

GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNDE YANGIN RİSK
ANALİZİNE YÖNELİK BİR UYGULAMA

KOCAELİ SAĞLIK VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MURAT GÖROĞLU

DANIŞMAN
DR. ÖĞR.ÜYESİ AHMET ŞEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANA BİLİM DALI
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS
PROGRAMI

KOCAELİ 2025

AD SOYAD: MURAT GÖROĞLU KOCAELİ SAĞLIK VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ KOCAELİ 2025

GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNDE YANGIN RİSK ANALİZİNE YÖNELİK
BİR UYGULAMA

KOCAELİ SAĞLIK VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MURAT GÖROĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANABİLİM DALI
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ PROGRAMI

Bu tez Kocaeli Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tarafından onaylanmıştır.

Prof. Dr.Yurdanur DİKMEN
Enstitü Müdürü

Bu tezin **Kocaeli Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans** derecesinin tüm gerekliliklerini karşıladığını onaylıyorum.

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ŞEN
Bölüm Başkanı

Murat GÖROĞLU tarafından teslim edilen GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNDE YANGIN RİSK ANALİZİNE YÖNELİK BİR UYGULAMA başlıklı bu tezin kapsam ve kalite bakımından Yüksek Lisans derecesi için yeterli olduğunu değerlendirmektedir.

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ŞEN
Danışman

Tez Jürisi Üyeleri: (1. isim: Jüri başkanı; 2. isim: Danışman)

Doç.Dr. Ali Talip AKPINAR (Jüri Başkanı)
Kocaeli Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi

Dr. Öğrt. Üyesi Ahmet ŞEN (Danışman)
Kocaeli Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi / İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü

Dr. Öğrt. Üyesi Gül Çiçek ZENGİN BİNTAŞ (Üye)
Kocaeli Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi / İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü

Tarih: 01.01.2025

İş bu belge ile tezimde yer alan tüm bilgilerin akademik ve etik kurallara uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, kurallar gereği bu çalışmada özgün olmayan tüm materyal ve sonuçlar için ilgili kaynakların verildiğini beyan ederim.

Ad. Soyad:Murat GÖROĞLU

İmza:

ABSTRACT

AN APPLICATION FOR FIRE RISK ANALYSIS IN SOLAR POWER PLANTS

GÖROĞLU, Murat

Department of Occupational Health and Safety

Supervisor : Dr.Ahmet ŞEN

Co-Supervisor : Dr Gül Çiçek ZENGİN BİNTAŞ

January 2025, 114 pages

This study analyzes the fire risks that may occur in solar power plants and presents an approach to minimize these risks and increase the level of safety. Solar energy, which has an important place among renewable energy sources, is becoming increasingly widespread with its clean and sustainable structure. However, the fire risks that may be encountered in solar power plants have a complex structure that needs to be addressed in a wide range from electrical factors to environmental effects. In this context, a comprehensive analysis and solution suggestions regarding fire safety are presented in the study. In the first section, basic concepts such as the definition of fire, its development stages and flammable materials are explained in detail, and national and international fire legislation are examined. Fire detection and extinguishing systems are discussed in a wide scope from flame and smoke detection devices to sprinkler and gas extinguishing systems. This section also includes information on the basic components of solar energy systems, their advantages and the solar energy potential in Turkey. The second section focuses on the factors affecting the fire risk in solar power plants. Risk elements such as electrical factors, high temperature, maintenance and operating errors, environmental conditions, material quality and human-induced factors are analyzed in detail. The study also emphasizes the requirements of international standards to minimize these risks. In the third section, fire risk analysis methods and application processes in solar power plants are discussed. Data collected through trips and observations were combined with temperature analyses in components such as photovoltaic panels, inverters and cabling systems and evaluated. In this context, a model was created for prioritizing fire risks. In

the conclusion and recommendations section, concrete solutions for reducing fire risks in solar power plants were presented.

Keywords: Solar Power Plants, Fire Risk Analysis, Renewable Energy, Security.

ÖZ

GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNDE YANGIN RİSK ANALİZİNE YÖNELİK BİR UYGULAMA

GÖROĞLU, Murat

İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı

Tez Yöneticisi : Dr.Ahmet ŞEN

Ortak Tez Yöneticisi : Dr Gül Çiçek ZENGİN BİNTAŞ

Ocak 2025, 114 sayfa

Bu çalışma, güneş enerjisi santrallerinde meydana gelebilecek yangın risklerini analiz ederek bu riskleri minimize etmeye ve güvenlik seviyesini artırmaya yönelik bir yaklaşım sunmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahip olan güneş enerjisi, temiz ve sürdürülebilir yapısıyla giderek yaygınlaşmaktadır. Ancak, güneş enerjisi santrallerinde karşılaşılabilecek yangın riskleri, elektriksel faktörlerden çevresel etkilere kadar geniş bir yelpazede ele alınması gereken karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu bağlamda, çalışmada yangın güvenliğiyle ilgili kapsamlı bir analiz ve çözüm önerileri sunulmuştur. Birinci bölümde, yangının tanımı, gelişim evreleri ve yanıcı maddeler gibi temel kavramlar detaylı bir şekilde açıklanmış, ulusal

ve uluslararası yangın mevzuatı incelenmiştir. Yangın algılama ve söndürme sistemleri, alev ve duman algılama cihazlarından sprinkler ve gazlı söndürme sistemlerine kadar geniş bir kapsamda ele alınmıştır. Bu bölümde ayrıca güneş enerjisi sistemlerinin temel bileşenleri, avantajları ve Türkiye’deki güneş enerjisi potansiyeline dair bilgilerde yer almaktadır. İkinci bölüm, güneş enerjisi santrallerinde yangın riskini etkileyen faktörler üzerinde yoğunlaşmıştır. Elektriksel faktörler, yüksek sıcaklık, bakım ve işletme hataları, çevresel koşullar, malzeme kalitesi ve insan kaynaklı etmenler gibi risk unsurları detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Çalışmada, bu risklerin minimize edilmesi için uluslararası standartların gereklilikleri de vurgulanmıştır. Üçüncü bölümde, güneş enerjisi santrallerinde yangın risk analizi yöntemleri ve uygulama süreçleri ele alınmıştır. Gezi ve gözlem yoluyla toplanan veriler, fotovoltaik paneller, invertörler ve kablolama sistemleri gibi bileşenlerdeki sıcaklık analizleriyle birleştirilerek değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, yangın risklerinin önceliklendirilmesine yönelik bir model oluşturulmuştur. Sonuç ve öneriler bölümünde, güneş enerjisi santrallerinde yangın risklerinin azaltılmasına yönelik somut çözüm önerileri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi Santralleri, Yangın Risk Analizi, Yenilenebilir Enerji, Güvenlik.

TEŞEKKÜR

İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı’nda, yüksek lisans tez çalışmamı yönlendiren, bilgi, öneri ve yardımlarıyla hem akademik hem de insani anlamda bana destek olan değerli danışman hocam Sayın Dr. Ahmet ŞEN’e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin yazımı sırasında sağladığı değerli katkılar için Yüksek Elektrik Mühendisi Sayın Atilla DİZDAROĞLU’na, yüksek lisans öğrenimim sürecinde çalışmalarımı sürdürebilmem için verdiği destekler için Kocaeli İtfaiye Eğitim Birim Amiri Sayın Recep YAYLA’ya şükranlarımı ifade ederim.

Bu süreçte fedakârlıkları ve destekleriyle her zaman yanımda olan, yaşamım boyunca bana duydukları güvenle motivasyon kaynağım olan aileme en derin minnet ve teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

ABSTRACT	iii
ÖZ	iv
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
TABLO LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL VE RESİM LİSTESİ.....	vii
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 1	2
YANGIN VE YANGIN GÜVENLİK ÖNLEMLERİ.....	2
1.1 Yangın	2
1.1.1 Yangın Çeşitleri	4
1.1.2 Yangınla İlgili Genel Kavramlar	5
1.1.3 Yanıcı Madde.....	7
1.1.4 Yangın Gelişim Evreleri	10
1.2 Aktif Yangın Güvenliği Önlemleri.....	19
1.2.1 Alev Algılama Cihazı	19
1.2.2 Duman Algılama Cihazı	20
1.2.3 Yangın Kontrol Paneli	21
1.2.4 Sesli ve Işıklı Uyarı Cihazları.....	22
1.2.5 Sabit Boru Tesisatı ve Yangın Dolapları	22
1.2.6 Hidrant Sistemi	22
1.2.7 Taşınabilir Yangın Söndürme Tüpü	22
1.2.8 Sprink Sistemler	22
1.2.9 Köpüklü Söndürme Sistemi.....	23
1.2.10 Gazlı Söndürme Sistemi	23
1.2.11 FM 200 Gazlı Söndürme Sistemi	23
1.2.12 Davlumbaz İçer Otomatik Söndürme Sistemi	23
1.2.13 CO2 Gazlı Söndürme Sistemi	24
1.2.14 Duman Tahliye Sistemi	24
1.2.15 Yangın Algılama ve Uyarı Sistemleri.....	24
1.2.16 Yangın Söndürme Sistemleri.....	25
1.2.17 Ulusal ve Uluslararası Yangın Mevzuatı.....	26
1.3 Güneş Enerjisi Sistemleri	27
1.3.1 Fotovoltaik Panel	28
1.3.2 İnvertör	29
1.3.3 DC kablolar.....	29

1.3.4 AC kablolar.....	30
1.3.5 Güneş Enerji Santrali Ana Dağıtım Panosu.....	31
1.3.6 Transformatör	32
1.3.7 SCADA Panosu	33
1.4 Güneş Panellerindeki Yangın Riskleri İçin Doğrusal Isı Algılama.....	33
1.5 Güneş Enerji Sistemleri Avantajları	40
1.6 Türkiye’de Güneş Enerjisi.....	40
1.7 Güneş Enerjisi Santrallerinde Yangın Güvenliği	42
1.8 Güneş Enerjisi Santrallerinde Oluşabilecek Yangın Risklerinin İncelenmesi	46
1.9 Güneş Enerjisi Santrallerinde Yangın Sebepleri	46
BÖLÜM 2	49
GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNDE STANDARTLAR VE YANGIN RİSKİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER	49
2.1 Güneş Enerji Santrallerinde Standartlar	49
2.2 Güneş Enerji Santrallerinde Yangın Riskini Etkileyen Faktörler.....	58
2.2.1 Elektriksel Faktörler	59
2.2.2 Yüksek Sıcaklık	61
2.2.3 Bakım ve İşletme Hataları	63
2.2.4 Çevresel Faktörler.....	65
2.2.5 Güvenlik Önlemleri	68
2.2.6 Malzeme Kalitesi	71
2.2.7 İnsan Kaynaklı Etmenler	74
2.2.8 Hayvansal Faktörler.....	76
2.2.9 Hava Olayları.....	77
BÖLÜM 3	79
GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNDE YANGIN RİSK ANALİZİNE YÖNELİK BİR UYGULAMA	79
3.1 Araştırmanın Amacı.....	79
3.2 Araştırmanın Modeli.....	79
3.3 Çalışma Grubu	79
3.4 Veri Toplama Yöntemleri.....	80
3.4.1. Gezi ve Gözlem	80
3.4.1. Verilerin değerlendirilmesi.....	84
3.6. Güneş Enerji Santrallerinde Risk Öncelik Analizi (İlişkin Bulgular)	85
3.7. Güneş Enerji Santrallerinde Sıcaklık Analiz (İlişkin Bulgular)	86
3.7.1. Panel Sıcaklıkları.....	88
3.7.2. Kablo Sıcaklıkları	89
3.7.3. İnverter Sıcaklıkları	90
BÖLÜM 4	92
SONUÇ VE ÖNERİLER	92

KAYNAKÇA.....	94
EKLER	96
Ek-1: FMEA Şablonu: Güneş Enerjisi Santrallerinde Yangın Riski.....	96
Ek-2: Fotovoltaik Güneş Enerji Santrallerinde Yangın Risk Analizi: Yöntem Kapsamında Görüşme ve Veri Toplama Süreci	99
Ek-3: Güneş Enerjisi Santrallerinde Yangın Risk Analizi Önerileri.....	100



TABLO LİSTESİ

TABLolar

Tablo 1.1. Yanıcı maddeler ve tutuşma sıcaklıkları	3
Tablo 1.2. Yangın sınıfları ve etkin söndürücü maddeleri	4
Tablo 1.3. Yangın yükünün mekân sıcaklığına etkisi.....	6
Tablo 1.4. Yapı türüne göre yangın yükü indeksi	7
Tablo 2.2. Her bir faktör ve güneş enerjisi santrali için risk düzeyleri.	59
Tablo 2.3. Elektriksel faktörlerden kaynaklanan yangın sebepleri.....	61
Tablo 2.4. Güneş enerjisi santrallerinde yüksek sıcaklıkla ilişkilendirilen çeşitli yangın türleri ve muhtemel sebepleri.	62
Tablo 2.5. Güneş enerjisi santrallerinde bakım ve işletme hataları ile ilişkilendirilen çeşitli yangın türleri ve muhtemel sebepleri.	63
Tablo 2.6. Güneş enerjisi santrallerinde çevresel faktörler ile ilişkilendirilen çeşitli yangın türleri ve muhtemel sebepleri.	67
Tablo 2.7. Güneş enerjisi santrallerinde güvenlik önlemleri eksikliği ile ilişkilendirilen çeşitli yangın türleri ve muhtemel sebepleri.	69
Tablo 2.8. Güneş enerjisi santrallerinde malzeme kalitesinin eksikliği ile ilişkilendirilen çeşitli yangın türleri ve muhtemel sebepleri.....	72
Tablo 3.1. Güneş enerjisi santrallere ilişkin detaylar.	80
Tablo 3.2. Şerefli GES Santrallerinde Yangın Risk Faktörleri (RPN).	85

