telle çevrilmesi	Çalışma alanının çizilmesi	Şirket tarafından çalışma alanı kontrolü	3	3	1	Sorumlu mühendis, Çalışanlar
2	Çalışma Alanı	Çalışanların zarar görmesi	Kişisel Koruyucu Ekipman kullanılmaması	Yaralanma Ölüm	3	3	9	Koruyucu malzemeler kullanılması	Koruyucu malzemelerin kullanılması	Koruyucu malzemelerin kullanılması için uyarılarda bulunulması	3	2	6	İş veren, isg uzmanı
3	Panel Kurulum Alanı	Çalışanların zarar görmesi	Panelin düşmesi	Yaralanma Ölüm	3	4	12	Panellerin üretici talimatlarına uygun olarak yerleştirilmesi	Kurulum sırasında talimatlara uygun yerleştirilmesi	Yetkili kişiler tarafından izlenmesi	3	3	9	İş veren, isg uzmanı
4	Kablo Kanalı Alanı	Açıkta kablo bulunması, sağlamlığı olmaması	Yüksek voltajda elektrik çarpması	Ölüm	3	4	12	Eğitilmiş ve yetkili kişiler tarafından kablolama yapılması	Yönetmeliklere uygun kablolama yapılması	Eğitilmiş ve yetkili kişilerin kontrol etmesi	2	3	6	İş veren, isg uzmanı, yetkili kişiler
5	Panel Alanı	Elle taşıma sırasında oluşabilecek tehlikeler	Taşıma sırasında çalışanların yaralanması	Yaralanma	3	3	9	Panellerin taşıma sırasında talimatlara uyulması	Talimatlara uygun taşıma ve eğitilmiş kişiler	Eğitilmiş ve yetkili kişilerin kontrol etmesi	2	1	2	İş veren, isg uzmanı, yetkili kişiler
6	Panel Alanı	Panel kurulumunda elektrik şoku tehlikesi	Panel kurulumu sırasında yaralanma	Ölüm, Yaralanma	3	4	12	Panellerin kurulum talimatlarına uyulması	Panel kurulumu yapan çalışanların eğitilmiş olması	Eğitilmiş ve yetkili kişilerin çalıştırılması	2	3	6	İş veren, isg uzmanı, yetkili kişiler

3.1.3.5) First Solar

First Solar 1999 yılında kurulmuş güneş enerjisi santrali kurulumu yapan firmadır. First Solar yıllık olarak 1GW kurulum yapmaktadır. Bugüne kadar dünya çapında 10GW'tan fazla güneş enerjisi santrali kurulumu olmuştur[68]. Kurulum miktarına göre kurulumlarında risk değerlendirmelerine ilişkin raporları bulunmaktadır. En önemli çalışması İnşaat Çevre Yönetimi Planı'dır. Bu planda inşaatı yapılan güneş enerjisi santrallerinde kontrol edilmesi gereken kontrol listesi bulunmaktadır. Yayınlanan planla risk değerlendirme analizi yapılabilmektedir. Risk değerlendirme analizi içerisinde 5x5

matris metodu kullanılarak olabilirlik ve şiddet oranlarına göre riskler belirlenmiştir. Belirlenen risklerin kabul edilemez ya da dikkate değer riskler olması durumunda, alınması gereken önlemlerden bahsedilmektedir[69]. Temel olarak 18 maddeden oluşan risk değerlendirme formunda santral kurulumundaki aşamalarına göre değerlendirmeler yapılmaktadır. Aşamalardan birisi olan tüm aşamalar kısmında santral üzerindeki tüm çalışmaları içeren risklerden bahsedilmektedir. Risklerden en önemlisi olan toz oluşumudur. Amerika menşeli bu şirket güneş enerjisi santrallerini çoğunlukla çöle kurduğu için toza dikkat çekmiştir. Toz oluşumu olabilirliği 3, şiddeti 3 ve belirlenen risk değeri 9'dur. Bu değer düşürülmesi için santral alanında sulama araçlarının gezdirilmesi ve çalışanların tozdan korunmak amaçlı malzemeler giydirilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla risk değeri 9'dan düşük bir değere düşürülmektedir. Tablo-46'da First Solar şirketinin hazırlamış olduğu risk değerlendirme formu bulunmaktadır.

Tablo 46 Risk Değerlendirme Formu [69]

Ref	Proje Aşamaları	Tehlike	Risk	Etki / Zarar Sonuç	Risk Değeri			Önerilen Tedbirler	Alınması gereken önlemlen sorumlu kişi veya departman
					Olasılık	Şiddet	Risk		
Kabul Edilebilir Risk (3. Öncelikli Tehlikeler)			Dikkate Değer Risk (2. Öncelikli Tehlikeler)			Kabul Edilemez Risk (1. Öncelikli Tehlikeler)			
1	Tüm Aşamalar	Araç, ekipman, personel hareketi	Trafik Hareketinin Artması	Trafik sıklığı	1	3	3	First Solar tarafından Lojistik zamanlaması Otobüs Zamanlaması	Saha Kontrol Sorumlusu
2	Tüm Aşamalar	Araç, ekipman, personel hareketi	Trafik Hareketinin Artması	Araç Kazası	1	2	2	First Solar tarafından Lojistik zamanlaması	Saha Kontrol Sorumlusu
3	Tüm Aşamalar	Araç, Ekipman kullanımı sırasında oluşan gürültü	Ses Gürültüsü	Yerel Gürültü Seviyesinin Aşması	2	2	4	Eğitilmiş Kişilerin Ekipmanların kullanması	Saha Kontrol Sorumlusu, ISG uzmanı
4	Tüm Aşamalar	Araç, personel hareketi	Toz Oluşumu	Kısa Süreli Hava Kirliliği, Çalışanların Etkilenmesi	3	3	9	Sulama Araçları Koruma Ekipmanı Kullanılması	Saha Kontrol Sorumlusu, ISG uzmanı
5	Tüm Aşamalar	Yeterli önlemlerin olmaması	Toprak ve Su Hareketi	Toprak Kayması, Sel Oluşması	2	2	4	Erozyon kontrolü sağlanması	Saha Kontrol Sorumlusu, ISG uzmanı
6	Tüm Aşamalar	Araç ve personel hareketinin kısıtlanması	Bitki örtüsünün yayılması	Bitki örtüsünün yayılması	2	2	4	Kurulum öncesi ilaçlama	Saha Kontrol Sorumlusu, ISG uzmanı
7	Tüm Aşamalar	Araç ve ekipman hareketi Makine bakımsızlığı	Hava Kirliliği	Hava kirliliğinin artması	2	1	2	Makine kullanımı eğitimi	Saha Kontrol Sorumlusu, ISG uzmanı
8	Tüm Aşamalar	Çalışanların hastalanması	Çöp Birikimi	Çalışanların hastalanması sonucu çalışamaması	1	1	1	Düzenli çöp toplama çalışanları bulundurulması Geri dönüşümü mümkün olan malzemeler kullanılması	Saha Kontrol Sorumlusu, ISG uzmanı

Tablo 47 Risk Değerlendirme Formu Devamı

9	Tüm Aşamalar	Bölgede oluşabilecek tehlikeler	Döküntüler	Kümülatif Etkiler	1	1	1	Yerel gelişmeleri izlemek Araç ve personel hareketlerini planlama	Saha Kontrol Sorumlusu, İSG uzmanı
10	Tüm Aşamalar	Personelin Eğitim Eksikliği	Yüklenici Firmanın Uyumsuz Olması	Çevresel etki oluşması	3	3	9	Tutanak tutulması	Saha Kontrol Sorumlusu, İSG uzmanı
11	Arazi Hazırlanması	İş Planının Uygulanamaması	Arazinin Önceki Özellikleri Uyumsuzluğu	Arazinin uyumsuzluk tepkisi göstermesi	3	3	9	Arazinin ön araştırması yapılması	Saha Kontrol Sorumlusu, İSG uzmanı
12	Arazi Hazırlanması	İş Planının Uygulanamaması	Flora ve Fauna etkileri	Yerel flora ve fauna üzerine etkileri	3	2	6	Arazinin ön araştırması yapılması	Saha Kontrol Sorumlusu, İSG uzmanı
13	Arazi Hazırlanması	İş Planının Uygulanamaması	Sel Etkileri	Sel etkisinin çalışanlara ve ekipmanlara etkileri	3	3	9	Arazi Drenajının yapılması	Saha Kontrol Sorumlusu, İSG uzmanı
14	Yapısal	Çelik kolonların kurulumu Araçların Hareketleri	Gürültü	Yerel gürültü oluşumu	3	2	6	Çalışmalar sırasında ses miktarının izlenmesi	Saha Kontrol Sorumlusu, İSG uzmanı
15	Yapısal	Panel Ambalajı ve fazla malzeme inşaatı atıklarının oluşması	Atık Oluşumu	Çalışanların atıklar yüzünden çalışmasının engellenmesi	1	1	1	Geri dönüşüm malzemelerinin kullanılması Atıkların toplanması için planlama yapılması	Saha Kontrol Sorumlusu, İSG uzmanı
16	Yapısal	Yangın Tehlikesi	Sıcakta Çalışma	Kontrolsüz Arazi Yangını	3	3	9	Yangın kontrol sistemi kurulması	Saha Kontrol Sorumlusu, İSG uzmanı
17	Komisyon	Bölgede oluşabilecek tehlikeler	Döküntüler	Kümülatif Etkiler	3	2	6	Yerel gelişmeleri izlemek Araç ve personel hareketlerini planlama	Saha Kontrol Sorumlusu, İSG uzmanı
18	Komisyon	Yangın Tehlikesi	Yangın	Kontrolsüz Yangın	3	2	6	Yangın kontrol planlama yapılması ve sistemi kurulması	Saha Kontrol Sorumlusu, İSG uzmanı

Tablo-47'de kuruluşların kontrol listelerinin özet karşılaştırılması gösterilmektedir. Kurumların ve şirketlerin risk analizi ve kontrol listeleri karşılaştırıldığında, UL, NREL ve IEC kurumlarının daha detaylı olduğu görülmektedir. Diğer kurum ve şirketlerin risk analizleri zayıf kalmaktadır. Tez sonucunda oluşturulmuş olan kontrol listesi ve risk değerlendirme formu içerisinde bu kısımda anlatılan maddelerden bir kısmı olmakla birlikte daha teknik kısımlardan da bahsedilerek risk analizinin kapsamı genişletilmiştir.