ŞEKİL VE RESİM LİSTESİ

ŞEKİLLER

Şekil 1.1. Yangın üçgeni.....	2
Şekil 1.2. Sınırlı alanlarda yanma davranışı	11
Şekil 1.3. Yangının zamana bağlı gelişim aşamaları	12
Şekil 1.4. Yanma sürecinde sıcaklık-zaman ilişkisi	13
Şekil 1.5. Büyüme (flashover) aşaması	16
Şekil 1.6. Tam büyüme aşaması	18
Şekil 1.7. Fotovoltaik panel.....	29
Şekil 1.8. Güneş paneli invertörü.	29
Şekil 1.9. DC kablo.....	30
Şekil 1.10. AG kablo.	31
Şekil 1.11. YG kablo.	31
Şekil 1.12. Kaçak akım rolesi.	32
Şekil 1.13. Transformatör.....	33
Şekil 1.14. SCADA panosu.	33
Şekil 1.15. FyreLine EN54	36
Şekil 1.16. FyreLine EN54 ısı algılama kablolarının yerleşimi	37
Şekil 1.17. Kilitleme modu.....	38
Şekil 1.18. Bağımsız mod.....	38
Şekil 1.19. Montaj klipsleri	39
Şekil 1.20. FyreLine EN54 sabit hat sonu	40
Şekil 1.21. Türkiye güneş enerji potansiyel atlası.	42
Şekil 2.1. Deney akış planı.	50
Şekil 2.2. Gözle görülemeyen mikro kırıkların tespiti amacıyla Elektrolüminans (EL) Test.	51
Şekil 2.3. Sıcak leke dayanımı deneyi.	54
Şekil 2.4. Bağlantı uçları sağlamlık deneyi.	55
Şekil 2.5. Güneş enerji santrallerindeki yangın riskinin yeri.....	58
Şekil 2.6. İnvertör kayıt örneği	65
Şekil 3.1. Panel Sıcaklıklarının Zaman İçerisindeki Değişimi.	87
Şekil 3.2. Panel Sıcaklıklarının Zaman İçerisindeki Değişimi.	88
Şekil 3.3. Kablo Sıcaklıklarının Zaman İçerisindeki Değişimi.	89
Şekil 3.4. İnverter Sıcaklıklarının Zaman İçerisindeki Değişimi.	90

RESİMLER

Resim 1.1. Kapalı mekandaki yangının büyüme (flashover) aşaması.....	17
Resim 1.2. Alev algılama cihazı çeşitleri	20

Resim 1.3. Duman algılama cihazı çeşitleri	21
Resim 2.1. Ölçüm işlemi.	52
Resim 2.2. 60 kWh/m ² ışınlamaya maruz bırakılan paneller	54
Resim 2.3. Mekanik yük deneyi.	56
Resim 2.4. Güneş enerji santralinde trafo odası(kesici ölçü kabini)	60
Resim 2.5. Güneş enerji santralinde sayaç bölümü	60
Resim 2.6. Örnek bir yangın.....	61
Resim 2.7. Güneş enerji santralinde dağınık ve düzensiz kablolar.	63
Resim 2.8. Panellerin arasında uzayan bir çalı.	66
Resim 2.9. Güneş enerji santralinin etrafındaki kurumuş bitki örtüsü.	66
Resim 2.10. Dolu hasarı görmüş paneller.....	68
Resim 2.11. Hazırda bulunan bir yangın tüpü.	68
Resim 2.12. Örnek bir yangın.....	71
Resim 2.13. Kalitesi bozulmuş bir fotovoltaik panel altı	72
Resim 2.14. Kalitesi bozulmuş bir fotovoltaik panel altı.	73
Resim 2.15. Zarar görmüş bir panel.	74
Resim 2.16. Örnek güneş enerji santrali.	75
Resim 2.17. Organize bir hırsızlık ekibi tarafından Güneş Enerji Santrali projesinden kablo çalınmasına ilişkin kamera kaydı.....	75
Resim 2.18. Güneş enerji panellerinin çevresinde dolaşan hayvanlar.....	77
Resim 3.1. Stäubli Sanayi tarafından kullanılan PV konnektörler ve montaj araçları.	81
Resim 3.2: Ningbo Juli New Material Technology Co., Ltd. firmasına ait PV fotovoltaik bağlantı kutuları.	82
Resim 3.3. Smart Güneş Teknolojileri firması fuar standı.	82
Resim 3.4. 100 kW kapasiteli sinerji teknolojisine sahip eviriciler.	83

GİRİŞ

Günümüzde hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde çeşitli alanlarda enerjiye olan talep artmaktadır. Enerji üretim ve tüketim alışkanlıkları gelişmişlik düzeyini belirleyen göstergelerden biridir. Kaynağa bağlı olarak enerji iki türe ayrılmaktadır: yenilenebilir enerji ve yenilenemeyen enerji. Yenilenebilir enerji kaynakları su, hidrojen, rüzgar, güneş, jeotermal, biyokütle ve dalga enerjisidir. Yenilenemeyen enerji kaynakları ise petrol, doğalgaz, kömür ve nükleer enerjidir. Bunların arasında petrol, doğal gaz ve kömür en yaygın kullanılan enerji kaynaklarıdır ve %80'den fazlasını oluştururlar [3]. Bu enerji kaynakları fosil kökenli olduğundan doğaya zararlıdır ve sürdürülebilir bir gelecek için doğaya daha az zarar veren yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç vardır.

Yenilenebilir enerji son yılların öne çıkan konularının başında gelmektedir. Bunun nedeni fosil yakıtların kullanımıyla birlikte karbon emisyonlarının artmasıdır. Karbon emisyonunu artıran önemli faktörlerden biri de fosil yakıtların hemen her sektörde kullanılmasıdır. Özellikle enerji üretiminde kullanılması karbon emisyonlarının artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle ülkeler yenilenebilir enerjiye yönelmektedir. Yenilenebilir enerjinin ilkesi, sürdürülebilir enerjinin geleneksel enerjinin yerini almasıdır [4]. Son yıllarda yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak güneş enerjisinin önemi giderek artmaktadır.

Güneş enerjisi yerli olmayan elektrik santrallerinden farklı teknolojilerle elde edilmektedir. Bu teknolojiler termal güneş enerjisi santralleri, fotovoltaik güneş santralleri ve termofotovoltaik güneş santralleri olarak sınıflandırılmaktadır. Bu tez kapsamında fotovoltaik güneş enerjisi santrallerinde meydana gelen yangın türleri incelenmiş olup, inceleme süreci sırasında, yangın riskinin çeşitli faktörleri dikkate alınmıştır.

Bu tezin amacı güneş enerjisi sistemleri ve fotovoltaik standartları göz önünde bulundurarak özgün bir yangın risk değerlendirmesi yapmaktır. Risk değerlendirme yöntemleri gözden geçirilmiş ve hesaplamalar için uygun ve anlaşılır yöntemler kullanılmıştır.

BÖLÜM 1

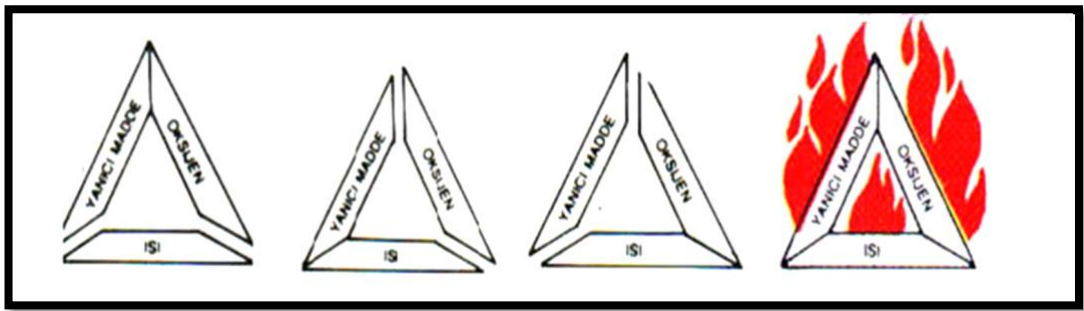
YANGIN VE YANGIN GÜVENLİK ÖNLEMLERİ

1.1 Yangın

Yanma, yanıcı maddelerin ve gazların oksidasyonu yoluyla ısının ve ışığın üretildiği süreçtir. Yanma, yanıcı maddelerin hidrojenlen ayrılarak oksijeni absorbe etmesine neden olan bir sıcaklık olgusudur [3]. Yanıcı maddeler katı, sıvı veya gaz halinde olabilir. Yanma reaksiyonlarında en yaygın oksidan havadır. Yanıcı malzemeler ortam sıcaklıklarında havanın varlığına tepki vermez..

Yanmanın gerçekleşebilmesi için yanıcı madde, oksijen ve tutuşacak ısının olması gerekir. Yanıcı maddeler, ısı ve oksijenden oluşan üç bileşen “yangın üçgeni” olarak bilinir (Şekil 1.1). Yukarıdaki bileşenlerden herhangi biri eksikse yanma gerçekleşmez. Yanmanın gerçekleşmesi için bu üç bileşenin bir araya gelmesi gerekir.

Yanıcı maddelerin atmosferdeki oksijenle etkileşime girmesi sürecine yanma denir. Yanmanın bir sonucu, yanıcı maddenin bileşimine bağlı olarak farklı miktarlarda ısının açığa çıkmasıdır. Yangın, yanmanın kontrolsüz ve istenmeyen bir zincirleme reaksiyonudur. Yangın söndürme, ısıyı, yakıtı ve oksijeni ortadan kaldırma veya kimyasal reaksiyonların oluşumunu yavaşlatma işlemidir [5].



Şekil 1.1. Yangın üçgeni

Oksijen yanma üçgeninin bir tarafında bulunur ve yanmanın gerçekleşmesi için gerekli temel bileşenlerden biridir. Yanma sürecini başlatmak için yakıt ve oksijenin belirli bir oranda birleştirilmesi gerekir. Havadaki oksijen konsantrasyonu %21'dir. Bu

yanmanın başlaması ve devam etmesi için yeterlidir. Maddelerin çoğunluğunun oksijen içeriği yüzde 14'ün altında olduğunda yanma işlemi gerçekleşmeyecektir. Bu limit desteklenebilecek maksimum alev miktarıdır. Yanma eksikliği, alt yanıcılık sınırının altında ve üst yanıcılık sınırının üzerinde hava veya yakıtın bulunmamasına atfedilir. Yanma işlemi, yanma aralığı olarak adlandırılan, yanmanın alt sınırı ile üst sınırı arasındaki boşlukta gerçekleşir. Uygun yanma miktarı bu aralığın orta noktasındadır [5].

Yanma üçgeninin diğer tarafını oluşturan yanıcı maddeler katılar, sıvılar ve gazlardır ve birkaç kimyasal madde dışında hepsi doğru koşullar altında yanabilmektedir. Yanma şekli yanıcı maddenin katı, sıvı veya gaz olmasına bağlıdır. Yanıcı bir madde katı halde ise köz ve alevler yanar. Yanıcı bir maddenin sıvı veya gaz halinde olması durumunda yanma gözlenecektir.

Yanıcı maddeler yandığında, bileşimlerine benzer bileşime sahip çeşitli maddeler çevreye salınır. Pek çok yanıcı madde organik olup karbon, hidrojen, oksijen, kükürt ve fosfor gibi bileşenler içerir, bu bileşenler ısı ile birleştiğinde çevreye salınır [6].

Ortamda yanıcı maddeler ve hava bulunmasına rağmen ısı olmadan yanma üçgeni tamamlanamaz ve yanma başlayamaz (yanma üçgeninin en önemli bileşenidir). Isı, yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa aktarılan enerjidir. Yanma için gereken ısı, malzemeyi yanıcı hale getirecek kadar büyük olmalıdır. Tutuşma noktası, bir kimyasal reaksiyonu başlatmak için gereken aktivasyon enerjisiyle aynıdır; kimyasal reaksiyonda yanmanın başlaması için gereken aktivasyon enerjisi, başladığı sıcaklıkla aynıdır. Aşağıdaki tabloda listelendiği gibi, her maddenin tutuştuğu farklı bir sıcaklık vardır.

Tablo 1.1. Yanıcı maddeler ve tutuşma sıcaklıkları

Yanıcı Madde	Tutuşma Sıcaklığı °C
Hidrojen	585 °C
Metan	537 °C
Propan	466 °C
Karbon monoksit	608 °C
Benzin	260 °C
Petrol	260 °C
Selüloz	232 °C

Yangınlar küçük bir kıvılcımla başlayıp hızla yayılarak müdahaleyi zamanın ve imkânın olmadığı noktaya kadar zorlaştırır. Yangın başladıktan 5 dakika sonra sıcaklık 555°C'ye, 10 dakika sonra 660°C'ye, 15 dakika sonra 720°C'ye ve 30 dakika sonra 820°C'ye ulaşır. Bir saat sonra sıcaklık 927°C'ye ulaşır.

Yangının büyümesinin ve yayılmasının nedeni, ısıнын iletim, konveksiyon ve radyasyon olmak üzere üç aktarım mekanizması yoluyla aktarılmasıdır. Yangın, iletkenler yardımıyla yayılarak diğer yapılara veya parçalara ulaşır. Sıcak hava yükseldikçe yangın konveksiyon akımları yoluyla yayılır. Radyasyon yoluyla yangın, ısı ışınlarıyla yayılır [6]. faaliyetleri ısıнын uzaklaştırılması (soğutma), hava ile temasın kesilmesi (boğulma) ve yakıtın ortamdan uzaklaştırılması yoluyla gerçekleştirilir.

1.1.1 Yangın Çeşitleri

Yanıcı maddelerin yapısına göre yangından korunma altı sınıfa ayrılır. Yangına müdahale yangın seviyesine bağlıdır. Yangına tepki, yangının derecesine bağlıdır. Bu tür bir sınıflandırma, yangınlara daha hızlı müdahale edilmesini kolaylaştırabilir ve meydana geldiğinde çevreye verilen zararı en aza indirebilir. Yangına dayanıklılık değerleri Tablo 1.2'de verilmiştir. Uluslararası standartlarda yaygın olduğu gibi E Sınıfı elektrik yangını da 1999 yılından itibaren TS tarafından benimsenmiştir. TS EN 2 ve TS EN 2/A1'e göre;

Tablo 1.2. Yangın sınıfları ve etkin söndürücü maddeleri

Sembol	Yangın Sınıfı	Etkin Söndürücü Maddesi
	Katı madde yangınları Odun, kömür, kâğıt	Su Sıvı söndürücüler Kuru kimyevi toz
	Sıvı madde yangınları Benzin, katran, makine yağları, yağlı boya	Kuru kimyevi toz Köpük, Halon gazı Karbondioksitli söndürücüler
	Gaz yangınları LPG, metan , propan, asetilen	Kuru kimyevi toz Karbondioksitli söndürücüler Halon gazı
	Metal tozu yangınları Lityum, sodyum, alüminyum, potasyum	Kuru kimyevi toz
	Elektrik yangınları Elektrikli ekipmanlar	Karbondioksitli söndürücüler Kuru kimyevi toz
	Mutfak yangınları Hayvansal ve bitkisel kaynaklı yağlar	Tozlu ve ya sulu kimyasal söndürücüler

A sınıfı yangın: Katı madde yangını. Katı maddeler yandığında köz ve alev üretirler. Köz yakmada ısı yüzeyden malzemeye nüfuz eder. Isıyı sağlayan ateşin söndürülmesiyle yangınlar kontrol altına alınabilir. Bu tür yangınlar genellikle soğutma, boğma ve diğer yöntemlerle söndürülür [7].