Bu sayede santral kurulumlarında genel bir risk analizi olması dışında daha özel ve teknik konulardaki riskler göz önüne alınarak, santral kurulumlarının güvenilirliğinin artması sağlanmıştır.

Tablo 48 Kurumların Risk Analizi Karşılaştırması

No	Riskler	European Agency for Safety and Health at Work	Underwriter Laboratories (UL)	National Renewable Energy Laboratory (NREL)	International Electromechanical Commission (IEC)	Indicator Limited	First Solar	T o p l a m
1	İzinler	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	3
2	Arazi Ön Araştırması	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3
3	Projelendirme Tasarım	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3
4	Malzeme Temini	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2
5	Kurulum	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	5
6	Santralin Devreye Alınması	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4
7	Santralin Çalışması	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4
8	Elektrik Dağıtımı	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4
9	Santralin Sigortası	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2
10	Bakım ve İzleme	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2
11	Alt Yapı Riskleri	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1
12	Satış Riskleri	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1
13	Kablo bağlama Riskleri	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	5
14	Panel Kurulumu	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	5
15	Finansal risk	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2
16	Ses Gürültüsü	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1
17	Toz Oluşumu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1
18	Sel Etkileri Riskleri	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2
	Toplam	6	12	13	11	3	6	

BÖLÜM 4

RİSK DEĞERLENDİRME REHBERİ

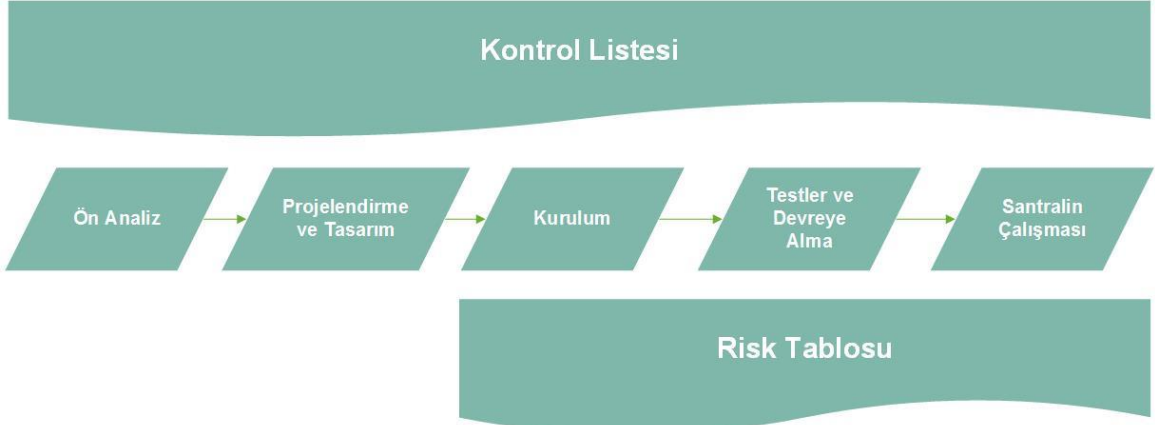
4.1 Risk Değerlendirme Rehberinin Hazırlanması

6331 İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununa göre risk tehlikeden kaynaklanacak kayıp, yaralanma ya da başka zararlı sonuç meydana gelmesidir. Risk değerlendirme rehberleri bu riskin engellenmesi için gerekli olan önlemleyici tedbirleri içerir. 6331 sayılı kanun ile iş yerlerinin güvenliği ve çalışanların sağlığını korumak önemli bir zorunluluk haline getirilmiştir. Bu nedenle risk değerlendirme rehberlerinin hazırlanması gerekmektedir. Konumuzun kapsamı olan güneş enerji santralleri hakkında risk değerlendirme rehberinin ülkemizde bulunmaması eksiklidir.

Risk değerlendirme analizi kısmında uluslararası kuruluşların kontrol listeleri ve risk yönetimine bakış açıları hakkında bilgi verilmiştir. Güneş enerji santralleri hakkında birçok çalışma yapılmakla beraber oluşturulan kontrol listelerinin ülkemize uyarlanması gerekmektedir. Ayrıca uluslararası şirketler kendilerine özgü olan risk değerlendirme tabloları oluşturarak, kurulumlardaki riskler için önlemler almaya çalışmaktadırlar. Bu sayede güneş enerji santralleri kurulumları sırasında belirlenen risklere göre kaza yaşanma olasılığı düşmektedir.

Risk değerlendirme rehberlerinde çalışanların sağlığı önceliklidir. Bu rehberlerin detaylı olmakla birlikte ve kolay uygulanabilir olması gerekmektedir. Bu yüzden risk değerlendirme rehberinin iki bileşeni vardır. İlk bileşen kontrol listesidir. Kontrol listesi sadece evet hayır cevapları verilerek belirli noktaların kontrol edilmesi sağlanan listedir. İkinci bileşen ise risk tablosudur. Bu kısımda tehlikenin şiddeti ve olasılığı 5x5 matris şeklinde numaralandırılarak, her bir aşama için olasılık ve şiddet değerine göre,

belirlenen tehlikenin riski belirlenmektedir. Şekil-28’de hazırlanması gereken kontrol listesi ve risk tablosunun bağlı olduğu aşamalar görülmektedir.



Şekil 28 Kontrol Listesi ve Risk Tablosunun Bağlı Olduğu Aşamalar

4.1.1 Kontrol Listesi

Kontrol listesi iş sağlığı ve iş güvenliği açısından kullanıcıya kolaylık sağlaması için kullanılan listedir. Hazırlanan kontrol listesi ön analiz, projelendirme ve tasarım, testler ve devreye alma, son olarak santralin çalışması aşamalarını içermektedir. İncelenen aşamalarda ağırlıklı olarak teknik sebeplere yer verilmiştir. Bu teknik sebepler ilk başta iş sağlığı ve iş güvenliği ile direk ilgili olmasa da, dolaylı etkisi olacaktır. Teknik olarak önlem alınmayan riskler, ileride iş sağlığı ve iş güvenliği risklerine dönüşecektir. Bu yüzden teknik olarak riskler kontrol listesi içerisinde incelenmektedir.

İlk aşama olan ön analiz aşaması içerisinde jeoteknik ve statik analiz vardır. İlk olarak bölge hakkında bilgiler toplanmaktadır. Jeoteknik analizde toprağın kimyasal yapısı, toprağın yük direnci ve yer altı su miktarı incelenmektedir. Statik analizde jeoteknik analizin sonuçlarına göre kurulum yapılacak alan içerisinde kullanılacak konstrüksiyon ağırlığı, malzeme yapısı, rüzgar ve kar yükü hesapları yapılarak güneş panellerinin düşmemesi için çalışmalar yapılmaktadır. Bu kontrol listesinin özeti Tablo-48’de görülmektedir.

Tablo 49 Aşama-1 Kontrol Listesi Özeti

No	Ön Analiz Çalışmaları	Ref	Evet	Hayır	Öneriler
1	Bölgenin konumuna göre güneş miktarı ölçüldü mü?				
2	Bölgenin konumuna göre hava koşulları incelendi mi ? (Sıcaklık, Kar, Nem, Rüzgar Hızı, Dolu, Yağmur)				
...
6	Kurulum yapılacak arazinin jeoteknik analizi yapıldı mı ?				
No	Jeoteknik Analiz Çalışmaları	Ref	Evet	Hayır	Öneriler
7	Kurulum yapılacak arazinin haritası var mı ?	2.1.2.1			
8	Kurulum yapılacak arazinin jeolojik yapısı kontrol edildi mi ?	2.1.2.1			
...
17	Labaratuvar testleri sonuçlarına göre toprak yapısı özellikleri belirlendi mi ?	2.1.2.1			
No	Statik Analiz Çalışmaları	Ref	Evet	Hayır	Öneriler
18	Jeoteknik analiz labaratuvar test sonuçlarına göre çelik konstrüksiyon malzemelerin yapısı belirlendi mi ?	2.1.2.2			
19	Temel atılacak betonun kimyasal özelliği belirlendi mi ?	2.1.2.3			
...
30	Yapılan çalışmalar TS 498, TS 500, TS 1500 standartlarına uygun mu ?	2.1.2.3			

İkinci aşama projelendirme ve tasarım olmaktadır. Bu aşamada daha çok güneş enerji santralinin teknik risklerine bakılmaktadır. Bunlardan en önemlisi olan güneş paneli ve eviricinin uyum sorunudur. İncelenen bu teknik riskler, santralin çalışması sırasında iş sağlığı ve iş güvenliği riskine dönüşmektedir. Dolayısıyla santralin kurulumu başlanmadan önce kontrol listesinin doldurulup eksik ya da hatalı kısımlarının tekrar düzenlenmesi gerekmektedir. Tablo-49’da ikinci aşamayı içeren kontrol listesinin özeti bulunmaktadır.

Tablo 50 Aşama-2 Kontrol Listesi Özeti

No	Projelendirme ve Tasarım	Ref	Evet	Hayır	Öneriler
31	Kullanılacak Güneş paneli ve Eviriciler belirlendi mi ?	2.1.3			
32	Güneş paneli ve Eviriciler arasındaki uyumluluk hesapları yapıldı mı ?	2.1.3			
33	Güneş paneli ve Eviriciler arasındaki uyumluluk hesabı çalışması için uygun mu ?	2.1.3			
...
55	DC toplama panosu topraklama ve yıldırım koruma sistemi kurulmuş mu ?	2.1.5.4			
56	Panellerin konumlandırılmasında gölgelemeye dikkat edildi mi ?	2.1.7.1			

Üçüncü aşama testler ve devreye alma olmaktadır. Bu aşamada santralin kurulumu bitirildikten sonra testler ve devreye alma sırasındaki işlemlerin kontrolü yapılmaktadır. Yapılan işlemler TEDAŞ’ın belirlemiş olduğu teknik şartnamelere, standartlara ve yönetmeliklere uygun yapıp yapılmadığı kontrol edilmektedir. Kontrol sırasında eksik veya standartlara uygun olmayan bir durumla karşılaştığında düzeltilmesi gerekmektedir.