B sınıfı yangın: Yanıcı sıvıların neden olduğu yangındır. Yangın söndürme, oksijen ile yanıcı maddelerin etkileşimini önleyen bir boğma yöntemidir [7].

C sınıfı yangın: Yanıcı gazlı maddelerin neden olduğu yangın. Bu yangın türünde gazın sızdığı yüzeyde yanma meydana gelebilir. C sınıfı yangınlarda boğma ve yanıcı madde imha yöntemleri kullanılır [8].

D sınıfı yangın: Alüminyum, magnezyum, titanyum, sodyum, potasyum, lityum gibi yanıcı hafif metaller ve bunların alaşımlarının yanması sonucu oluşan yangın. D sınıfı yangınlarda yanıcı maddelerin yok edilmesi yöntemleri kullanılmaktadır [9].

E sınıfı yangın: Elektrik tesisatı ve ekipmanlarından kaynaklanan yangınlardır. Elektrik yangınlara neden olur ve bu yangınlar, yanan malzemenin türüne göre diğer yangın kategorilerinden birinde sınıflandırılır. E sınıfı bir yangını söndürmenin en etkili yöntemi boğulmaktır. Bu yangınlarda yangını söndürmek için voltaj değerine bağlı olarak belirli bir mesafede karbondioksitli ve bikarbonatlı yangın söndürücüler kullanılır [9].

F Sınıfı yangın: Mutfak yangını veya yağ yangını olarak da bilinir. Yağ yangınları genellikle düşük havalandırma eksikliğinden veya mutfakta çok fazla yağ kullanılmasından kaynaklanır. F Sınıfı yangınlar için hem sulu hem de kuru kimyasal söndürücü kullanılmaktadır. Mutfakta çıkan yangını söndürmek için asla su kullanılmamalıdır, çünkü sıcak yağ suya maruz kaldığında genleşecek ve yangın hızla yayılacaktır [9].

1.1.2 Yangınla İlgili Genel Kavramlar

1.1.2.1 Yangın Yüğü

Bir binadaki potansiyel yanıcı madde miktarı veya birim alan başına yangın potansiyeli oranı, yangın yükü endeksi olarak tanımlanır. “Yangın Yüğü Endeksi”nin uygulamaya girmesiyle yangına dayanıklı binaların tanımının önemi artmıştır [10-11].

Yangın yükü endeksi bir mekanın, caddenin veya mahallenin yangına duyarlılığını temsil eder. Yangından korunma açısından çok önemli bir parametredir. Genel olarak

bakıldığında alan genişledikçe yangın daha hızlı gelişecek ve yangın daha yoğun hale gelecektir.

Yangın potansiyeli, bir binanın içindeki ve dışındaki tüm yanıcı maddelerin bütünüdür. Yangın potansiyeli, 1 kilogram ahşap veya ahşap eşdeğeri başına kilojoule cinsinden ölçülür. Yanıcı madde miktarının alt ısı değeriyle çarpılmasıyla belirlenir.

Ahşabın yanma ısısı yaklaşık 10.000 kJ/kg olup, 1 ton ahşabın tutuşma potansiyeli 10.000.000 kJ = 10.000 MJ'dir. Mahalde ahşap dışında yanıcı maddelerin bulunması durumunda yangın potansiyeli "ahşap eşdeğerleri" cinsinden ifade edilir. Örneğin; 1 kg taş kömürü 2 kg oduna eşdeğerdir. Ortamdaki toplam termal kütle, toplam termal kütlenin yangın yüküyle ilişkilidir. Yanma ne kadar hızlı gerçekleşirse, üretilen ısı da o kadar ortam sıcaklığını artırır [12]. Tablo 1.3'te yangın yükünün oda sıcaklığı üzerindeki etkisini göstermektedir.

Tablo 1.03. Yangın yükünün mekân sıcaklığına etkisi

Yangın Yüğü	Mekandaki Azami Sıcaklık
250 MJ/m ²	420 °C
335 MJ/m ²	550 °C
420 MJ/m ²	730 °C
500 MJ/m ²	920 °C
670 MJ/m ²	980 °C
1000 MJ/m ²	1130 °C

Bir şehrin yangın yükü endeksi;

- 0 ile 1 arasında yangın bir binadan diğerine yayılmaz,
- 1-1,5 arasında ise yangının yayılma ve gelişme riski vardır. Şiddetli koşullar altında bölgede yangınlar veya fırtınalar meydana gelebilir.
- 1,5 ile 2,5 arasında ise bölgesel yangın ve yangın fırtınası tehlikesi vardır.
- 2,5- 3,5 arasında ise yangın fırtınası meydana gelebilir,
- 3,5'un üzerinde olması durumunda yangın maddi ve manevi kayıplara neden olur.

Yangınların oluşması ve gelişmesi, inşaatın sıklığı, binanın şekli, inşaat malzemeleri ve kullanımları gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. İnşaat sıklığı arttıkça yangın riski de

artmaktadır. Yanıcı maddelerin dağılımı, yangının yayılma riskinin değerlendirilmesinde önemlidir.

Yanıcı maddeler birbirine ne kadar yakınsa o kadar hızlı yangına dönüşebilir. Binalar arası mesafe yeterli ise yangının yayılma olasılığı düşüktür. Bu mesafeler yeterliyse ancak yapıda yanıcı maddeler mevcutsa yangın köprüsü oluşabilir. Ülkemiz mevzuatına göre farklı bina tiplerinin yangın yükleri Tablo 1.4'te gösterilmektedir.

Tablo 1.4. Yapı türüne göre yangın yükü indeksi

Yazı Tipi	Yangın Yüğü İndeksi
Apartman Daireleri	Düşük
Hastane, Hapishane	Orta
Oteller ve Ahşam Evler	Orta
Büro, Ticaret ve Okul Binaları	Orta
Dükkanlar	Orta
Toplantı ve Eğlence Yerleri	Yüksek
Yağ, Mobilya ve Plastik Atölyeleri	Çok Yüksek
Garaj, Matbaa ve Tekstil Atölyeleri	Yüksek
Metal İşleri ve Çimento Fabrikaları	Orta
Depolar	Yüksek
Otopark	Düşük

1.1.3 Yanıcı Madde

1.1.3.1 Katı formda yanıcı maddeler

Yanıcı maddeler, genellikle organik kökenli ve katı formda bulunan maddelerdir. Bu maddeler, oksijenle birleşerek yanma reaksiyonlarına girerler, bu süreçte enerji açığa çıkar ve çeşitli yanma ürünleri oluşur. Yanma genellikle ısı ve ışık üretir ve genellikle bir oksidasyon reaksiyonu olarak tanımlanır.

Örnek olarak, odun, kağıt ve tekstil ürünleri gibi doğal malzemeler, içerdikleri organik bileşikler nedeniyle yanıcı özellik gösterir. Bu malzemelerin yanma süreçleri genellikle karbonhidratların oksidasyonunu içerir.

Burada, glikozun (odundaki temel karbonhidrat) yanma reaksiyonu, oksijenin varlığında karbon dioksit, su ve enerjiye dönüşür.

Plastikler de yanıcı olabilir, ancak bu, plastik türüne bağlı olarak değişir. Termoplastikler, genellikle yanabilir, ancak yanma özellikleri malzemenin bileşimine ve türüne bağlı olarak farklılık gösterir. Yanıcı maddelerle çalışırken güvenlik büyük

bir öneme sahiptir. Uygun yangın güvenliği önlemleri alınmalı, yangın söndürme ekipmanları bulundurulmalı ve tehlikeli durumlarla başa çıkma prosedürleri belirlenmelidir. Yanıcı maddelerin kontrollü bir şekilde kullanılması, depolanması ve imha edilmesi, hem endüstriyel hem de evsel ortamlarda güvenlik açısından kritik bir konudur.

1.1.3.2 Sıvı formda yanıcı maddeler

Sıvı formda yanıcı maddeler, birçok endüstriyel ve evsel uygulamada yaygın olarak kullanılan ve çeşitli sektörlerde önemli bir rol oynayan maddelerdir. Bu maddeler genellikle organik kökenli olup, yanma reaksiyonları sırasında enerji açığa çıkar.

Sıvı halde bulunan yanıcı maddeler, genellikle organik çözücüler, yağlar, benzin, alkol ve diğer hidrokarbon bazlı maddeleri içerir. Bu maddeler, düşük kaynama noktaları nedeniyle genellikle çevresel koşullar altında sıvı halde bulunurlar. Yanma potansiyeli, sıvı yanıcı maddelerin kimyasal yapısına, buharlaşma özelliklerine ve yanma reaksiyonlarının hızına bağlı olarak değişebilir.

Sıvı yanıcı maddelerin yanma mekanizmaları, genellikle üç aşamadan oluşur: buharlaşma, gaz fazındaki yanma, ve katı fazındaki yanma. İlk aşama, sıvının buharlaşarak gaz fazına geçmesidir. Daha sonra, bu gazlar oksijenle reaksiyona girerek ateşleme noktasına ulaşır ve yanma reaksiyonları başlar. Yanma reaksiyonları genellikle karbon dioksit, su ve ısı gibi yanma ürünlerini üretir.

Sıvı formda yanıcı maddelerle çalışırken, güvenlik büyük bir öneme sahiptir. Aşağıda, sıvı yanıcı maddelerle çalışırken dikkate alınması gereken bazı temel güvenlik ilkeleri bulunmaktadır:

Yangın Önleme ve Kontrolü: Sıvı yanıcı maddelerin kullanımında yangın önleme önlemleri alınmalıdır. Bu, uygun depolama, sıvıların kontrolsüz yayılmasını önleyen ekipmanlar ve yangın söndürme sistemlerini içerir.

İyi Havalandırma: Sıvı yanıcı maddelerin buharlaşma eğilimi gösterdiği unutulmamalıdır. İyi havalandırma sağlanmalı ve buhar birikimi önlenmelidir.

Personel Eğitimi: Çalışanlar, sıvı yanıcı maddelerle güvenli bir şekilde çalışma konusunda eğitilmelidir. Bu, yangın söndürme ekipmanlarını kullanma, acil durum prosedürlerini takip etme ve kişisel koruyucu ekipmanları doğru bir şekilde kullanma becerilerini içerir.

Depolama ve Taşıma Güvenliği: Yanıcı sıvıların güvenli depolanması ve taşınması için uygun önlemler alınmalıdır. Bu, özel depolama tankları, etiketleme standartları ve uygun taşıma ekipmanlarını içerir.

Sıvı formda yanıcı maddeler, birçok endüstriyel süreçte önemli rol oynayan ve günlük yaşantımızda yaygın olarak kullanılan maddelerdir.

1.1.3.3 Gaz formda yanıcı maddeler

Gaz formda yanıcı maddeler, birçok endüstriyel uygulama ve enerji üretim süreçlerinde yaygın olarak kullanılan maddeler arasında bulunmaktadır. Bu maddeler genellikle organik veya inorganik gazlar olarak tanımlanır ve atmosferik koşullar altında gaz halinde bulunabilirler.

Gaz halindeki yanıcı maddeler genellikle hidrojen, metan, propan, doğal gaz ve çeşitli endüstriyel gazlar gibi bileşenleri içerir. Bu maddeler, düşük kaynama noktaları ve buharlaşma eğilimleri nedeniyle genellikle atmosferik koşullar altında gaz fazında bulunurlar. Gazların geniş bir yanma aralığı olabilir ve atmosferdeki oksijenle reaksiyona girdiklerinde yangın veya patlama riski taşırlar.

Gaz formda yanıcı maddelerin yanma mekanizmaları genellikle oksijenin varlığında gerçekleşen bir yanma reaksiyonunu içerir. Bu reaksiyon, metanın oksijenle reaksiyona girerek karbon dioksit ve su oluşturduğu endotermik bir yanma reaksiyonudur. Bu süreç sırasında enerji açığa çıkar ve ısı ve ışık üretilir.

Gaz formda yanıcı maddelerle çalışmak, yüksek risk içeren bir süreç olduğundan, uygun güvenlik önlemleri alınmalıdır. Aşağıda, gaz formda yanıcı maddelerle çalışırken dikkate alınması gereken güvenlik ilkelerinin birkaç örneği verilmiştir:

İyi Havalandırma: Gazların buharlaşma eğilimi gösterdiği unutulmamalıdır. İyi bir havalandırma sistemi, gaz birikimini önler ve potansiyel patlama riskini azaltır.

Yangın Söndürme Ekipmanları: İşyerlerinde uygun yangın söndürme ekipmanları bulundurulmalı ve personel bu ekipmanların nasıl kullanılacağı konusunda eğitilmelidir.

Patlama Önleme: Patlama riski taşıyan ortamlarda patlama önleme önlemleri alınmalıdır. Bu, patlamaya dayanıklı ekipmanların kullanılmasını ve potansiyel patlama bölgelerinin belirlenmesini içerir.

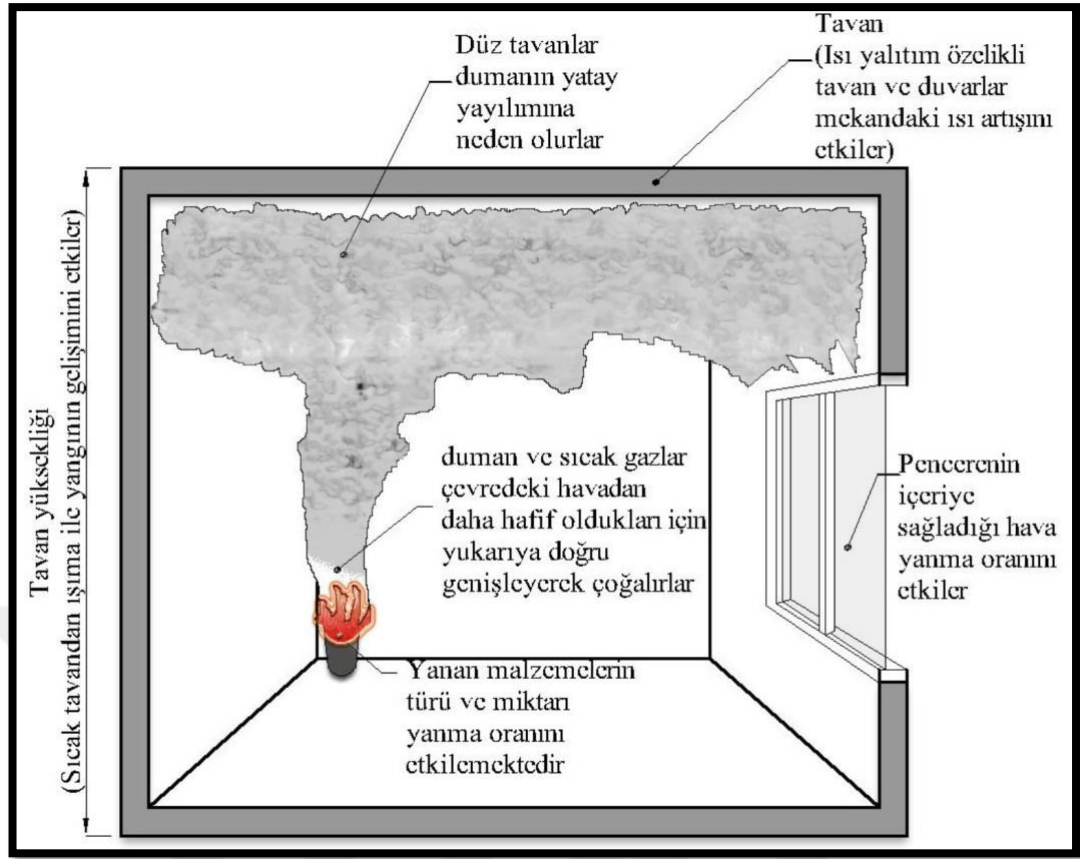
Personel Eğitimi: Çalışanlar, gaz formda yanıcı maddelerle çalışma konusunda eğitilmelidir. Bu, güvenlik prosedürlerini takip etme, acil durumlarla başa çıkma ve kişisel koruyucu ekipmanları doğru kullanma becerilerini içerir.

Gaz formda yanıcı maddeler, birçok endüstriyel süreçte kullanılan önemli bileşenlerdir. Ancak, bu maddelerle çalışmak, ciddi güvenlik riskleri içerir. Uygun güvenlik önlemlerinin alınması, personel eğitimi ve patlama önleme önlemleri, gaz formda yanıcı maddelerle çalışmanın güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesi için hayati öneme sahiptir.

1.1.4 Yangın Gelişim Evreleri

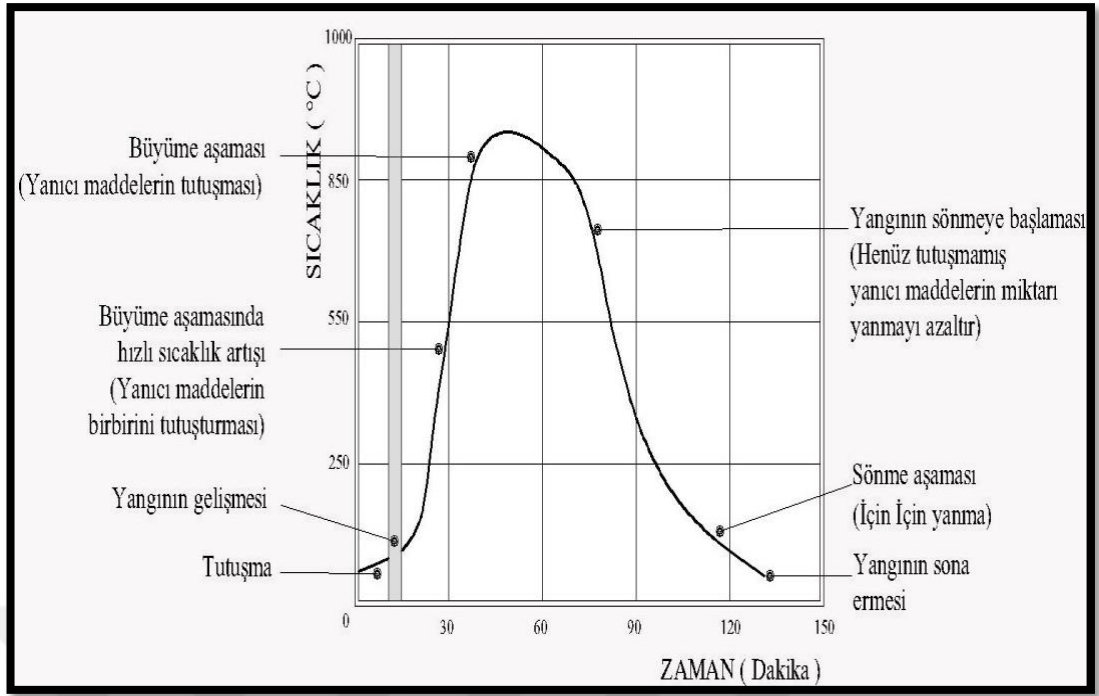
Bir yangının oluşabilmesi için yukarıda belirtilen "yangın üçgeni" bileşenlerinin (yanıcı maddeler, ısı ve oksijen) ortamda bulunması gerekir. Pek çok yapı, alev alabilecek büyük miktarda tehlikeli madde içerir. Ancak atmosferdeki oksijen de bu maddelerle etkileşime girer. Bu nedenle yanmanın oluşması için gerekli olan ısı kaynaklarının kat edilecek mesafe kadar olması gerekir [21].

Yanan maddeden gelen ısı ve yanma sürecinden kaynaklanan duman hızla artar ve tavan boyunca yatay olarak hareket eder. Kapalı bir alanda yangın çıkması durumunda sıcak gazların sayısı artacak ve alanı dolduracaktır. Şekil 2.2'de görüldüğü gibi bir odanın köşesindeki çöp kutusu hasar gördüğünde sıcaklık 650-980°C'ye kadar çıkabilmektedir. Yangının çıktığı odanın geri kalanı da aynı şekilde soğuk olsa bile, yanma sonucu ortaya çıkan zehirli gazlar hızlı bir şekilde uzaklaştırılmazdıysa odanın boşaltılması mümkün olmayabilir. Tipik olarak yapı yangınlarından kaynaklanan ölümlerin nedeni duman ve zehirli gazlardır. Sıcak gazların hızla iletilmesi ve tavanın ve üst duvarların ısınması nedeniyle ısı, radyasyon yoluyla tutuşmayan alt kata yeniden geri döner. Tavana yakın yanıcı maddelerin sıcaklığı artacak ve daha fazla ısı açığa çıkacaktır. Tavan ve duvarlarda kullanılan yanıcı kaplama malzemeleri yangının yayılmasında ve gelişmesinde önemli rol oynamaktadır [18].



Şekil 1.2. Sınırlı alanlarda yanma davranışı [20]

Yanıcı veya oksijen tüketen malzemeler ortamdaki uzaklaştırıldıkça yangının büyümesine devam etme olanağı kalmayacaktır. Yanmaya başladığında alev alan malzemeler ilk önce imha edileceğinden, yanmayan malzemelerin ortamdaki uzaklaştırılması önemlidir. Yangının ilk tutuşan malzemeden yayılıp yayılmaması, malzeme ile etrafındaki yanıcı maddeler arasındaki mesafeye ve malzemenin yanma derecesine bağlıdır. Işınımli ısı transferinde en önemli durum tavan altında biriken termal duman tabakasıdır. Yeterli yoğunluktaki radyasyon, bir alandaki tüm yanıcı yüzeylerin aynı anda tutuşmasına neden olur; bu süreç flashover olarak adlandırılır. Bu durumda ısı yayılım hızı hızla artar [19]. Aşağıdaki tablo gerçek bir bina yangınının sıcaklık-zaman profilini göstermektedir. Yangının ilerlemesi, insanların binadan tahliyesine en elverişli olanıdır. Ancak yangına müdahale için kritik dönem, yangının gelişme aşamasıdır. Sonuç olarak yangınların erkenden fark edilmesi gerekir, aksi takdirde insanlar kurtarılamayacak ve yangın yayılacaktır (Şekil 1.3) [18].



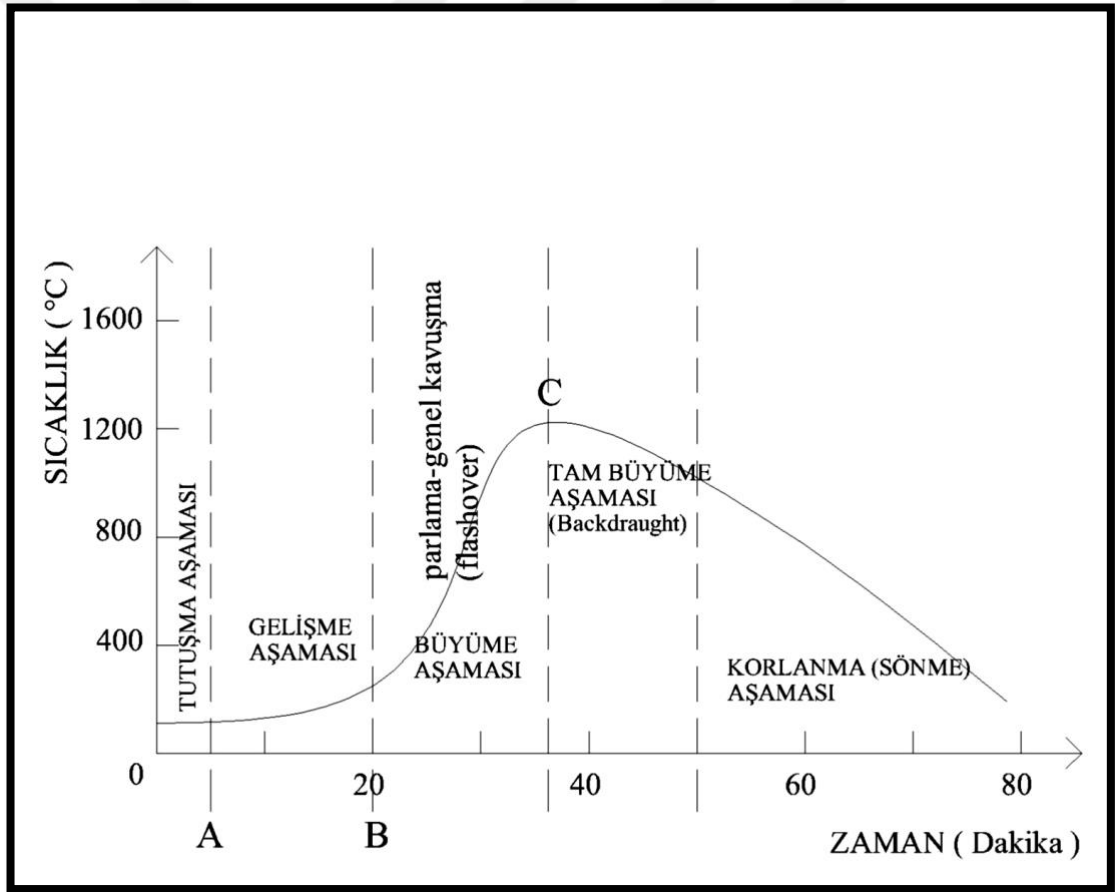
Şekil 1.3. Yangının zamana bağlı gelişim aşamaları [20]

Bina yangınının nedeni çoğunlukla bilinmez; bir ani parlama veya yangının bir malzemeden diğerine ve tüm binaya yavaşça yayılması nedeniyle meydana gelebilir. Bu durumda yangının boyutu mevcut oksijen miktarıyla sınırlıdır. Bir mahalde başlangıçta mevcut olan hava miktarı, küçük miktarda yanıcı maddenin tutuşması açısından önemlidir. Ancak duvarlarda dumanın dışarı çıkmasını ve temiz havanın içeri girmesini sağlayan açıklıklar kapı ve pencerelerdir. Oksijen kapasitesinin bir miktar aşılması halinde yangının kontrol altına alındığı kabul edilir. Bu durumda, yanma olaylarının sayısı daha azdır, yanmayla ilgili ürünlerin (özellikle karbondioksit ve su) başlangıcı daha kademelidir ve daha fazla karbon monoksit ve duman açığa çıkar. Nadir durumlarda, yangın alanındaki sıcaklık yanıcı malzemeleri buharlaştıracak kadar yüksek olabilir, ancak yanacak kadar sıcak olmayabilir. Oksijen miktarı aniden artarsa (hava bir kapı veya pencereden içeri girdiğinde), yanıcı buharlar havayla karışarak hızla yanabilir. Bu duruma tam büyüme aşaması (backdraught) denir [19].

Ateşin gelişimi hakkında pek çok literatür yazılmıştır; üç ana aşamaya ayrılmıştır: başlama, gelişme ve sönmeye. Yangınların karmaşıklığı nedeniyle ara aşamaların araştırılması daha etkili olacaktır. Bu yaklaşım yangın aşamalarını beş farklı aşama olarak tanımlamamıza olanak sağlamaktadır. Bunlar; başlama, büyüme, tam büyüme

ve köz (yok olma). Her aşama kendi tehlikeleriyle ilişkilidir. Gelişme, büyüme ve kor aşamalarının tümü yangınlarda meydana gelebilecek, ölüm veya yaralanmalara yol açabilecek tehlikelerdir [22, 17].