Bu sayede santralin devreye alınması sırasında herhangi bir sorunla karşılaşılması sağlanmaktadır. Tablo-50’de üçüncü aşamayı içeren kontrol listesinin özeti bulunmaktadır.

Tablo 51 Aşama-3 Kontrol Listesi Özeti

No	Testler ve Devreye Alma	Ref	Evet	Hayır	Öneriler
57	Santralin topraklama direnci 1 Ω mu ?	2.1.7.4			
58	Testler TS EN 62446 Standartı kapsamında mı yapılmaktadır ?	2.1.7.4			
59	DC toplama panosunda etiketleme ile tanımlanmış mı ?	2.1.7.4			
...
71	Eviricilerde yüksek akım ve voltaj koruması var mı?	2.1.7.4			
72	Eviricilerde yıldırım koruma ve topraklama sistemi var mı ?	2.1.7.4			

Son aşama santralin çalışması ve bakım aşamasıdır. Bu aşamada santralin işletimi sırasında oluşabilecek teknik riskler incelenmiştir. Teknik riskler, santralin çalışması sırasında santral çalışanlarını etkileyecek riskler olacaktır. Santralin çalışması sırasında güneş panelleri ve eviricilerin uyumluluğu, standartlara uygun kablo kullanılması, raporlama yapılması ve santral çalışanları için acil eylem planının bulunduğu dair kontroller yapılmaktadır. Dolayısıyla santral içerisinde acil bir durum olması halinde, santral çalışanlarının prosedürleri izleyerek müdahale yapılması sağlanmaktadır. Bu sayede santral çalışanları iş sağlığı ve güvenliği bakımından gerekli tedbirleri alır. Tablo-51’de son aşamayı içeren kontrol listesinin özeti bulunmaktadır. Kontrol listesinin tamamı Ek-A’da verilmiştir.

Tablo 52 Aşama-4 Kontrol Listesi Özeti

No	Santralin Çalışması ve Bakım	Ref	Evet	Hayır	Öneriler
73	Eviricilerde yıldırım koruma ve topraklama sistemi uygun mu ?	2.1.7.4			
74	Panellerde topraklama iletkeni kullanıldı mı ?	2.1.7.4			
75	Panellerde kullanılan topraklama iletkeni uygun mu ?	2.1.7.4			
...
90	Santral içerisinde ilkyardım ekipmanları var mı ?	2.1.7.4			

4.1.2 Risk Tablosu

Risk tablosu iş sağlığı ve iş güvenliği bakımından kullanılan daha detaylı bir yöntemdir. Risk tablosunun doldurulması kontrol listesine göre daha çok zaman almaktadır. Buna rağmen oluşabilecek risklerin önceden derecelendirilmesi yapılarak, riskin önem sırası tanımlanabilmektedir. Güneş enerjisi santralleri için hazırlanan risk tablosu üç aşamayı içerir. Bunlar kurulum, testler ve devreye alma, son olarak santralin çalışması ve bakım aşamalarıdır. Bu tabloda genellikle iş sağlığı ve iş güvenliği bakımından riskler ele alınmıştır. Aşamaya göre risk belirlenip, riskin oluşturacağı tehlike tanımlanır. Tanımlanan tehlikenin etki ve zararı belirlenerek raporlama yapılmaktadır. Bir tehlikenin şiddet derecesi bellidir. Olabilirlik değeri, teknik analizler sonucunda bulunarak, risk tablosunda yerini alır. Olabilirlik değerinin hesabı sadece risk tablosunu kullanan kullanıcıya bırakılmamalıdır. Teknik verilere dayanan sonuçlara göre olabilirlik değerleri girilmelidir. Dolayısıyla risk tablosunda şiddet ve olabilirlik değerler çarpımından risk değeri bulunur. Bulunan risk değeri eşik değerin altında ise önlem alınmamakta, eğer üstünde ise önlem alınması tavsiye edilmektedir. Alınması gereken önlemler raporlanarak olabilirlik ve şiddet çarpımından risk değeri tekrar hesaplanıp ve eşik değerin altında olması sağlanır. Dolayısıyla iş sağlığı ve iş güvenliği açısından gerekli önlemlerin yeterli olup olmadığı kontrol edilir. Tablo-52'de risk tablosu özeti görülmektedir. Risk tablosunun tamamı Ek-B'de verilmiştir.

Tablo 53 Risk Tablosu Özeti

No	Proje Aşamaları	Tehlike	Risk	Etki / Zarar Sonuç	Risk Değeri				Eşik değeri	Tedbir alınması gerekiyor mu?	İlgili tez bölümü	Önerilen Tedbirler	Risk Değeri			Alınması gereken önlemlen sorumlu kişi veya departman
					O	L	S	R					A	S	D	
1	Kurulum	Arazinin Kurulum İçin Uygun Hale	Kurulum Yapılmama	Uygunsuz Kurulum Koşulundan Dolayı İş Kazası Yaşanması	3	4	12	10	EVET	2.1.7.1						
2	Kurulum	Arazi Drenajının Uygun Olmaması	Sel Oluşumu	Santral Alanının Zarar Görmesi Çalışanların Yaralanması, Ölmesi	3	5	15	13	EVET	2.1.7.1						
3	Kurulum	Panellerin Elle Taşınması	Panellerin Düşmesi	Çalışanların Hafif Yaralanması, Rahatsızlanması	5	3	15	12	EVET	2.1.7.1						
...						
20	Kurulum	Tehlike Seviyesi Yüksek Olan Bölgede Etiketleme Yapılmaması	Etiketleme	Çalışanların Yaralanması, Ölmesi	4	5	20	10	EVET	3.1.3						
23	Kurulum	Trafo Binasından Sonra Ayrıcı Kullanılmaması	Yüksek Akım Oluşumu	Şebeke Hattı Üzerinde Yüksek Akım Oluşması	3	4	12	10	EVET	2.1.7.2						
24	Testler ve Devreye	Konstrüksiyonların Uygun Olmaması	Konstrüksiyon	Konstrüksiyonların Zamanla Zarar Görmesi	2	3	6	10	HAYIR	2.1.7.4						
26	Testler ve Devreye	Topraklamasının Yönetmeliklere Uygun Olmaması	Topraklama Sisteminin	Santralin Sistem Parçalarının Zarar Görmesi	3	4	12	10	EVET	2.1.7.4						
27	Testler ve Devreye	Yıldırım Koruması Yönetmeliklere Uygun Olmaması	Yıldırım Koruması Sisteminin	Santralin Sistem Parçalarının Zarar Görmesi	4	5	20	15	EVET	2.1.7.4						
...						
36	Testler ve Devreye Alma	Dize Akım ve Voltajının DC Kablo İçin Uygun Olmaması	Dize Kontrolü	DC Kablolarının Zarar Görerek Hasara Yol Açması	2	4	8	6	EVET	2.1.7.4						
37	Testler ve Devreye Alma	Dize Akım ve Voltajının DC Kablo İçin Uygun Olmaması	DC Toplama Panosu Kontrolü	DC Kablolarının Zarar Görerek Hasara Yol Açması	2	5	10	6	EVET	2.1.7.4						
38	Santralin Çalışması ve Bakım	Topraklama veya Kaçak Akım Sisteminin Sorun Çıkarması	Panellerde Kaçak Akım	Panel Alanından Geçen Görevliye Elektrik Çarpması	3	5	15	10	EVET	3.1.3						
39	Santralin Çalışması ve Bakım	İzleme Kontrol Sisteminin Haber Vermemesi	İzleme Kontrol Sistemi Bozulması	Santralde Anıza Durumunda Haberleşmenin Sağlanamaması	2	4	8	6	EVET	3.1.3						
40	Santralin Çalışması ve Bakım	Topraklama veya Kaçak Akım Sisteminin Sorun Çıkarması	Evracilerde Kaçak Akım	Evirici Alanından Geçen Görevliye Elektrik Çarpması	3	5	15	12	EVET	3.1.3						
41	Santralin Çalışması ve Bakım	Sorun Olması Halinde Müdahale Edilememesi	Acil Eylem Planı	Santralde Büyük Zarar Oluşumu	2	4	8	6	EVET	3.1.3						
42	Santralin Çalışması ve Bakım	Topraklama veya Kaçak Akım Sisteminin Sorun Çıkarması	panellerde Kaçak Akım	Panel Alanından Geçen Görevliye Elektrik Çarpması	3	5	15	12	EVET	3.1.3						
43	Santralin Çalışması ve Bakım	Panellerin Rüzgar ve Sarsıntı Sunucu Konumunu	Panellerin Düşmesi	Saha Kontrol Sırasında Çalışanların Üstüne Düşmesi	2	4	8	6	EVET	3.1.3						

4.1.3 Risk Değerlendirme Tablosu Uygulaması

Hazırlanan risk değerlendirme rehberinde uygulama kısmına geçildiğinde, kurulum kısmının uygulaması yapılmaktadır. Yapılan bu uygulama sayesinde risk tablosu kullanılarak, tablonun kullanımı için örnek olacaktır. Bu uygulamada belirlenmiş olan risklerin değerleri gözlemlenerek, alınması gereken önlemler sayesinde risk değerinin düşürülmesi hedeflenmektedir.