Yangın gelişimi ile zaman-sıcaklık artışı arasındaki ilişki Şekil 1.4'te gösterilmektedir. Şekilde A noktasından önceki süre ateşleme süresini temsil etmektedir. A'dan B'ye yangının gelişim aşamaları denir. Büyüme (flashover) aşamasından önceki bu aşamada, uzaydaki sıcaklık, büyüme aşamasına göre daha düşüktür. Ayrıca insanları tahliye etmek için gereken süre de daha uzundur. Yangının ilerlemesi, büyüme aşamasının başlangıcından (B) tam aşamaya (C) geçtiği ana kadar hızlıdır. B ve C arasındaki zaman aralığı yangının ilerleyişidir. Büyüme aşamasında bölgedeki tüm yanıcı maddeler yakılır ve bitişikteki alanın sıcaklığı önemli ölçüde artar [21].



Şekil 1.4. Yanma sürecinde sıcaklık-zaman ilişkisi [24]

Şekil 1.4'teki C noktası; büyüme aşaması biter, oksijenin azalmasıyla yanma süreci biter ve tam büyüme aşamasına başlar. Büyüme aşaması boyunca ortamda henüz yakılmamış sıcak gazlar bulunur. Sıcaklıklar düşmeye başladıkça yangın yavaş yavaş kor aşamasına girmektedir. Buharlaştırma aşamasındaki ısı, konveksiyon ve radyasyon

yoluyla diğer mekanlardaki yapı elemanlarına yayılarak tehlikeye neden olur. Şekil 1.4'teki diyagramda maddenin uzaydaki sıcaklığının ve şeklinin aynı özelliklere sahip olduğu varsayılmaktadır. Aslında yangın sırasında bölgenin sıcaklığı değişir. Ayrıca yapı elemanlarını çevreleyen malzemelerin özellikleri de değişecektir [21].

Yangının ilerleyişi aşağıda detaylandırılmıştır;

1.1.4.1 Tutuşma Evresi

Yangın fiziksel bir tutuşma eylemidir. Ortamda oksijen içeriği %18 ile %21 arasında olacak kadar yanıcı madde bulunmaktadır. Söz konusu tutuşma hareketi, malzemenin tutuşma sıcaklığına ulaşmasıyla meydana gelebilir.

Yanıcı maddeler ilk kez tutuştuğunda yangın küçük ve sınırlıdır [20].

Başlangıç aşaması olarak da adlandırılan bu aşamada alevler henüz belirginleşmez ancak tavandan itibaren ortam dumanla dolmaya başlar. Yangın kaynağındaki alev arttıkça ve çevre sıcaklığı arttıkça yangın gelişme aşamasına geçecektir [17].

Yangının dumanı yukarıya doğru çıkıyor. Başlatma aşamasında oksijen konsantrasyonu yeterlidir. Ancak sıcaklık gerekli dereceye yükselmediğinden yanıcı maddeler henüz tam olarak yanmamıştır. Duman içerisinde halen mevcut olan gazlar tamamen yanmamıştır. Ortamın sıcaklığı arttıkça yanmayan gazlar ısınmaya başlar ve tutuşma eşiğine ulaşır. Bu noktada odanın üst katlarında kısmi yangınlar ve alevler mevcut olabilir [17].

1.1.4.2 Gelişme Evresi

Aşırı miktarda yanıcı madde yangına neden olabilir. Yangının büyüklüğü, alanın geniş olması ve ısıнын yayılması yangının büyümesine katkıda bulunur. Küçük bir alanda radyasyon ve ısı, mekanın duvarlarından ve tavanından yeniden yangına girerek yangının hızla büyümesine neden olur [20].

Bir alan iyi yalıtılmışsa, ısıyı içeride hapsedebilir ve yangının hızla büyümesine neden olabilir [20].

Yangının yayılmasına etki eden faktörler aşağıdaki gibidir [21];

- Ortamdaki yanıcı maddeler arasındaki mesafe,
- Yanıcı maddelerin ortamdaki miktarı ve alanının dağılımı,
- Yangının başlangıç noktasının konumu ve büyüklüğü,

- Ortamın kapalı alanındaki açıklıkların konumu ve boyutu,
- Ortamın kapalı alanındaki açıklıkların konumu ve boyutu Ortamın geometrisidir.

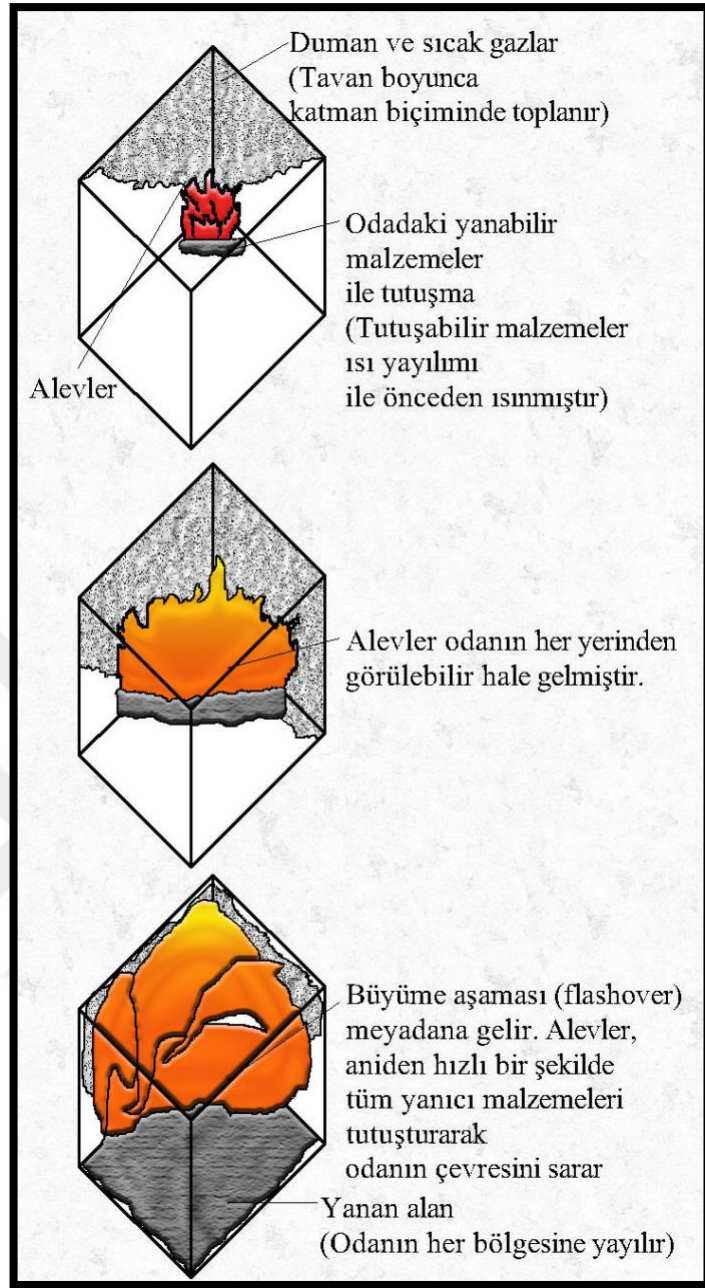
1.1.4.3 Büyüme Evresi

Yangının gelişiminden tam gelişimine kadar olan ilerlemedir. Büyüme aşaması (parlama), alevlerin tüm alanı kapladığı zamandır. Buna sebep, alevin kendisinin artan sıcaklığıdır [20].

Büyüme aşamasına geçiş, uzay tavanındaki duman tabakası sıcaklığının 550 °C'ye ulaşması veya yüzey radyasyonunun 20 kW/m²'den yüksek olması durumunda gerçekleşir [19].

Büyüme aşaması genellikle ortamdaki hem yanıcı maddelerin hem de gazların aynı anda aktivasyonu olarak yorumlanır. Bu noktada odanın tavana bitişik kısmının sıcaklığı hızla 420-650°C'ye yükselecektir. Belirli bir yerde yangının başlaması ile gelişmesi arasındaki süre; Bu, insanların tahliye edilmesi ve yangın kurtarma ve imha konusunda yardım alması için en önemli an. Şekil 1.5 bir odadaki yangının tipik ilerleyişini göstermektedir. Duvarlar yeterli izolasyona sahip olduğunda odadan bitişik hacme olan ısı akışı yavaşlayacak ve ortamın sıcaklığı hızla artacaktır. Sonuç olarak, yangının başlaması ile flashover arasındaki gecikme azalacaktır [18].

Büyüme aşaması; yangının mekan içerisinde sınırlı kalması ve yanıcı maddelerin tüm yüzeylerini kaplaması nedeniyle hızla değişebilir. Yangın gelişir; artan sıcak gaz tabakası ve çevredeki yanıcı maddelerin radyasyon yoluyla yangına yeniden ısı vermesi nedeniyle mekanın duvarlarının sıcaklığı artar. Yangın sıcaklığının yükselme hızının artması yangının yayılmasına neden olur. Ayrıca uzaydaki diğer nesneler de ısınır. Yangında, ısıtılan malzemelerden gelen ısı, radyasyon (geri besleme) yoluyla yangına eklenir; mahallin sıcaklığının artmasına ve yangının daha da şiddetli olmasına neden olur. Bazı durumlarda bir mahalde bulunan yanıcı olmayan malzemeler tutuşma sıcaklığına ulaştıklarında yanmaya başlayabilirler. Bir yangın ancak büyümesi yanıcı malzemeye karışan oksijen miktarıyla sınırlıysa duracaktır. Büyüme aşamasına geçiş gerçekleştikten sonra odada hala dışarıdan (kapı ve pencereler) aydınlatılabilen yanıcı buhar parçacıkları bulunmaktadır [19].



Şekil 1.5. Büyüme (flashover) aşaması [20]

Büyüme aşaması, yeterli yanıcı malzeme ve havalandırmanın bulunduğu bir alanda yangının geliştiği aşamadır. Bu aşamayı önlemek için yanıcı olması muhtemel malzemeler arasındaki mesafenin arttırılması, mahal içindeki havanın kısıtlanması gibi önlemler alınarak yangın tam gelişme (geri tepme) aşamasına gelebilir. Bu nedenle yangının etkisi zayıflayacaktır [19]. Resim 1.1'de görüldüğü gibi ortamda yeterli oksijen bulunduğundan mekanın bir noktasında başlayan yangın kısa sürede tüm mekana yayılacaktır. Ayrıca mahaldeki yanıcı maddelerin hacmi ve ilk başlangıç noktasına olan uzaklığı da yangının yayılmasında önemli olabilir.



Resim 1.1. Kapalı mekandaki yangının büyüme (flashover) aşaması [24]

1.1.4.4 Tam Büyüme Evresi

Bu aşamada yangın mahallinin havalandırması kısıtlandığında yanma kısa bir süre yeterli oksijen olmadan devam edebilir. Bu aşamada yangın söndürülebilir. Ancak ortamın sıcaklığı yanıcı maddenin buhardan kaçıp alevsiz yanmasına izin vermeyecek kadar yüksek olabilir. Bu, atmosferde yüksek konsantrasyonda yanıcı gazların oluşmasına neden olabilir. Bu koşullar altında havalandırmada yapılan değişiklikler (kapı veya pencerelerin açılması gibi) havanın girişine izin verir, bu hava ve ortamdaki gazların birleşimi bir karışımla sonuçlanır. Orijinal yangından kaynaklanan köz ve sıcak alevler gibi yeterli bir tutuşma kaynağı varsa, gazı tutuşturacaktır. Yeni açıklıkların açılması hava girişi nedeniyle yangınlara neden olabilir. Bu bir patlamaya neden olacaktır [19].

Büyüme aşamasından sonra mekanın tüm yanıcı yüzeyleri, ısı nedeniyle (piroliz) katı malzemeden yanıcı gazlar açığa çıkarır. Yanıcı maddeler, 1300-1400°C (tuğlaların

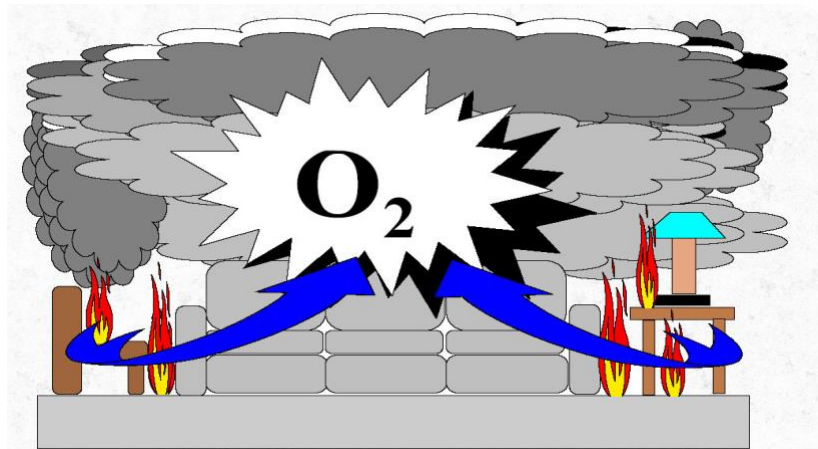
erimesine yetecek sıcaklık) dışındaki yüksek sıcaklıktaki havayla (1000-1100°C gibi) karşılaştığında pirolitik yanma nedeniyle yanıcı gazlar açığa çıkar. Yangının bu aşamasında yapı elemanları (duvarlar, kirişler, kolonlar vb.) taşıma gücünü kaybedecek kadar ısınır ve yangının bitişik mahallere yayılmasına neden olur [19].

Gaz yanıcı malzemelerden üretilir; yanmayı tamamlamak için gereken hava girişi yetersiz olduğunda genellikle çok yüksektir. Bu durumda duman ve karbon monoksit gibi gazların üretimi artar. Yanmamış yanıcı gazlar içeren duman mahalden dışarı akar ve temiz hava ile karşılaşır [20]. Havalandırılmayan bir alanda büyük miktarda yanmamış gaz birikir ve patlamaya neden olabilir [22, 17].

Tam büyüme döneminde oksijen içeriği %15'ten azdır. Yanma için gerekli oksijen olmamasına rağmen, yanmaya yetecek kadar yanıcı madde ve ısı hala mevcuttur. Ancak oksijenin kontrolsüz olarak solunması durumunda patlama meydana gelebilir (Şekil 1.6) [20].

Ancak oksijen girişi kontrol edilirse patlamalar önlenir. Olası bir patlamanın işaretleri şunlardır [20];

- Basıncı duman küçük açıklıklardan dışarı atılır,
- Yoğun siyah duman,
- Yoğun duman miktarının ve mekandaki aşırı ısının sınırlandırılması,
- Çok küçük veya algılanamayan alevler,
- Üfleme yoluyla veya ara ara dumanın binadan dışarıya atılması gibi durumlardır.