Tablo 54 Risk Değerlendirme Tablosu Uygulması

Güneş Enerji Santralleri İçin Risk Tablosu																					
Ref	Proje Aşamaları	Tehlike	Risk	Etki / Zarar Sonuç	Risk Değeri				Tedbir alınması gerekiyor mu?	Önerilen Tedbirler	Risk Değeri										
					O	S	D	R			O	S	D	R							
					L	A	S	I	L	E	T	K	L	A	S	I	L	E	T	K	
1	Kurulum	Arazinin Kurulum İçin Uygun Hale Getirilmemesi	Kurulum Yapılamama	Uygunsuz Kurulum Koşulundan Dolayı İş Kazası Yaşanması	3	4	12	10	EVET	2.1.7.1	Arazinin Kurulum İçin Uygun Hale Getirilmesi	2	3	6						Saha Müh.	
2	Kurulum	Arazi Drenajının Uygun Olmaması	Sel Oluşumu	Santral Alanının Zarar Görmesi Çalışanların Yaralanması, Ölmesi	3	5	15	13	EVET	2.1.7.1	Arazi Drenajının Kontrol Edilmesi	1	5	5						Saha Müh.	
3	Kurulum	Panellerin Elle Taşınması	Panellerin Düşmesi	Çalışanların Hafif Yaralanması, Rahatsızlanması	5	3	15	12	EVET	2.1.7.1	Paneller Taşınırken Elle Taşıma Yönetmeliğine Göre Uygulama Yapılması	1	2	2						Saha Müh.	
4	Kurulum	Eviricilerin Elle Taşınması	Eviricilerin Düşmesi	Çalışanlarda Kalıcı Rahatsızlıklara Sebep Olması	3	3	9	6	EVET	2.1.7.2	Eviricilerin Elle Taşınması Yerine Forklift Kullanılması	1	3	3						Saha Müh.	
5	Kurulum	Konstrüksiyonların Uygun Yerleştirilmemesi	Panellerin Düşmesi	Çalışanların Yaralanması, Ölüm	4	4	16	12	EVET	2.1.7.1	Jeo Teknik Analiz Sonuçlarının İncelenmesi	2	4	8						Saha Müh.	
6	Kurulum	Panel ve Eviricilerin Bağlantı Hatası	Eviricilerin Patlaması	Santral Alanına Zarar Vermesi, Çalışanların Yaralanması Ölmesi	3	5	15	13	EVET	2.1.7.2	Panel ve Eviricilerin Kablo Bağlantısını Gösteren Plana Uyulması	2	5	10						Saha Müh.	
7	Kurulum	Paneller Arası Kablo Bağlantı Hatası	Panellerin Patlaması	Çalışanların Yaralanması, Ölüm ve Elektrik Çarpması	4	5	20	15	EVET	2.1.7.1	Paneller Arası Kablo Bağlantısını Gösteren Plana Uyulması	2	5	10						Saha Müh.	
8	Kurulum	Panellerin Montajlama Hatası	Panellerin Düşmesi	Panellerde Mikro Kırıklar Oluşması, Panel Verimliliği Düşmesi	4	4	16	12	EVET	2.1.7.1	Panelleri Montajlama Sırasında Talimatlara Uyulması	1	4	4						Saha Müh.	
9	Kurulum	Evirici ve Trafo Arasındaki Bağlantı Hatası	Evirici ve Trafo Bolzulma	Evirici ve Trafoların Patlaması, Çalışanların Yaralanması, Ölüm	4	5	20	16	EVET	2.1.7.3	Evirici ve Trafoların Kablo Bağlantısını Gösteren Plana Uyulması	2	5	10						Saha Müh.	
10	Kurulum	Kablo Kanalı Derinliğinin Uygun Olmaması	Elektrik Çarpılması	Çalışanların Elektrik Çarpması	3	4	12	10	EVET	2.1.7.4	Kablo Kanalının Derinliği Teknik Şartnameye Uygun Hale Getirilmesi	1	3	3						Saha Müh.	
11	Kurulum	Kişisel Korumaya Donanım Ekipmanı Kullanılmaması	Parça Sıçrama	Konstrüksiyon ve ya Panel Montajı Sırasında Yaralanma	3	4	12	8	EVET	3.1.3	Kişisel Korumaya Donanım Kullanılması	1	3	3						Saha Müh.	
12	Kurulum	Panellerin Topraklanmaması	Yüksek Akım Oluşumu	Çalışanların Yaralanması, Ölüm	4	5	20	15	EVET	2.1.7.1	Panellerin Proje Planına Göre Topraklanması	2	5	10						Saha Müh.	
13	Kurulum	Eviricilerin Topraklanmaması	Yüksek Akım Oluşumu	Çalışanların Yaralanması, Ölüm	4	5	20	15	EVET	2.1.7.2	Eviricilerin Proje Planına Göre Topraklanması	2	5	10						Saha Müh.	
14	Kurulum	Trafo Binasının Topraklanmaması	Yüksek Akım Oluşumu	Trafo Binasının Patlaması, Çalışanların Yaralanması, Ölüm	4	5	20	15	EVET	2.1.7.3	Trafo Binasının Proje Planına Göre Topraklanması	2	5	10						Saha Müh.	
15	Kurulum	Santral Alanının Tamamı Topraklanmaması	Yüksek Akım Oluşumu	Sistem Parçalarının Zarar Görmesi, Çalışanların Yaralanması, Ölmesi	4	5	20	15	EVET	2.1.5	Santral Alanının Proje Planına Göre Topraklanması	2	5	10						Saha Müh.	
16	Kurulum	Sıcakta Çalışmadan Dolayı Dikkatsizlik Artışı	Sıcaklık	Çalışanların Dikkat Kaybının Artması	3	4	12	9	EVET	3.1.3	Su Molaları Sık Verilmesi	1	3	3						Saha Müh.	
17	Kurulum	Soğukta Çalışma esnasında Soğuk Yanması Oluşması	Sıcaklık	Çalışanların Yaralanması, Donması	4	4	16	15	EVET	3.1.3	Kişisel Korumaya Donanım Kullanılması ve Soğukta Dayanıklılık Kıyafetler Giyilmesi	2	3	6						Saha Müh.	
18	Kurulum	Yetkisiz kişilerin Santral Alanında Olması	Yetkisiz Kişiler	Yetkisiz Kişilerin Yaralanması, Ölmesi	5	5	25	15	EVET	3.1.3	Yetkisiz Kişilerin Santral Alanına Alınmaması	1	2	2						Saha Müh.	
19	Kurulum	Ses Seviyesinin Yüksek Olması	Gürültü	Çalışanların Geçici Sağırlığa ya da Sağır Olması	3	4	12	10	EVET	3.1.3	Kullanılan El Aletlerinin Ses Düzeyi Yasal Sınırlar İçinde Olması	2	3	6						Saha Müh.	
20	Kurulum	Tehlike Seviyesi Yüksek Olan Bölgede Etiketleme Yapılmaması	Etiketleme	Çalışanların Yaralanması, Ölmesi	4	5	20	10	EVET	3.1.3	Tehlike Seviyesi Yüksek Olan Bölgede Etiketleme Yapılması	1	5	5						Saha Müh.	
22	Kurulum	Panellerden Sonra Ayrıcı Kullanılmaması	Yüksek Akım Oluşumu	Eviricilerin Üzerinde Yüksek Akım Oluşması	3	4	12	10	EVET	2.1.7.2	Panellerden Sonra Ayrıcılar Kullanılması	2	3	6						Saha Müh.	
23	Kurulum	Trafo Binasından Sonra Ayrıcı Kullanılmaması	Yüksek Akım Oluşumu	Şebeke Hattı Üzerinde Yüksek Akım Oluşması	3	4	12	10	EVET	2.1.7.4	Trafo Binasından Sonra Ayrıcılar Kullanılması	2	3	6						Saha Müh.	

Tablo-54 gösterilen uygulamada, alınan önlemler sayesinde çalışanların güvenliği ön planda tutularak, oluşabilecek risklerin zararları en aza inmiştir. Bu sayede güneş enerjisi santralleri kurulumu güvenilir olmakla birlikte, çalışanlarında can güvenliği önlemi almış olmaktadır

BÖLÜM 5

SONUÇ

Bu tezin konusu güneş enerji santralleri kurulumunda risk değerlendirme analizidir. Risk değerlendirme analizi için literatürde kullanılan risk analizi yöntemleri incelenmiş, güneş enerji santrallerinin yapısı, kurulumunda uyulması gereken kurallar ve yönetmelikler raporlanmış ve yurt dışı kuruluşların hazırlamış oldukları kontrol listeleri incelenmiştir. Çalışmalar sonucunda literatür kapsamında olan kontrol listesi ve 5x5 matris yöntemi seçilerek iki farklı yöntem kullanılarak risk değerlendirme analizi yapılmıştır.

Bu tez çalışmaları sırasında güneş enerji santrallerinin dünyadaki ve Türkiye'deki durumları gözlemlenmiştir. Dünya üzerindeki yapılan yatırımlar ve gelecekteki kurulması planlanan santraller hakkında bilgiler verilmiştir. Türkiye, diğer ülkelere göre güneş enerjisi santralleri konusunda geri kalmıştır. Yeni destekler sayesinde diğer ülkeleri yakalamak için yapılması gereken yatırımlar hakkında bilgiler verilmiştir.

Tez çalışmalarında risk değerlendirmesinin tanımı araştırılmıştır. Resmi Gazetede 20.06.2012 yılında yayınlanan 6331 sayılı kanun olan İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ve Türk Standartları Enstitüsü tarafından TS18001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemleri Şartları standartları içindeki tanımların karşılaştırılması yapılmıştır. Daha sonra literatürdeki risk değerlendirme metotlarından bahsedilmiştir.

Ayrıca bu tez kapsamında güneş enerji santrallerinin kurulumunda yapılması gereken çalışmalardan bahsedilmiştir. Bunlar geoteknik ve sismik analiz, güneş panelleri ve eviriciler için uyumluluk hesapları, trafo ve beton köşk kurulumu, topraklama ve yıldırım koruma tasarımı hakkında bilgiler verilmiştir. İncelenen bu aşamalar Resmi Gazetede

yayınlanan yönetmeliklere ve TEDAŞ'ın yayınlamış olduğu teknik şartnameye uyumludur.

Bu tezde uluslararası kuruluşların ve şirketlerin risk analizi hakkında yapılan çalışmalarını incelenerek karşılaştırmalar yapılmıştır. Uluslararası kurumların yapmış olduğu risk analizlerinin iş sağlığı ve iş güvenliği açısından eksiklikleri tespit edilmiştir. Uluslararası kuruluşların ve şirketlerin risk analiz karşılaştırılması yapılmıştır.

Bu tez kapsamında risk tablosundaki şiddet ve risk değerleri öznel olarak kişisel deneyimler neticesinde belirlenmiştir. Gelecekteki çalışmalarda, risk tablosunun şiddet ve eşik değer verilerinin nesnel bir şekilde mevcut istatistiklerden elde edilmesi sağlanabilir. Benzer şekilde kullanıcının doldurduğu olabirliklik değerleri de daha nesnel bir şekilde işe/sahaya özgü verilerden elde edilebilir. Gelecekteki çalışmalarda burada hazırlanan risk değerlendirme rehberinin bir benzeri çatı tipi uygulamalar için de geliştirilebilir.

Kaynaklar

1. **Prof. Dr. Kahriman A., Araş. Gör. Kurşun İ.**, (15.07.2015), “*AB’ye Giriş Sürecinde Türkiye Enerji Politikaları*”, Erişim tarihi: 25.10.2015, Web site adresi: <http://petrolenerji.blogspot.com.tr/2007/07/abye-giri-srecinde-trkiye-enerji.html>
2. **Vaona A. (2015)**, “*The Effect of Renewable Energy Generation on Import Demand*”, *Renewable Energy* 86 (2016) 354-359
3. **Aksungur, K. M., Kurban, M., & Filik, Ü. B., (2013)**, “*Türkiye’nin Farklı Bölgelerindeki Güneş Işınım Verilerinin Analizi ve Değerlendirilmesi*”, Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu.
4. **SolarGIS,**”*World Solar Resource Map*”, Erişim tarihi: 22.10.2015, Web sitesi adresi: <http://solargis.com/products/maps-and-gis-data/free/download/world>
5. **Hürriyet Haber, (11.08.2015)**, “*Almanya’da güneş enerjisi nükleeri solladı.*”, Erişim tarihi: 22.10.2015, Web site adresi: <http://www.hurriyet.com.tr/almanya-da-gunes-enerjisi-nukleeri-solladi-29781813>
6. **Wand R., Leuthold F.. (2010)**. “*Feed-in Tariffs for Photovoltaics Learning by Doing in Germany ?*”. Conference of The Economics of Energy Markets
7. **Woody T..(02.01.2013)**,” *Warren Buffet In \$2 billion Solar Deal* “, Erişim tarihi: 22.10.2015, Web site adresi: <http://www.forbes.com/sites/toddwoody/2013/01/02/warren-buffett-in-2-billion-solar-deal/#63940d4b7df4>
8. **Burr J., Hallock L. (2014)**, “*The Growing role of solar Energy in America* “, Environment America Research & Policy Center, Erişim tarihi: 22.10.2015, Web site adresi: http://www.environmentamerica.org/sites/environment/files/reports/EA_Star_Power.pdf

9. **Frankfurt School – UNEP Centre. (2015)**, “*Global Trends in Renewable Energy Investemnt 2015*“, Bloomberg New Energy Finance, Erişim tarihi: 22.10.2015, Web sitesi adresi : http://fs-unep-centre.org/sites/default/files/attachments/key_findings.pdf

10. **REN21, (2014)**, “*Renewables 2014 Global Status Report*“, Renewable Energy Policy Network for the 21st Centruy, Erişim tarihi: 22.10.2015, Web site adresi: <http://www.ren21.net/GSR2014-Renewables-2014-Global-Status-Report-Key-Findings-EN>

11. **REN21, (2014)**, “*Renewables 2014 Global Status Report*“, Renewable Energy Policy Network for the 21st Centruy, Erişim tarihi: 22.10.2015, Web site adresi: <http://www.ren21.net/GSR2014-Renewables-2014-Global-Status-Report-Key-Findings-EN>

12. **REN21, (2014)**, “*Renewables 2014 Global Status Report*“, Renewable Energy Policy Network for the 21st Centruy, Erişim tarihi: 22.10.2015, Web site adresi: <http://www.ren21.net/GSR2014-Renewables-2014-Global-Status-Report-Key-Findings-EN>

13. **Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü**, “*Türkiye’de Güneş Enerjisi*“,Erişim tarihi: 22.10.2015, Web site adresi: <http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/tgues.html>

14. **SolarGIS**,”*Küresel Yatay Radyasyon*“, Erişim tarihi:23.10.2015,Web site adresi: <http://solargis.com/assets/graphic/free-map/GHI/Solargis-Turkey-GHI-solar-resource-map-tr.png>

15. **Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü**, “*Türkiye’de Güneş Enerjisi*“,Erişim tarihi: 22.10.2015, Web site adresi: <http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/tgues.html>

16. **Bedelleoğlu A., Demir A., Bozkurt Y., (2010)**, “*Fotovoltaik Teknolojisi: Türkiye ve Dünyadaki Durumu, Genel Uygulama Alanları ve Fotovoltaik Tekstiller*”, Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt:4, No:2, (43-58)

17. **Ateş M.B., Demir H., Üresin E., Tunç Ş., Erdi H., (2009)**, “*Dünya’da ve Türkiye’de Güneş Enerjisi*“,Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 978-605-89548-2-3

18. **T.C. Resmi Gazete, (19.06.2011),”GÜNEŞ ENERJİSİNE DAYALI ELEKTRİK ÜRETİM TESİSLERİ HAKKINDA YÖNETMELİK”,** Erişim tarihi: 22.10.2015, Web site adresi: <http://www.resmigazete.gov.tr/main.aspx?home=http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/06/20110619.htm&main=http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/06/20110619.htm>

19. **T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu, (2016), “Elektrik Piyasası Sektör Raporu Haziran / 2016”,** Erişim tarihi: 01.08.2016 Web site adresi: <http://www.epdk.org.tr/TR/Dokumanlar/Elektrik/YayinlarRaporlar/AylikSektor>

20. **Topcu C., Yünel D. T.,(2012), “ Çukurova Kalkınma Ajansı Yenilenebilir Enerji Araştırma Raporu 2012/03 “,** Erişim tarihi: 04.11.2015 Web site adresi: <http://www.cka.org.tr/dosyalar/enerji.pdf>

21. **OHSAS Project Group, (2007), “Occupational health and safety management systems – Requirements “,** Occupational health and safety assessment series, ISBN 978 0 580 50802 8

22. **T.C. Resmi Gazete, (30.06.2012), “ İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu “,** Erişim tarihi: 29.10.2015, Web site adresi: <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/06/20120630-1.htm>

23. **Türk Standartları Enstitüsü, (2008), “İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemleri – Şartları“,** ICS 03.100.01; 13.100

24. **T.C. Resmi Gazete, (05.02.2013), “Ulusal İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği “,** Erişim tarihi: 12.03.2016, Web site adresi: <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/02/20130205-3.htm>

25. **T.C. Resmi Gazete, (24.12.2013), “İş Sağlığı ve Güvenliği Hizmetlerinin Desteklenmesi Hakkında Yönetmelik “,** Erişim tarihi: 12.03.2016, Web site adresi: <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/12/20131224-3.htm>

26. **T.C. Resmi Gazete, (18.01.2013), “İş Sağlığı ve Güvenliği Kurulları Hakkında Yönetmelik “,** Erişim tarihi: 13.03.2016, Web site adresi: <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/01/20130118-3.htm>

27. **T.C. Resmi Gazete, (29.12.2013)**, “*İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirme Yönetmeliği* “, Erişim tarihi: 13.03.2016, Web site adresi: <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/12/20121229-13.htm>

28. **Allied**, “Risk Management, “*The role of risk management continues to develop and expand, embracing complex, demanding and at times unexpected challenges*”, Erişim tarihi: 24.10.2015, Web site adresi: <http://coemployer.com/risk-management/>

29. **Dumbrava V., Jacob S., (2013)**,” *Using Probability – Impact Matrix in Analysis and Risk Assessment Projects* “, Journal of Knowledge Management Economics and Information Technology

30. **Saat M.B.**, “*İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirme Metotlarından Kontrol Listesi ve Matris Metotlarının Entegre Biçiminde Bir İnşaat Şantiyesinde Uygulanması*“, Yüksek Lisans, Gazi Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, (2009)

31. **Kılıç Ö., (2005)**, “*İş Sağlığı ve Güvenliği Yöntem Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri* “, Ajans – Türk Basın ve Basım A.Ş., Yayın No: 246, 975 – 2545 – 25-12, Erişim tarihi: 15.11.2015, Web site adresi: <http://iyh.istabip.org.tr/sirer/isys/3.pdf>

32. **Oturakçı M., Dağsuyu C., Kokangül A., (2015)**,” *A New Approach to Fine Kinney Method and an Implementation Study* “, The Journal of Operations Research, Statistics, Econometrics and Management Information Systems, Vol. 3, Issue 2, ISSN 2148-2225

33. **Şardan H.S.**, “*İş Sağlığı ve Güvenliğinde Yeni Oluşumlar Risk Değerlendirmesi ve OSHAS 18001*“, Yüksek Lisans, Gazi Üniversitesi. Sosyal Bilimleri Enstitüsü, (2009)

34. **Kuleli ,B.**,” *İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemleri – TS 18001:2004’e Reach Kimyasallar Politikalarının Etkileri ve Bir Risk Değerlendirme Modeli Kurulumu*“, Yüksek Lisans, Dokuz Eylül Üniversitesi, (2011)

35. **Zhao N., Zhao T., Tian J., (2009)**,” *Reliability Centered Preliminary Hazard Analysis* “, IEEE, 1-4244-2509-9/09

36. **Keleş F.K.**,” *Risk Değerlendirme Çalışmasında Yeni Bir Yaklaşım ve Açık Maden Ocağı İşletmesinde Uygulama*“, Yüksek Lisans, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2012)

37. **Dumbrava V., Jacob S., (2013),**”Using Probability – Impact Matrix in Anlysis and Risk Assesment Projects“, Journal of Knowledge Management Economics and Information Technology

38. **Fostter M., Beasley J., Davis B., Kryska P., Liu E., McIntyre A., Sherman M., Stringer B., Wright J., (1990),**” Hazards Analysis Guide: A Reference Manual for Analyzing Safety Hazards on Semiconductor Manufacturing Equipment “, Erişim tarihi: 15.12.2015, Web site adresi: <http://www.sematech.org/docubase/document/3846aeng.pdf>

39. **Lee W.S., Grosh D.L., Tillman F.A., Lie C.H.,(1985),**” Fault Tree Analysis, Methods, and Applications – A Review “,IEEE Transactions on Reliability, Vol. R-34, No. 3,(194-203)