Şekil 1.6. Tam büyüme aşaması [22]

Bu aşama, yangına müdahale ekipleri ve tahliye edilen binaları araştıran kişiler için, başka bir yangının meydana gelebileceğinden şüphelenmeleri durumunda önemlidir [19].

İtfaiyecilerin kullandığı basınç azaltma teknikleri gibi yangın söndürme teknikleri, büyüme aşaması boyunca tehlikeleri en aza indirebilir [19].

Patlamanın ardından alevler salonun her yerini sarabilir. Hacimdeki tüm yanıcı maddelerin ateşlenmesi nedeniyle yangının oksijen ihtiyacı artar. Bu aşamanın sonunda karbondioksit emisyon miktarı artar. Yanıcı maddeler ve oksijen azaldıkça yangın yavaşlar ve bir sonraki aşamaya geçer ve korlanır (söner) [17].

1.1.4.5 Sönme Evresi

Bu noktada yanan malzeme maksimum kapasitesine ulaşmıştır. Bir önceki aşamanın alevi söndürülür. Ancak alevi söndürmek için çok az miktarda madde kullanılır. Eninde sonunda bu alevler cenderelere dönüşecektir. İtfaiye ekipleri yangını kontrol altına almadan yola çıkmazsa yangın kor aşamasına ilerleyecek ve sonunda söndürülecektir [20].

1.2 Aktif Yangın Güvenliği Önlemleri

Aktif yangın güvenliği önlemleri, bir binanın inşaatı sırasında veya sonrasında eklenen, yalnızca yangın durumunda devreye giren, enerji kullanımıyla verimli çalışan ve belirli bir amaca hizmet eden güvenlik sistemleridir [15].

Genel olarak bu sistemler, yangını gelişmeden tanıyan, yangının gelişimi sırasında müdahale eden, yangın nedeniyle insanların binadan çıkmasını önleyen güvenlik sistemleridir ve tüm bunlar güvenli bir şekilde gerçekleştirilir.

Aktif sistemler; alev algılayan ekipmanlar, dumanı algılayan ekipmanlar, yangından korunmak için kullanılan ekipmanlar, portatif ve spreyi olan ekipmanlar, yangınları söndürmek için otomatik olan ve gaz veya köpük kullanan ekipmanlardır [16].

1.2.1 Alev Algılama Cihazı

Bu cihazlar, elementlere maruz kalan alanlarda yanıcı maddelerin varlığının sinyalini vermek için kullanılır. Ayrıca alev algılama cihazları ultraviyole ve kızılötesi radyasyona karşı oldukça spesifiktir ve bu cihazlar bu radyasyonun varlığını bile tanıyabilir [4].

Boya endüstrisinde, kimyasal üretim alanlarında, veri merkezlerinde, cephane depolarında ve kazan dairelerinde kullanılmaktadır. Alev algılama cihazının tasarımının temeli aşağıda açıklanmıştır.

- Alevin izleneceği alan, tüm potansiyel yangın noktalarına ulaşacak görsel bir ize sahip olmalıdır.
- İzlenen alanın köşesine 45° açıyla bir alev algılama cihazı yerleştirilir.
- 5 metrenin üzerindeki alanlarda alev algılama cihazının merkezi odanın karşı köşesinde yer alır.
- Cihazın üzerindeki bölge gözlemlenen bölgenin dışındadır.
- Alevleri algılayan cihazın maksimum mesafesi 10 m'ye ulaşmaktadır.



Resim 1.2. Alev algılama cihazı çeşitleri

1.2.2 Duman Algılama Cihazı

Duman algılama cihazları ile duman kontrolü kolaylaşmaktadır. Duman algılama cihazları kapalı ortamlarda kullanılır. Bu cihaz otomatik olarak birincil alarmı tetikler ve bir alarm sesi çıkarır. Otomatik olarak da diğer yangın söndürücüleri aktifleştirir [4]. Ofisler, konferans salonları, küçük depolar, okullar, hastaneler, oteller vb. için uygundur. Binalarda duman algılama cihazlarının tasarım prensipleri aşağıda sıralanmıştır.

1. Duman algılama cihazı 15 metrelik alanı korur.
2. İki duman dedektörü arasındaki maksimum mesafe 10,6 metredir.
3. Duvara maksimum mesafe 5,3 metredir.



Resim 1.3. Duman algılama cihazı çeşitleri

1.2.3 Yangın Kontrol Paneli

Yangın kontrol paneli, yangın alarm sistemine güç sağlayarak işlevini yerine getirir. Bu kontrol paneli, manuel veya otomatik yangın algılama ekipmanı gibi çeşitli alarm "giriş" cihazlarını izler. Algılanan bir yangın durumunda, panel çeşitli alarm "çıkış" cihazlarına sinyaller gönderir. Bu çıkış cihazları arasında ziller, uyarı ışıkları, acil durum telefon çağrı üniteleri ve bina kontrol ekipmanları bulunmaktadır. Yangın kontrol paneli, yangın tehlikesine karşı erken uyarı ve müdahale için kritik bir bileşendir. Yangın kontrol panelleri, tek bir giriş ve çıkış sinyaline sahip basit cihazlardan, bir binanın her yerine yerleştirilen ve birden fazla binayı izleyen karmaşık bilgisayarlı ünitelere kadar çeşitlilik gösterir. Yangını iki ana araç kontrol eder. Bunlar sıradan yangın kontrol panelleri ve adresli yangın kontrol panelleridir [13].

Geleneksel yangın kontrol panellerinde çok sayıda devre mekanizması bulunmaktadır. Her devre bileşenine bir veya daha fazla algılama cihazı yerleştirilir. Bir binada kullanılacak algılama ekipmanının seçimi ve yerleştirilmesinde ortam sıcaklığı, çevre koşulları ve olası yangın riskleri dikkate alınır. Adresli (akıllı) yangın kontrol panelleri, geleneksel yangın kontrol panellerinden farklı olarak bu sistemlerin algılama ve sinyalizasyon cihazlarının fonksiyonlarının mikroişlemciler ve yazılımlar aracılığıyla izlenebilmesi ve kontrol edilebilmesidir. Yangınla kontrol edilebilen adreslenebilir yangın kontrol paneli, bir dizi eylem ve tepki yoluyla yönlendiren bir bilgisayardır [13].

1.2.4 Sesli ve Işıklı Uyarı Cihazları

Binanın işgal edilen tüm bölümlerinde meydana gelebilecek yangın veya diğer acil durum potansiyeli, iletişim kuran işitsel ve görsel cihazlar aracılığıyla sinyalizasyon edilir. Yangın alarm butonu bulunan yerlere alarm sistemi kurulmalıdır. Sesli alarm cihazları zilleri ve sirenleri içerir; görsel alarm cihazları aynı zamanda flaş ışıkları olarak da bilinir. Yüksek ses ve ışık çakmaları üreten sesli ve görsel alarm cihazları, yangın anında ses ve ışık çıkararak tahliyeyi kolaylaştırmaya yardımcı olur [13].

1.2.5 Sabit Boru Tesisatı ve Yangın Dolapları

Sabit borulamanın amacı binadaki su seviyesinin yangınlara etkili bir şekilde müdahale edebilecek yeterliliğe sahip olmasını sağlamaktır. Bu nedenle binada yangın dolapları ve itfaiye su hatları bulundurulmalıdır. İtfaiye giriş hatları, itfaiye personelinin veya yangınların önlenmesi konusunda sahada eğitim almış kişilerin kullanması için tasarlanmıştır [13].

1.2.6 Hidrant Sistemi

Bu su şebekeleri, bina dışından gelen yangınları kontrol altına almak, bina dışını soğutmak, yangının büyümesini önlemek ve ilk söndürülemeyen bir yangın durumunda itfaiyeye su takviyesi yapmak amacıyla kurulur. Yangın hidrant sistemleri binanın çevresini kapsayacak şekilde ve itfaiye ekibinin kolayca erişebileceği bir yere yerleştirilmelidir [13].

1.2.7 Taşınabilir Yangın Söndürme Tüpü

Tüm yangınlara ilk müdahalede yaygın olarak kullanılırlar. Yangın söndürme sıvılarında karbondioksit, halon, köpük, su, kimyasal kuru toz vb. kullanılabilir. Portatif yangın söndürücüler 2 kg, 6 kg ve 12 kg'lık kaplarda mevcuttur. Tüm yangın türlerinde uygun tipte yangın söndürücü seçilerek yanan malzemenin cinsine göre yangına müdahale edilir. Mahaldeki tehlike derecesine göre yangın söndürücülerin cinsi ve miktarı belirlenir.

1.2.8 Sprink Sistemler

Yangınları söndürmek için su püskürten, soğutma sağlayan ve itfaiye gelene kadar yangının yayılmasını sınırlayan otomatik sistemlerdir. Amaç yangının daha fazla büyümesini önlemek ve kontrol altına almaktır. Sprinkler sisteminin borulara, askılara

ve takılan vanalara monte edilen bileşenleri önemlidir. Bu bileşenler suyun akışını tanımlamaya ve su hareketinin doğru yönünü belirlemeye yardımcı olur.

1.2.9 Köpüklü Söndürme Sistemi

Suyun tek başına etkili olmadığı veya suyla etkileşime giren kimyasalların depolandığı ve üretildiği yerlerde, uygun tipte yangın söndürme sistemi kullanılmalıdır. Bu tür yerler için köpüklü yangın söndürme sistemleri tercih edilebilir. Köpüklü yangın söndürme sistemleri, oksijen ve buhar basıncının birleşimini engelleyerek yakıtın buharlaşmasını önler. Böylece, zehirli kimyasalların ve gazların atmosfere salınmasını da engeller [13].

1.2.10 Gazlı Söndürme Sistemi

Suyun yoğun olduğu ve başka maddeler üreten alanlarda en önemli gazlı yangın söndürme sistemine öncelik verilmelidir. Sistem bina içerisinde sabit borular ve yangın söndürme gaz ve sıvı tanklarından oluşmaktadır. Yangın söndürme sıvısı olarak karbondioksit ve halon kullanılabilir [11].

Kullanım alanları arasında kontrol odaları, bilgisayarlar, sistemler, kablo kanalları ve odaları, elektrikli makineler ve yanıcı sıvıların yanı sıra spreyci boyama fırınları bulunmaktadır. Gaz alevlerini bastırma sistemi üç seviyeye ayrılmıştır; CO₂ gazlı yangın söndürme sistemi, duman davlumbazlı otomatik yangın söndürme sistemi ve FM 200 gazlı yangın söndürme sistemi.

1.2.11 FM 200 Gazlı Söndürme Sistemi

Sudan zarar gören alan ve yerlerde kullanılır. FM 200'ün kullanıldığı bölümler; arşiv odaları, bilgisayar odaları, elektrik bölümleri ve değerli elektronik ekipmanların depolandığı alanlarda kullanılır. FM 200 renksiz, kokusuz, zararsız bir gazdır [13].

1.2.12 Davlumbaz İçi Otomatik Söndürme Sistemi

Tipik olarak restoranların, otellerin, okulların, hastanelerin, endüstriyel tesislerin ve havaalanı tesislerinin mutfak kısmında kullanılır. Motor kapağının bakımı ve temizliği yapılmazsa, yağ filtresinde yağ birikebilir. Yanma, ısının etkisi altında yağın birikmesi nedeniyle meydana gelir. Davlumbazdaki sensörler sistemin otomatik olarak devreye girerek yangının ilerlemesine ve kısa sürede kontrol altına alınmasına katılmasını sağlar [11].

1.2.13 CO2 Gazlı Söndürme Sistemi

Yangınla mücadele yetenekleri açısından oldukça etkilidir. Issız alan ve yerlerde kullanılır. Kullanılan alanlar arasında jeneratör odaları, trafo merkezleri, kimyasal bileşikler, boya üretim tesisleri ve enerji santralleri bulunmaktadır [13].

1.2.14 Duman Tahliye Sistemi

Yangın meydana geldiğinde binadaki maddelerin hacmine, cinsine ve havalandırma özelliklerine bağlı olarak bir duman tabakası oluşur ve mahalde oluşan duman tabakası genellikle kısa sürede büyük boyutlara ulaşır. Birkaç dakika içinde duman tabakası yapının yarısını kaplayacak ve yangın yönündeki hava akışıyla birleşecektir. Bu noktada hem kaçmak hem de yangına müdahale etmek zorlaşır. Bu duman tabakası görmeyi engeller ve zehirlidir.

Genel olarak konuşursak, yangın ölümlerinin %75'i duman zehirlenmesi ve boğulmadan kaynaklanmaktadır. Bunu dikkate alarak can kayıplarını önlemek ve binalardaki dumanı kontrol altına almak başarı açısından büyük önem taşımaktadır [14].

1.2.15 Yangın Algılama ve Uyarı Sistemleri

Yangın algılama ve uyarı sistemleri, yangın riskini erken aşamada tespit etmek ve bu tehlikeyi hızlı bir şekilde bildirmek amacıyla kullanılan teknolojik sistemlerdir. Bu sistemler, yangın güvenliği açısından kritik öneme sahiptir ve yangın durumunda hızlı müdahale için uygun zaman sağlar. İşte yangın algılama ve uyarı sistemlerinin temel bileşenleri:

Duman Dedektörleri: Optik Duman Dedektörleri: Işığın duman tarafından engellenmesini algılar. İyonizasyon Duman Dedektörleri: İyonlaşma prensibini kullanarak hava içindeki iyonları ölçer ve bu iyonlar duman tarafından engellendiğinde bir alarm üretir.

Isı Dedektörleri: Termik Dedektörler: Ortamdaki sıcaklık değişikliklerini algılar ve belirlenen bir sıcaklık eşiği aşıldığında alarm verir. Optik Isı Dedektörleri: Belirli bir ısıyı algılamak için optik sensörleri kullanır.

Alev Dedektörleri: UV, IR veya çok spektrumlu sensörler kullanarak alevin karakteristik özelliklerini algılar.

Gaz Dedektörleri: Belirli yangın yanma ürünlerini (metan, karbon monoksit, hidrojen, vs.) algılamak için tasarlanmıştır.