40. **T.C. Resmi Gazete, (30.12.2014),** “Elektrik Tesisleri Proje Yönetmeliği “, Erişim tarihi: 14.03.2016, Web site adresi: <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/12/20141230M1-2.htm>

41. **T.C. Resmi Gazete, (10.05.2005),** “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretim Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun “, Erişim tarihi: 14.03.2016, Web site adresi: <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/05/20050518-1.htm>

42. **Akçalı İ.,(2001),**” Güneş Enerji Sistemleri “, İstanbul Ticaret Odası, Erişim tarihi: 12.01.2016, Web site adresi: <http://www.ito.org.tr/itoyayin/0003043.pdf>

43. **Schaerer R., LewisD., (2015),**” Large Utility – Scale Photovoltaic Solar Power Plant Grounding System Safety Desing – General Practices and Gidance “, IEEE, 978-1-4673-8040-9/15

44. **GO Enerji,**” Güneş Enerjisi Hakkında Güneş Işığından Elektrik Üretim Teknolojisi“, Erişim tarihi: 25.12.2015, Web site adresi: <https://www.goenerji.com.tr/Gunes-Enerjisi-Hakkinda.aspx>

45. **Solar Energy,** (06.05.2016), ”Solar Power Plant Construction“, Erişim tarihi: 10.05.2016, Web site adresi: <http://www.250watt.com/SolarPowerPlant/solar-power-plant-construction>

46. **Zhuang J., Bai F., Xu E., (2011),** ” *Performance Analysis of Two-Stage Thermal Energy Storage System of Solar Power Plant*“, Power and Energy Conference (APPEEC), 2011 Asia-Pacific, IEEE, 978-1-4244-6255-1

47. **Nandi B.R., Bandyopadhyay S., Banerjee R., (2012),** ” *Analysis of High Temperature Thermal Energy Storage for Solar Power Plant*“, Sustainable Energy Technologies (ICSET), 2012 IEEE Third International Conference on, IEEE, 978-1-4577-1870-0

48. **Erneuerbare Energien und Klimaschutz,** “*Solar Thermal Power*“, Erişim tarihi: 16.01.2016, Web site adresi: http://www.volker-quaschnig.de/articles/fundamentals2/index_e.php

49. **Voorthuysen E. H. M., (2005).**” *The Promising Perspective of Concentrating Solar Power (CPS)*“, 2005 International Conference on Future Power Systems, IEEE, 90-78205-02-4

50. **U.S. Energy Information Administration,** “*Concentrating Solar Power Technologies Offer Utility – Scale Power Production*“, Erişim tarihi: 06.02.2016, Web site adresi: <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=530>

51. **Donaldson B., Brearley D., (2015),**” *Geotechnical Analysis and PV Foundation Design* “, Erişim tarihi: 05.04.2016, Web site adresi: <http://solarprofessional.com/articles/design-installation/geotechnical-analysis-and-pv-foundation-design>

52. **Free Sun Power,** “*Solar Power 101 A Practical Guide to Solar Power System Design For Homeowners*“, Erişim tarihi: 10.03.2016, web site adresi: <http://www.offgridwinchester.com/Solar%20Power-101.pdf>

53. **The Solar Planner,** “*Photovoltaic Tutorial: Step by Step Guide to Going Solar*“, Erişim tarihi: 16.03.2016, Web site adresi: http://www.thesolarplanner.com/steps_page6.html

54. **CSUN Energy For Today,** “*Waratah Poly Maksimum Güç CSUN 265-60P*“, Erişim tarihi: 23.03.2016, Web site adresi: <http://www.csun-solar.com/products-poly-modules0.html?&L=9>

55. SMA, “Sunny Tripower 20000TL / 25000TL The Versalite Specialist For Large – Scale Commercial Plants and Solar Power Plants“, Erişim tarihi: 23.03.2016, Web site adresi: <http://www.sma.de/en/products/solarinverters/sunny-tripower-20000tl-25000tl.html#Downloads-108649>

56. T.C. Resmi Gazete Başbakanlık Mevzuat Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü, (21.08.2001) “ Elektrik Tesislerinde Topraklama Yönetmeliği”, Resmi Gazete Sayısı: 24500, Erişim tarihi: 02.04.2016, Web site adresi: <http://mevzuat.basbakanlik.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.10392&sourceXmlSearch=&MevzuatIliski=0>

57. T.C. Resmi Gazete Başbakanlık Mevzuat Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü, (21.07.1991), “Yıldırımdan Korunma Yönetmeliği “, Resmi Gazete Sayısı: 20936, Erişim tarihi: 12.04.2016, Web site adresi: <http://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/20936.pdf>

58. Milli Eğitim Bakanlığı Elektrik Elektronik Teknolojisi, (2001), “YG Tesislerinde Topraklama Sistemi”, Erişim tarihi: 22.03.2016, Web site adresi: http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Yg%20Tesislerinde%20Topraklama%20Sistemi.pdf

59. Schneider Electric, “SPD For Photovoltaic Applications”, Erişim tarihi: 04.03.2016, Web site adresi: http://www.electrical-installation.org/enwiki/SPD_for_photovoltaic_applications

60. T.C. Resmi Gazete Başbakanlık Mevzuat Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü, (24.07.2013), “Elle Taşıma İşleri Yönetmeliği “, Resmi Gazete Sayısı: 28717, Erişim tarihi: 12.04.2016, Web site adresi: <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/07/20130724-24.htm>

61. Yaman Y., (10.11.2013),” Elektrik Akımının İnsan Vücudu Üzerindeki Etkileri”, Erişim tarihi: 09.04.2016, Web site adresi: <http://yusufyamanser.blogspot.com.tr/2013/10/elektrik-akmnn-insan-vucudu-uzerindeki.html>

62. European Agency for Safety and Health Work, “Hazard Identification Checklist: OSH Associated with Small – Scale Solar Energy Applications“, Erişim tarihi: 15.12.2015, Web site adresi: <https://osha.europa.eu/en/tools-and-publications/publications/e-facts/e->

[fact-69-hazard-identification-checklist-osh-risks-associated-with-small-scale-solar-energy-applications](#)

63. **Solar Power World**, (04.08.2014), “*Webniar: Managing Risk During PV Plant Development*“, Erişim tarihi: 17.02.2016, Web site adresi: <http://www.solarpowerworldonline.com/2014/08/webinar-managing-risk-pv-plant-development/>

64. **National Renewable Energy Laboratory**, (2013), “*Continuing Developments in PV Risk Management: Strategies, Solutions, and Implications*“, Erişim tarihi: 18.02.2016, Web site adresi: <http://www.nrel.gov/docs/fy13osti/57143.pdf>

65. **Internaional Electrotecnical Commission**, “*Strategic Assesment Management of Power Networks*“, Erişim tarihi: 19.02.2016, Web site adresi: <http://www.iec.ch/whitepaper/pdf/iecWP-assetmanagement-LR-en.pdf>

66. **TÜV Rheinliand**,(2015),”*PV System Standardization Develeopments IEC RE, IECEE, PV QA, and Qualification Plus*“, Erişim tarihi: 22.02.2016, Web site adresi: http://www.nrel.gov/pv/performance_reliability/pdfs/2015_spi_wkshp_heinze.pdf

67. **Indicator Limited**,(2011),”*Risk Assesment – PV Panel Installation*“, Erişim tarihi: 01.03.2016, Web site adresi: <http://www.indicator.co.uk/en/publications/overview.php?pubid=DS>

68. **First Solar**, Erişim tarihi: 14.05.2016, Web site adresi: <http://www.firstsolar.com/en/About-Us/History.aspx>

69. **First Solar**, “*Construction Enviromental Management Plan (CEMP) Nyngan Solar PV Power Station*“, Erişim tarihi: 19.04.2016, Web site adresi: https://www.agl.com.au/~/_media/AGL/About%20AGL/Documents/How%20We%20Source%20Energy/Solar%20Environment/Nyngan%20Solar%20Plant/Assessments%20and%20Reports/2014/5%20First%20Solar%20Nyngan%20CEMP%20%20Final.pdf

EKLER

Ek A

KONTROL LİSTESİ

Güneş Enerji Santralleri İçin Kontrol Listesi

No	Ön Analiz Çalışmaları	Ref	Evet	Hayır	Öneriler
1	Bölgenin konumuna göre güneş miktarı ölçüldü mü?				
2	Bölgenin konumuna göre hava koşulları incelendi mi ? (Sıcaklık, Kar, Nem, Rüzgar Hızı, Dolu, Yağmur)				
3	Kurumlardan gerekli tüm izinler alındı mı ?				
4	Kurulum yapılacak arazinin ön araştırması yapıldı mı ?				
5	Kurulum yapılacak arazinin zemin etüdü yapıldı mı ?				
6	Kurulum yapılacak arazinin jeoteknik analizi yapıldı mı ?				
No	Jeoteknik Analiz Çalışmaları	Ref	Evet	Hayır	Öneriler
7	Kurulum yapılacak arazinin haritası var mı ?	2.1.2.1			
8	Kurulum yapılacak arazinin jeolojik yapısı kontrol edildi mi ?	2.1.2.1			
9	Kurulum yapılacak arazinin topografik analizi yapıldı mı ?	2.1.2.1			
10	Jeoteknik analiz için kurulum yapılacak araziden toprak örneği alındı mı?	2.1.2.1			
11	Araziden kaç metre derinlikten örnekler alındığına dair notlar alındı mı?	2.1.2.1			
12	Kurulum yapılacak arazinin su,kaya,ki,tuz vb. özellikleri belirlendi mi ?	2.1.2.1			
13	Kurulum yapılacak arazinin zemin koşulu belirlendi mi ?	2.1.2.1			
14	Kurulum yapılacak arazinin toprak yük miktarı belirlendi mi ?	2.1.2.1			
15	Kurulum yapılacak arazinin sarsıntı oranı belirlendi mi ?	2.1.2.1			
16	Araziden alınan toprak örnekleri Labaratuvar testlerine gönderildi mi ?	2.1.2.1			
17	Labaratuvar testleri sonuçlarına göre toprak yapısı özellikleri belirlendi mi ?	2.1.2.1			

No	Statik Analiz Çalışmaları	Ref	Evet	Hayır	Öneriler
18	Jeoteknik analiz laboratuvar test sonuçlarına göre çelik konstrüksiyon malzemelerin yapısı belirlendi mi ?	2.1.2.2			
19	Temel atılacak betonun kimyasal özelliği belirlendi mi ?	2.1.2.2			
20	Statik analiz için model tanımlaması yapıldı mı ?	2.1.2.2			
21	Tasarım model bilgileri tanımlandı mı ?	2.1.2.2			
22	Model yüklemeleri çalışması yapıldı mı?	2.1.2.2			
23	Güneş panelinin yükü, konstrüksiyon yükü belirlendi mi ?	2.1.2.2			
24	Konstrüksiyonların taşıyacağı kar yükü miktarı tanımlandı mı ?	2.1.2.2			
25	Konstrüksiyonların dayanabileceği rüzgar ve deprem yükü tanımlandı mı ?	2.1.2.2			
26	Tanımlanan yükler için modelin statik hesaplaması yapıldı mı ?	2.1.2.2			
27	Modelin kolon kiriş bağlantı ve birleşim hesabı yapıldı mı ?	2.1.2.2			
28	Tüm saha alanındaki beton, güneş paneli, evirici, konstrüksiyon ağırlıkları toplamı tanımlandı mı ?	2.1.2.2			
29	Tanımlanan saha alanındaki toplam ağırlık, jeoteknik analizdeki arazinin maksimum yük değerinden düşük mü ?	2.1.2.2			
30	Yapılan çalışmalar TS 498, TS 500, TS 1500 standartlarına uygun mu ?	2.1.2.2			
No	Projelendirme ve Tasarım	Ref	Evet	Hayır	Öneriler
31	Kullanılacak Güneş paneli ve Eviriciler belirlendi mi ?	2.1.3			
32	Güneş paneli ve Eviriciler arasındaki uyumluluk hesapları yapıldı mı ?	2.1.3			
33	Güneş paneli ve Eviriciler arasındaki uyumluluk hesabı çalışması için uygun mu ?	2.1.3			
34	Güneş panelinin açısı belirlendi mi ?	2.1.3			
35	Güneş panelleri ve Eviriciler sonrasında kesiciler kullanıldı mı ?	2.1.3			

No	Projelendirme ve Tasarım	Ref	Evet	Hayır	Öneriler
36	Güneş panelleri sonrasında DC sigorta kullanıldı mı ?	2.1.7.1			
37	Eviriciler sonrasında AC sigorta kullanıldı mı ?	2.1.7.1			
38	Güneş panelleri topraklama koruması yapıldı mı ?	2.1.5.4			
39	Güneş panellerinin yıldırım koruması yapıldı mı ?	2.1.5.4			
40	Eviricilerin topraklama koruması yapıldı mı ?	2.1.5.4			
41	Eviricilerin yıldırım koruması yapıldı mı ?	2.1.5.4			
42	Topraklama çubukları standartlara uygun mu ?	2.1.5.4			
43	DC ve AC kabloların standartlara uygun olarak kullanılmış mı ?	2.1.7.1			
44	DC ve AC kabloların üzerinden geçecek olan voltaj ve akıma dayanıklı mı ?	2.1.7.1			
45	DC ve AC kabloların kısa devre hesaplamalar yapıldı mı ?	2.1.7.1			
46	Topraklama ve Yıldırım koruma hesapları yapıldı mı ?	2.1.7.1			
47	Topraklama ve Yıldırım koruma proje paftası hazır mı ?	2.1.7.1			
48	Santral genel yerleşim planı proje paftası hazır mı ?	2.1.7.1			
49	Güneş paneli ve eviriciler arasındaki DC kablo bağlantıları proje paftası hazır mı ?	2.1.7.1			
50	Eviriciler ve trafo binası arasındaki AC kablo bağlantıları proje paftası hazır mı ?	2.1.7.1			
51	Yangın algılama ve söndürme sistemi proje paftaları hazır mı ?	2.1.7.1			
52	Primer Techizat Seçim Hesabı yapıldı mı ?	2.1.7.1			
53	Röle Koordinasyon ve Selektivite Hesabı yapıldı mı ?	2.1.7.1			
54	DC toplama panosu mevcut mu ?	2.1.7.1			

No	Projelendirme ve Tasarım	Ref	Evet	Hayır	Öneriler
55	DC toplama panosu topraklama ve yıldırım koruma sistemi kurulmuş mu ?	2.1.5.4			
56	Panellerin konumlandırılmasında gölgelemeye dikkat edildi mi ?	2.1.7.1			
No	Testler ve Devreye Alma	Ref	Evet	Hayır	Öneriler
57	Santralin topraklama direnci 1 Ω mu ?	2.1.7.4			
58	Testler TS EN 62446 Standartı kapsamında mı yapılmaktadır ?	2.1.7.4			
59	DC toplama panosunda etiketleme ile tanımlanmış mı ?	2.1.7.4			
60	Panellerin elektrik çıkışında yüksek voltaj etiketlemesi var mı ?	2.1.7.4			
61	Eviricilere girişte yüksek akım ve voltaj etiketlemesi var mı ?	2.1.7.4			
62	Trafo binası çıkışında yüksek akım ve voltaj etiketlemesi var mı ?	2.1.7.4			
63	Tüm ayrılma noktalarında çift yönlü besleme etiketlemesi var mı ?	2.1.7.4			
64	Sistem arızası olduğunda yapılacaklar listesi var mı ?	2.1.7.4			
65	Sistemi acil kapatma prosedürü var mı ?	2.1.7.4			
66	Bakım ve temizleme sırasında izlenmesi gereken prosedür var mı ?	2.1.7.4			
67	Santralin tek hat şeması, tüm proje paftaları kopyası, santral yerleşkesi içerisinde mi ?	2.1.7.4			
No	Testler ve Devreye Alma	Ref	Evet	Hayır	Öneriler
68	AC ve DC kısımda fiziksel ayırım mevcut mu ?	2.1.7.4			
69	DC kısımda aşırı voltaja karşı sigorta kullanıldı mı ?	2.1.7.4			
70	DC kısımda aşırı akıma karşı sigorta kullanıldı mı ?	2.1.7.4			
71	Eviricilerde yüksek akım ve voltaj koruması var mı ?	2.1.7.4			
72	Eviricilerde yıldırım koruma ve topraklama sistemi var mı ?	2.1.7.4			

No	Santralin Çalışması ve Bakım	Ref	Evet	Hayır	Öneriler
73	Eviricilerde yıldırım koruma ve topraklama sistemi uygun mu ?	2.1.7.4			
74	Panellerde topraklama iletkeni kullanıldı mı ?	2.1.7.4			
75	Panellerde kullanılan topraklama iletkeni uygun mu ?	2.1.7.4			
76	Panellerde yıldırım koruma sistemi var mı ?	2.1.7.4			
77	Panellerden sonra kullanılan ayırıcı ve kesiciler çalışma voltajına uygun mu ?	2.1.7.4			
78	Eviricilerden sonra kullanılan ayırıcı ve kesiciler çalışma voltajına uygun mu ?	2.1.7.4			
79	Santral ön analiz simülasyonlarına göre elektrik üretiyor mu ?	2.1.7.4			
80	Santralde üretilen elektrik raporlaması yapılıyor mu ?	2.1.7.4			
81	Santralin günlük olarak güneş miktarı, sıcaklık vb. hava koşulları raporlaması yapılıyor mu ?	2.1.7.4			
82	Santral üzerindeki bitki örtüsü varsa bakımı yapılıyor mu ?	2.1.7.4			
83	Santral çalışırken otomatik arıza tespiti yapabiliyor mu ?	2.1.7.4			
84	Santralin panellerin temizliği için prosedür var mı ?	2.1.7.4			
No	Santralin Çalışması ve Bakım	Ref	Evet	Hayır	Öneriler
85	Panellerin temizliği en az yılda bir kez yapılıyor mu ?	2.1.7.4			
86	Bakım sırasında panellerin ve eviricilerin performansları kontrol ediliyor mu ?	2.1.7.4			
87	Panellerin temizliği sırasında mikro kırıkların olup olmadığı tespit ediliyor mu ?	2.1.7.4			
88	Acil durum halinde ulaşılması gereken telefon numaraları görülen yerde mi ?	2.1.7.4			
89	Santral üzerindeki raporlama santral sahibi ve yetkili kurumla paylaşım yapılıyor mu ?	2.1.7.4			
90	Santral içerisinde ilkyardım ekipmanları var mı ?	2.1.7.4			