Merkezi Kontrol Paneli (MKP): Tüm dedektörlerden gelen bilgileri toplayan ve değerlendiren ana kontrol birimidir. Yangın durumu tespit edildiğinde, alarmı tetikler ve gerekli uyarıları sağlar.

Uyarı Cihazları: Sirenler, flaşlı ışıklar, hoparlörler veya diğer ses ve ışık uyarı cihazları, alarm durumunu görsel ve işitsel olarak duyurur.

Manuel Yangın Alarm Butonları: Acil durum durumlarında insanlar tarafından elle tetiklenebilen butonlardır. Bu butonlar yangın algılama sistemine hızlı bir şekilde müdahale imkanı sağlar.

İletişim Sistemleri: Yangın algılandığında, sistemin yetkililere, itfaiye teşkilatına veya diğer ilgili kişilere otomatik olarak bildirimde bulunabilen iletişim sistemleri.

Yedek Güç Kaynakları: Elektrik kesintisi durumunda çalışma gücünü sürdürmek için pil veya jeneratör gibi yedek güç kaynakları.

Yangın algılama ve uyarı sistemleri, yangın güvenliği standartlarına ve yerel düzenlemelere uygun olarak tasarlanmalı, düzenli bakım ve testlere tabi tutulmalıdır. Bu sistemlerin doğru şekilde çalışması, yangın durumlarında hızlı tepki verilmesini sağlar ve can kaybı ile maddi hasarı en aza indirir.

1.1.16 Yangın Söndürme Sistemleri

Yangın söndürme sistemleri, yangının kontrol altına alınmasını ve söndürülmesini sağlayan çeşitli teknolojik sistemlerdir. Bu sistemler, yangın güvenliği açısından önemli bir rol oynar ve yangının hızlı bir şekilde kontrol altına alınmasına yardımcı olur. İşte yangın söndürme sistemlerinin bazı temel tipleri:

Su Bazlı Yangın Söndürme Sistemleri:

- **Yangın Sprinkler Sistemleri:** Otomatik olarak çalışan sprinkler başlıkları, yangın algılandığında suyu yangın bölgesine püskürtür.
- **Su Püskürtme Sistemleri:** Özellikle endüstriyel tesislerde kullanılır ve yüksek basınç altında çalışan püskürtme başlıkları ile yangını kontrol altına alır.

Gaz Bazlı Yangın Söndürme Sistemleri:

- CO2 Söndürme Sistemleri: Karbon dioksit, oksijeni azaltarak yangını boğar ve yangın sönme sürecini hızlandırır. Elektrikli ekipmanların bulunduğu alanlarda yaygın olarak kullanılır.
- Halon Söndürme Sistemleri: Halon gazı, yanma reaksiyonlarını durdurarak yangını kontrol altına alır. Ancak, çevresel etkileri nedeniyle çoğu yerde kullanımı yasaklanmıştır. Alternatifler geliştirilmektedir.

Köpük Bazlı Yangın Söndürme Sistemleri:

- Köpük Sprinkler Sistemleri: Yangın algılandığında otomatik olarak devreye giren sprinkler başlıkları, köpük püskürterek yangını kontrol altına alır.
- Köpük Jet Sistemleri: Yüksek basınçlı köpük püskürtme başlıkları kullanılarak yangını söndürür.

Toz Bazlı Yangın Söndürme Sistemleri:

- Kuru Toz Söndürme Sistemleri: Yanan alanın üzerine kuru kimyasal toz püskürterek yangını söndürür. Genellikle endüstriyel ve ticari alanlarda kullanılır.
- Nemli Kimyasal Toz Söndürme Sistemleri: Yanma bölgesine nemli kimyasal toz püskürterek yangını kontrol altına alır.

Yaygın Yangın Söndürme Sistemleri:

- Yangın Hortumu ve Yangın Vanası Sistemleri: El ile kullanılabilen yangın hortumu ve vanası ile donatılmış acil durum söndürme sistemleri.

Mobil Yangın Söndürme Ekipmanları:

- Yangın Tüpleri ve Taşınabilir Söndürme Cihazları: El ile taşınabilen, hafif yangınları kontrol altına almak için kullanılan taşınabilir söndürme ekipmanları.

Yangın söndürme sistemleri genellikle yerel düzenlemelere, bina türüne ve kullanım amacına göre belirlenen standartlara uymak zorundadır. Ayrıca, düzenli bakım ve testlere tabi tutularak doğru bir şekilde çalışmaları sağlanmalıdır.

1.2.17 Ulusal ve Uluslararası Yangın Mevzuatı

Yangın mevzuatı, ulusal düzeyde devletlerin ve uluslararası düzeyde çeşitli kuruluşların belirlediği standartlar, yönetmelikler ve yasal düzenlemelerden oluşan bir dizi kurallar bütünüdür. Bu mevzuatlar, yangın güvenliği ile ilgili standartları belirler

ve insanların, mülklerin ve çevrenin yangın risklerine karşı korunmasını sağlamak amacıyla oluşturulur.

Ulusal Yangın Mevzuatı:

Her ülkenin kendi yangın mevzuatı vardır ve bu mevzuat genellikle yangın güvenliği, bina güvenliği, yangın söndürme sistemleri ve ekipmanları, acil durum tahliye prosedürleri gibi konuları kapsar.

Uluslararası Yangın Mevzuatı:

Uluslararası düzeyde, birkaç kuruluş ve bir dizi standart, yangın güvenliğiyle ilgili genel prensipleri belirler. Özellikle şu kuruluşlar ve standartlar önemlidir:

NFPA (National Fire Protection Association): Amerika Birleşik Devletleri'nde faaliyet gösteren NFPA, yangın güvenliği standartları ve yönergeleri oluşturan ve yayınlayan bir kuruluştur. NFPA'nın "NFPA 101 - Yaşam Güvenliği Kodu" gibi belgeleri, bina güvenliği ve yangın önleme konularında geniş kapsamlı standartlar sunar.

ISO (International Organization for Standardization): Uluslararası Standartlar Organizasyonu, bir dizi yangın güvenliği standardını yönetir. Örneğin, ISO 7240, yangın algılama ve uyarı sistemleri için genel gereksinimleri belirler.

IMO (International Maritime Organization): Denizcilik sektörü için dünya çapında standartlar belirleyen birleşmiş milletler kuruluşu olan IMO, yangın güvenliği ile ilgili MARPOL Annex II ve SOLAS gibi önemli anlaşmalara ev sahipliği yapmaktadır.

EU Building Codes (European Union Building Codes): Avrupa Birliği, binaların tasarım ve inşası için yangın güvenliği ile ilgili standartlar içeren çeşitli direktiflere sahiptir.

Bu ulusal ve uluslararası yangın mevzuatları, yangın güvenliği uygulamalarının standartlaştırılması ve insanların, mülklerin ve çevrenin yangın risklerine karşı etkili bir şekilde korunması amacını taşır.

1.3 Güneş Enerjisi Sistemleri

Farklı tipteki güneş enerjisi santralleri, kullanım amacına bağlı olarak farklı ekipmanlar gerektirir. Örneğin, şebekeden bağımsız bir sistem, şebekeye bağlı bir sistemden farklı olarak, depolama için bir batarya grubunun dahil edilmesini gerektirir. Bu santrallerde bulunan temel bileşenler; fotovoltaik paneller, invertörler, üretilen DC

akımın taşınmasını sağlayan DC kablolar, sigortalar ve panellerin çatılara veya yere monte edilmesini sağlayan yapılardan oluşmaktadır. Ayrıca, uzaktan izleme kabiliyetinin sağlanması için tesise SCADA sistemi entegre edilebilmektedir.

1.3.1 Fotovoltaik Panel

PV panel, güneş enerjisi santrallerinde doğrudan güneşten gelen enerjiyi kullanan birincil bileşen olarak hizmet eder. Şekil 1.7'de güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürmekten sorumlu yarı iletken bir cihaz olan fotovoltaik panel gösterilmektedir. Bu paneller fotovoltaik hücrelerin seri veya paralel olarak birleştirilmesiyle oluşturulur. Her bir hücre ortalama 0,5 V çıkış üretir. Güneş panellerinin montajı sırasında hücreler bir cam yüzeye yapıştırılır. Dayanıklılık ve koruma sağlamak için daha sonra laminasyon uygulanır. Tamamlanan panellerde herhangi bir hasar veya deformasyon belirtisinin tespit edilmesi için sıkı denetimler yapılır. Onaylandıktan sonra çerçeve montajı gerçekleştirilir. Paneller daha sonra standart şartlarda teste tabi tutularak topraklama, maksimum güç çıkışı, akım-gerilim değerleri, yüksek gerilim yalıtımı gibi parametreler değerlendirilmektedir. Bu panellerin verimliliği, kullanılan hücresel yapıdan etkilenir ve verimlilik seviyeleri %5 ile %25 arasında değişir. Enerji santrallerinde bu panellerin istenilen güç, akım veya gerilime göre seri veya paralel konfigürasyonda bağlanmasıyla diziler oluşturulur [27].



Şekil 1.7. Fotovoltaik panel.

1.3.2 İnvörtör

Fotovoltaik panellerin temel amacı doğru akım (DC) gerilimi üretmektir. Ancak bu DC gerilim doğrudan şebekede kullanılamaz. Şebekeye uyumlu hale getirilebilmesi için DC voltajın alternatif akım (AC) voltajına dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu önemli dönüştürme işlemi, sistemde birincil kontrol cihazı olarak görev yapan bir invertör tarafından gerçekleştirilir. İnvörtörler panel tarafında DC akım ve voltajın, şebeke tarafında ise AC akım, gerilim ve frekansın düzenlenmesinde ve yönetilmesinde kritik bir rol oynamaktadır.

Şebekeye bağlı invertörlerin üç farklı kategorisi vardır: mikro invertörler, dizi invertörler ve merkezi invertörler. Bu tezde tartışılan özel proje için seçilen invertör, Şekil 1.8'de gösterildiği gibi dizi invertördür. Dizi invertörleri birden fazla maksimum güç noktası izleme (MPPT) girişiyle donatılmıştır. Aynı taraftaki paneller, invertör içindeki bir MPPT grubuna seri olarak bağlanır. Bir dizi invertörün kullanılmasıyla, taraflar arasındaki radyasyon farklılıklarından kaynaklanan MPPT'lerdeki değişiklikler etkili bir şekilde en aza indirilebilmektedir.



Şekil 1.8. Güneş paneli invertörü.

1.3.3 DC kablolar

Enerji santrallerinde güneş panelleri tarafından üretilen elektriğin iletilebilmesi için özel kablolarla ihtiyaç duyulmaktadır. Doğru akımın (DC) taşınmasından sorumlu olan bu kabloların belirli niteliklere sahip olması gerekmektedir. UV radyasyonu, yüksek sıcaklıklar, değişken hava koşulları, mekanik stres, yağmur ve kar, DC kabloların dayanabilmesi gereken faktörlerdir. Kapsamlı testler beş farklı kategoride

gerçekleştirilir: geometrik, elektriksel, mekanik, performans ve işlevsellik testleri. DC kabloların çalışma voltajları Şekil 1.9'te gösterildiği gibi 1-1,5kVDC arasında değişebilir. Gerekli standartları karşılayan DC kablolar H1Z2Z2-K etiketiyle tanımlanır.



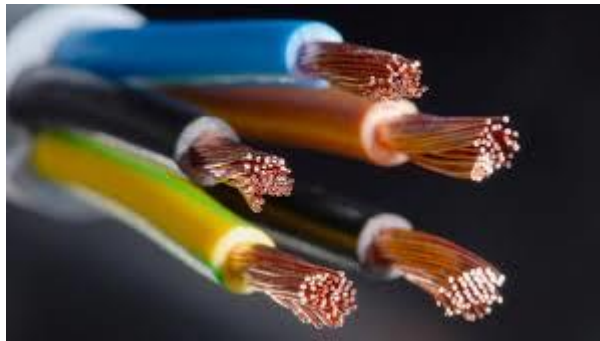
Şekil 1.9. DC kablo.

1.3.4 AC kablolar

Paneller invertöre bağlandıktan sonra doğru akım (DC), alternatif akıma (AC) dönüştürülerek şebekeye gönderilmeye hazır hale gelir. Üretilen elektrik daha sonra invertör çıkışından AC kablolar aracılığıyla güneş enerjisi santralının ana paneline aktarılır. Bu kablolar iki tipe ayrılır: alçak gerilim (AG) ve yüksek gerilim (YG).

1.3.4.1 Alçak Gerilim Kablo

Gerilim seviyesi 1000 V'un altında olan kablolar olan alçak gerilim kabloları, farklı sistemlerde geniş uygulamalara sahiptir. Örneğin güneş enerjisi santrallerinde invertör çıkışları ülkemizde genellikle 400 V civarında çalışmaktadır. Bu gerilim seviyesinin elektrik dağıtım hattına iletilebilmesi için dağıtım şirketlerinin işletme gerilimi olan 31,5 kV veya 34,5 kV seviyesine yükseltilmesi gerekmektedir. Gerilimin yükseldiği bu noktaya kadar alçak gerilim kabloları kullanılır. Şekil 1.10'te düşük voltajlı bir kablonun özel bir örneğinin çizimi verilmektedir.



Şekil 1.10. AG kablo.

1.3.4.2 Yüksek Gerilim Kablo

Şekil 1.11'te güneş enerjisi sistemlerinde yüksek gerilim (YG) uygulamaları için tasarlanmış bir kablo örneğini görebiliriz. Bu kablo sisteme yüksek voltaj seviyesinde bağlanır. İnvertör çıkışında üretilen gerilimin YG seviyesine yükseltilmesi için bir transformatör kullanılır. Bunu takiben transformatörün YG çıkışlarından başlayarak YG kabloları kullanılır.



Şekil 1.11. YG kablo.

1.3.5 Güneş Enerji Santrali Ana Dağıtım Panosu

Tipik olarak ana dağıtım panosu, güneş enerjisi sistemlerini kontrol etmek için merkezi görev görmektedir. Bu panel içerisinde invertör anahtarları, Şebeke İzleme Rölesi, kaçak akım rölesi ve ana anahtar gibi bir dizi temel ekipman bulunmaktadır. Bu bileşenlerin her birinin spesifik işlevleri aşağıda verilmiştir.