EK B

RİSK TABLOSU

Güneş Enerji Santralleri İçin Risk Tablosu

Ref	Proje Aşamaları	Tehlike	Risk	Etki / Zarar Sonuç	Risk Değeri		Eşik değeri	Tedbir alınması gerekiyor mu?	Önerilen Tedbirler	Risk Değeri		Alınması gereken önlemlerden sorumlu kişi veya departman
					O L Ş A I R S D I L E K İ T	3 4 12				O L Ş A I R S D I L E K İ T	3 4 12	
1	Kurulum	Arazinin Kurulum İçin Uygun Hale Getirilmemesi	Kurulum Yapılmama	Uyumsuz Kurulum Kosulundan Dolayılı Kazası Yaşanması	2.1.7.1	10	EVET	2.1.7.1				
2	Kurulum	Arazi Drenajının Uygun Olmaması	Sel Oluşumu	Santral Alanının Zarar Görmesi Çalışanların Yaralanması, Ölmesi	2.1.7.1	13	EVET	2.1.7.1				
3	Kurulum	Panellerin Elle Taşınması	Panellerin Düşmesi	Çalışanların Hafif Yaralanması, Rahatsızlanması	2.1.7.1	12	EVET	2.1.7.1				
4	Kurulum	Evircilerin Elle Taşınması	Evircilerin Düşmesi	Çalışanlarda Kalıcı Rahatsızlıklara Sebep Olması	2.1.7.2	6	EVET	2.1.7.2				
5	Kurulum	Konstrüksiyonların Uygun Yerleştirilmemesi	Panellerin Düşmesi	Çalışanların Yaralanması, Ölüm	2.1.7.1	12	EVET	2.1.7.1				
6	Kurulum	Panel ve Evircilerin Bağlantı Hatası	Evircilerin Patlaması	Santral Alanına Zarar Vermesi, Çalışanların Yaralanması Ölmesi	2.1.7.2	13	EVET	2.1.7.2				
7	Kurulum	Paneller Arası Kablo Bağlantı Hatası	Panellerin Patlaması	Çalışanların Yaralanması, Ölüm ve Elektrik Çarpması	2.1.7.1	15	EVET	2.1.7.1				
8	Kurulum	Panellerin Montajlama Hatası	Panellerin Düşmesi	Panellerde Mikro Kırcıklar Oluşması, Panel Verimliliği Düşmesi	2.1.7.1	12	EVET	2.1.7.1				
9	Kurulum	Evirciler ve Trafo Arasındaki Bağlantı Hatası	Evirci ve Trafo Bobinleme	Evirci ve Trafoların Patlaması, Çalışanların Yaralanması, Ölüm	2.1.7.3	16	EVET	2.1.7.3				
10	Kurulum	Kablo Kanalı Derinliğinin Uygun Olmaması	Elektrik Çarpması	Çalışanların Elektrik Çarpması	2.1.7.4	10	EVET	2.1.7.4				
11	Kurulum	Kişisel Koruyucu Donanım Ekipmanlarının Kullanılmaması	Parça Sıçrama	Konstrüksiyon veya Panel Montajı Sırasında Yaralanma	3.1.3	8	EVET	3.1.3				
12	Kurulum	Panellerin Topraklanmaması	Yüksek Akım Oluşumu	Çalışanların Yaralanması, Ölüm	2.1.7.1	15	EVET	2.1.7.1				
13	Kurulum	Evircilerin Topraklanmaması	Yüksek Akım Oluşumu	Çalışanların Yaralanması, Ölüm	2.1.7.2	15	EVET	2.1.7.2				
14	Kurulum	Trafo Binasının Topraklanmaması	Yüksek Akım Oluşumu	Trafo Binasının Patlaması, Çalışanların Yaralanması, Ölüm	2.1.7.3	15	EVET	2.1.7.3				
15	Kurulum	Santral Alanının Tamamı Topraklanmaması	Yüksek Akım Oluşumu	Sistem Parçalarının Zarar Görmesi, Çalışanların Yaralanması, Ölmesi	2.1.5	15	EVET	2.1.5				
16	Kurulum	Sıcakta Çalışmadan Dolayı Dikkatsizlik Artışı	Sıcaklık	Çalışanların Dikkat Kaybının Artması	3.1.3	9	EVET	3.1.3				
17	Kurulum	Soğukta Çalışma esnasında Soğuk Yanması Oluşması	Sıcaklık	Çalışanların Yaralanması, Donması	3.1.3	15	EVET	3.1.3				
18	Kurulum	Yetkisz kişilerin Santral Alanında Olması	Yetkisz kişiler	Yetkisz kişilerin Yaralanması, Ölmesi	3.1.3	15	EVET	3.1.3				

Ref	Proje Aşamaları	Tehlike	Risk	Etki / Zarar Sonuç	Risk Değeri		Tebhir alınması gerekiyor mu?	Önerilen Tedbirler	Risk Değeri	Alınması gereken önlemlerden sorumlu kişi veya departman	
					Ölçülebilirlik	İhtimal					
19	Kurulum	Ses Seviyesinin Yüksek Olması	Gürültü	Çalışanların Geçici Sağlığına ya da Sağır Olması	3	4	12	10	EVET	3.1.3	
20	Kurulum	Tehlike Seviyesi Yüksek Olan Bölgede Etiketleme Yapılmaması	Etiketleme	Çalışanların Yaralanması, Ölmesi	4	5	20	10	EVET	3.1.3	
22	Kurulum	Panellerden Sonra Ayırıcı Kullanılmaması	Yüksek Akım Oluşumu	Evriçlerin Üzerinde Yüksek Akım Oluşması	3	4	12	10	EVET	2.1.7.2	
23	Kurulum	Trafo Binasından Sonra Ayırıcı Kullanılmaması	Yüksek Akım Oluşumu	Şebeke Hattı Üzerinde Yüksek Akım Oluşması	3	4	12	10	EVET	2.1.7.4	
24	Testler ve Devreye Alma	Konstrüksiyonların Uygun Olmaması	Konstrüksiyon	Konstrüksiyonların Zamanla Zarar Görmesi	2	3	6	10	HAYIR	2.1.7.4	
25	Testler ve Devreye Alma	Topraklamasının Yönetimlere Uygun Olarak Yapılmaması	Topraklama Sisteminin Yetersizliği	Santralin Sistem Parçalarının Zarar Görmesi	3	4	12	10	EVET	2.1.7.4	
26	Testler ve Devreye Alma	Yıldırım Koruması Yönetimlere Uygun Olarak Yapılmaması	Yıldırım koruması Sisteminin Yetersizliği	Santralin Sistem Parçalarının Zarar Görmesi	4	5	20	15	EVET	2.1.7.4	
27	Testler ve Devreye Alma	DC Kabloların Yalıtım Direncinin Uyumsuz Olması	Yalıtım Direnci	Elektriksel Kaçak Oluşması	4	4	16	15	EVET	2.1.7.4	
28	Testler ve Devreye Alma	AC Kabloların Yalıtım Direncinin Uyumsuz Olması	Yalıtım Direnci	Elektriksel Kaçak Oluşması	4	4	16	15	EVET	2.1.7.4	
29	Testler ve Devreye Alma	TS EN 62446 Standartındaki Testlere Uygunluk Göstermeme	Standart Uyumsuzluğu	Santralin Testlerden Başarısız Olmasıyla Devreye Alınmaması	3	4	12	15	HAYIR	2.1.7.4	
30	Testler ve Devreye Alma	Evriçlerin Performans	Performans	Panellerin Zarar Görmesi	3	4	12	10	EVET	2.1.7.4	
31	Testler ve Devreye Alma	Panellerinin Performans	Performans	Panellerin Zarar Görmesi	3	4	12	10	EVET	2.1.7.4	
32	Testler ve Devreye Alma	Açık Devre Voltajı Uyumsuzluğu	Voltaj riski	Panel ve Evriçlerin Uyumlu Çalışmaması	3	4	12	10	EVET	2.1.7.4	
33	Testler ve Devreye Alma	Açık Devre Akım Uyumsuzluğu	Akım Riski	Panel ve Evriçlerin Uyumlu Çalışmaması	3	4	12	10	EVET	2.1.7.4	
34	Testler ve Devreye Alma	Dize Akım ve Voltajının DC Kablo İçin Uygun Olmaması	Dize kontrolü	DC Kabloların Zarar Görmesi	2	4	8	6	EVET	2.1.7.4	
35	Testler ve Devreye Alma	Dize Akım ve Voltajının DC Kablo İçin Uygun Olmaması	Dize kontrolü	DC Kabloların Zarar Görmesi	2	4	8	6	EVET	2.1.7.4	
36	Testler ve Devreye Alma	Dize Akım ve Voltajının DC Kablo İçin Uygun Olmaması	DC Toplama Panosu kontrolü	DC Kabloların Zarar Görmesi	2	5	10	6	EVET	2.1.7.4	
37	Santralin Çalışması ve Bakım	Topraklama veya Kaçak Akım Sisteminin Sorun Çıkarması	Panellerde Kaçak Akım	Panel Alanından Geçen Görevliye Elektrik Çarpması	3	5	15	10	EVET	2.1.7.4	
38	Santralin Çalışması ve Bakım	İzleme Kontrol Sisteminin Haber Vermemesi	İzleme Kontrol Sistemi Bozulması	Santralde Arıza Durumunda Haberleşiminin Sağlanamaması	2	4	8	6	EVET	2.1.7.4	
39	Santralin Çalışması ve Bakım	Topraklama veya Kaçak Akım Sisteminin Sorun Çıkarması	Evriçlerde Kaçak Akım	Evriç Alanından Geçen Görevliye Elektrik Çarpması	3	5	15	12	EVET	2.1.7.4	

Ref	Proje Aşamaları	Tehlike	Risk	Etki / Zarar Sonuç	Risk Değeri		Eşik değeri	Tedbir alınması gerekiyor mu?	Önerilen Tedbirler	Risk Değeri		Alınması gereken önlemlerden sorumlu kişi veya departman
					O L Ş A I R S I D I L E K L I T K	O L Ş A I R S I D I L E K L I T K						
42	Santralin Çalışması ve Bakım	Sorun Olması Halinde Müdahale Edilememesi	Acil Eylem Planı	Santralde Büyük Zarar Oluşumu	2	4	8	EYET				
43	Santralin Çalışması ve Bakım	Topraklama veya Kaçak Akım Sisteminin Sorun Çıkarması	Panellerde Kaçak Akım	Panel Alanından Geçen Görevliye Elektrik Çarpması	3	5	15	EYET				

EK C

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Ulvihan Uğur DÜNDAR

Doğum Tarihi ve Yeri: 21 Ağustos 1986

Medeni Durumu: Bekar Basınevleri / Ankara

Telefon Numarası: +90 505 603 66 57

E-mail: uurdundar@gmail.com



EĞİTİM DURUMU

Derece	Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Çankaya Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği	Devam ediyor
Yüksek Lisans	Çankaya Üniversitesi İş Sağlığı ve İş Güvenliği	Devam ediyor
Lisans	Çankaya Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği	2013
Ön Lisans	Ankara Üniversitesi Kalecik Meslek Yüksek Okulu Peyzaj	2007
Lise	Kalaba Lisesi	2003

İŞ DENEYEMİ

Yıl	Yer	Pozisyonu
2015 – Devam ediyot	GO Enerji A.Ş.	Saha Mühendisi
2014 - 2015	Antensan Haberleşme Hüsnu Deniz BAŞDEMİR	Araştırma – Geliştirme Mündendisi
2012 Haziran	Telesis Telekomünikasyon Sistemleri	Yaz Stajı
2011 Ağustos	Türk Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş. (TUSAŞ- TAI)	Yaz Stajı

YABANCI DİLLER

İngilizce İyi, İspanyolca İyi

İLGİ LANLARI

Santraç, Yüzme