1.3.5.1 Ana Şalter

Koruyucu ekipmanların kullanılmasıyla ağ, sistemle bağlantı kurar. Çok önemli bir rol oynayan bu anahtar, hem termal hem de manyetik korumanın sağlanmasını sağlar. Herhangi bir sistem arızası durumunda, bu anahtar sistemin ağ bağlantısını etkili bir şekilde kesecektir.

1.3.5.2 İnvertör Şalterleri

Bu anahtarların kullanılmasıyla bireysel invertörlerin şebekeden ayrılması mümkün hale gelir. Sistemde birden fazla invertörün bulunduğu senaryolarda, belirli bir invertöre bakım yapılması gerekiyorsa tüm tesisin kapatılması yerine sadece ilgili anahtar devre dışı bırakılır. Bu, kesintisiz üretimi garanti eder ve gereksiz enerji kayıplarını önler.

1.3.5.3 Şebeke İzleme Rölesi

Şebekeye bağlı sistemlerde ada rölesi olarak bilinen benzersiz bir röle bulunmaktadır. Başlıca işlevi, şebekedeki elektrik kesintilerinden, frekans değişimlerinden veya voltaj dalgalanmalarından kaynaklanabilecek olası olumsuz etkilere karşı koruma sağlamaktır. Bu röle, bir anahtar aracılığıyla sistem ile ağ arasındaki bağlantıyı etkili bir şekilde keser.

1.3.5.4 Kaçak Akım Rölesi

Şekil 1.12'da kaçak akım rölesinin yanı sıra bir güneş panelinin varlığını da görebiliyoruz. Bu röle hem faz hem de nötr hatlardaki akım akışının sürekli olarak izlenmesinde önemli bir rol oynar. Birincil işlevi, akımın, faz ve nötr hatları arasında önceden belirlenmiş eşiği aştığında sistemin ana güç kaynağından bağlantısını kesmektir.



Şekil 1.12. Kaçak akım rölesi.

1.3.6 Transformatör

Güneş enerjisi sistemleri genellikle kazan içerisinde kapalı bir vakum içerisine yerleştirilmiş hermetik tip transformatörleri kullanır. Bu hava geçirmez ortam, transformatörün yağdan, nemden ve oksidasyondan etkilenmemesini sağlar. Ayrıca hermetik transformatörler diğer tiplere göre daha az yer kaplama avantajı sunarak daha kompakt kullanıma olanak tanır. Güneş enerjisi sistemlerinde bu transformatörler, invertörlerden gelen 400 V AC enerjinin, dağıtım şirketinin şebeke bağlantısı için ihtiyaç duyduğu çalışma voltajına (15,8 kV, 31,5 kV, 34,5 kV) uyacak şekilde yükseltilmesinde önemli bir rol oynar. Referans olması açısından, Şekil 1.13'de bir transformatörün açıklayıcı bir tasviri verilmektedir.



Şekil 1.13. Transformatör.

1.3.7 SCADA Panosu

Şekil 1.14'de, SCADA sisteminin temel unsurları olan RTU (Uzak Terminal Birimi) cihazı ve modem için merkezi merkez görevi gören SCADA panelini görebiliriz. RTU cihazı güneş enerjisi sistemlerinden veri toplamakla görevliken, modem ise bu verilerin SCADA sistemlerine kesintisiz olarak iletilmesini sağlamaktadır.



Şekil 1.14. SCADA panosu.

1.4 Güneş Panellerindeki Yangın Riskleri İçin Doğrusal Isı Algılama

Fotovoltaik süreci, güneş panellerinin güneş ışığını elektriğe dönüştürmesini sağlar. Bu paneller, genellikle silikon olmak üzere yarı iletken malzemelerden oluşan çok sayıda güneş pili ile inşa edilmiştir. Bu hücreler güneş ışığına maruz kaldıklarında elektrik akımı üretirler.

Daha sürdürülebilir bir enerji geleceği arayışında, güneş panelleri genellikle hem konut hem de ticari yapıların çatılarına ve ayrıca açık alanlardaki geniş güneş enerjisi çiftliklerine yerleştirilmektedir. Güneşe maruz kalmayı en üst düzeye çıkaracak şekilde stratejik olarak konumlandırılmalarını sağlamak için yerleştirmelerine dikkat edilir. Örneğin kuzey yarımkürede, güneş panelleri optimum verimliliği elde etmek için tipik olarak güneye doğru yönlendirilir. Temiz ve yenilenebilir enerjiden yararlanan güneş panelleri, fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılmasında ve daha yeşil bir geleceğin desteklenmesinde hayati bir rol oynamaktadır.

Elektrikle çalışan cihazların çoğunda olduğu gibi yangın tehlikesi de mevcuttur. Güneş paneli dizisinin yakınında yangın çıkması durumunda, hem güneş panellerine hem de içinde bulundukları yapılara ciddi zarar verebilecek kapasitededir. Bu nedenle güvenilir ve verimli bir yangın algılama sisteminin kurulması zorunludur.

Güneş paneli kurulumları dikkate alınması gereken bir dizi yangın tehlikesiyle birlikte gelir:

- Elektrikli bileşenler zamanla bozulabilir veya arızalanabilir, bu da kısa devreye veya aşırı ısınmaya neden olabilir.
- Güneş panelleri, yıldırım çarpması veya dolu fırtınası gibi çevresel unsurlardan kaynaklanan hasarlara karşı hassas olabilir ve bu da elektrik sorunları olasılığını artırabilir.
- Elektrik arızaları, sıcak yüzeyler, uygunsuz alet kullanımı veya temizleme tekniklerine atfedilebilecek güneş panelleri üzerinde gerçekleştirilen bakım faaliyetlerinden dolayı yangın riski ortaya çıkabilir.
- Kuşların ve diğer küçük canlıların güneş panellerinin altında veya yakınında yuva yapması mümkündür. Bu yuvalar panellerin havalandırılmasını engelleyerek aşırı ısınmaya neden olabilir. Ayrıca telleri çiğneyen hayvanlar da elektrik tehlikesi oluşturabilir.

Güneş panellerini yangın riskinden korumak, ele alınması ve çözülmesi gereken çeşitli zorluklar barındırır. Bu zorluklar şunları kapsamaktadır:

- Duman dedektörleri ve alarmlar için en etkili yerleşimin belirlenmesi söz konusu olduğunda, işleri karmaşık hale getirebileceği için güneş panellerinin yerleşimi dikkate alınmalıdır.

- Güneş panelleri üzerindeki toz, kir veya yoğuşmanın varlığı da yanlış alarmlara katkıda bulunabilir.
- Şiddetli hava koşullarına maruz kalınması nedeniyle zorlu ortamlardaki güneş panelleri için hava koşullarına dayanıklı ve güvenilir bir yangın alarm sistemine sahip olmak çok önemlidir.
- Güneş panelleri arasındaki yangın alarm sistemi bileşenlerinin rutin bakımı ve denetimi için yeterli erişimin sağlanması lojistik zorluklara neden olabilir.
- Panellerin altından ilerleyebilen alevlerin sergilediği farklı yayılma modelleri nedeniyle güneş paneli kurulumlarındaki yangınları tespit etmek zor olabilir.

FyreLine EN54 Sabit Doğrusal Isı Algılama sistemi: FyreLine EN54 Sabit Doğrusal Isı Algılama sistemi, güneş paneli kurulumları için ideal bir yangın algılama çözümü sunabilir. FyreLine EN54 Fixed, Eurofyre tarafından geliştirilmiş olup, sıfırlanamayan hat tipi ısı dedektörleri için Avrupa standardı BS EN 54-28:2016'ya uygundur. Bu doğrusal ısı algılama sistemi, güneş paneli kurulumları da dahil olmak üzere çeşitli uygulamalar için özel olarak tasarlanmıştır. FyreLine EN54 Fixed, sıcaklıktaki artışı algılamak için bir ısı algılama kablosu kullanır ve kabloda aşırı ısınma olayının meydana geldiği noktayı doğru bir şekilde belirleyebilir. Bu özellik, yangınların zamanında ve güvenli bir şekilde araştırılmasını sağlar. Kablo, aşınma, UV ve tehlikeli kimyasallar gibi çevresel faktörlerden korunmak üzere çeşitli dış kılıflarla donatılmıştır, bu da FyreLine EN54 Sabit Isı Algılama Kablosunun çeşitli hava koşullarına dayanıklı olmasını sağlar. Ayrıca, bu sistem toz ve kirden etkilenmez. FyreLine EN54 Sabit, her biri 1.000 metreye kadar uzanan iki bölgeyi destekler ve geleneksel veya adreslenebilir yangın alarm kontrol panellerine sorunsuz bir şekilde bağlanabilir. Bu özellikler, FyreLine EN54 Sabit Doğrusal Isı Algılama sistemini çeşitli endüstriyel ve ticari uygulamalarda güvenilir bir yangın güvenlik çözümü haline getirir.



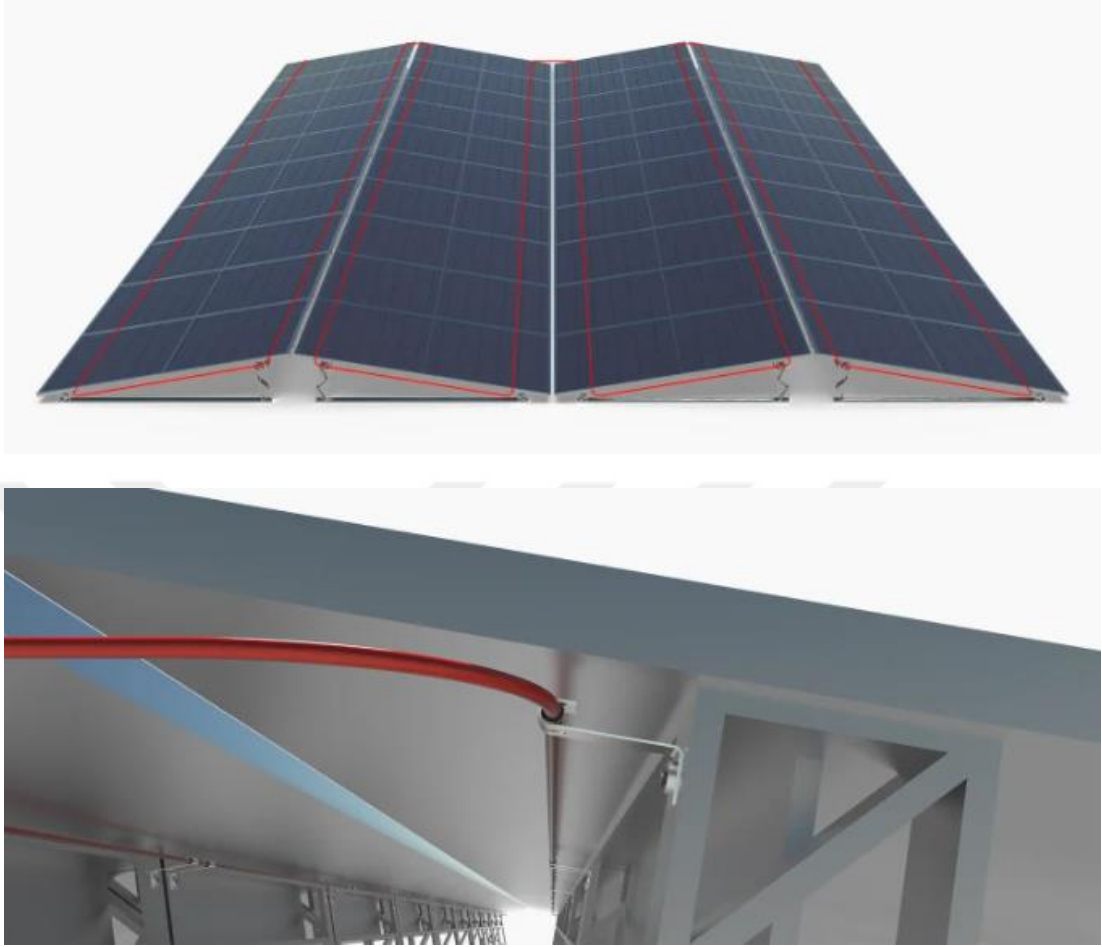
Şekil 1.15. FyreLine EN54 [28].

FyreLine EN54 ısı algılama kablosu, güvenilir ve doğru ısı tespiti sağlamak için güneş panellerinin etrafına yerleştirilebilirken, kontrol cihazları santralin binasının iç ve güvenli bir bölümüne yerleştirilebilir.

FyreLine EN54 Sabit Kontrolör Yerleşimi: FyreLine Kontrol Üniteleri, güvenli ve emniyetli bir şekilde saklanabilecekleri iç mekanlara monte edilmek üzere tasarlanmıştır. Bu tasarım yaklaşımı, yalnızca ünitelerin güvenliğini sağlamakla kalmaz, aynı zamanda düzenli bakım ve kontroller için kolay erişim imkanı da sunar. İç mekan montajı, kontrol ünitelerinin çevresel faktörlerden korunmasına katkıda bulunurken, uzun vadeli operasyonel güvenilirliklerini artırır. Bakım işlemlerinin hızlı ve etkin bir şekilde gerçekleştirilebilmesi, yangın algılama sisteminin genel performansını optimize eder ve olası arıza sürelerini en aza indirir. Bu özellikler, FyreLine Kontrol Ünitelerinin endüstriyel ve ticari uygulamalarda kullanımını ideal kılmakta, kullanıcıların yangın güvenlik sistemlerinin verimliliğini ve güvenilirliğini maksimize etmelerine olanak tanımaktadır.

FyreLine EN54 Sabit Doğrusal Isı Algılama Kablosu Yerleşimi: FyreLine Doğrusal Isı Algılama Kablosu, güneş paneli kurulumlarında güvenilir yangın algılama sağlamak amacıyla dikkatlice yerleştirilmelidir. Özellikle, kablonun, güneş panelinin metal çerçevesinin en yüksek uzunlamasına destek çubuğu boyunca monte edilmesi gerekmektedir. Bu yerleştirme stratejisi, kablonun optimum konumda bulunmasını sağlayarak, olası aşırı ısınma noktalarını hızlı ve doğru bir şekilde algılamasına olanak tanır. Böylece, güneş paneli sistemlerinin yangın güvenliği artırılmış olur. Kablonun bu şekilde monte edilmesi, sistemin genel performansını ve güvenilirliğini artırırken, yangın risklerini minimize eder ve erken uyarı mekanizmalarının etkinliğini

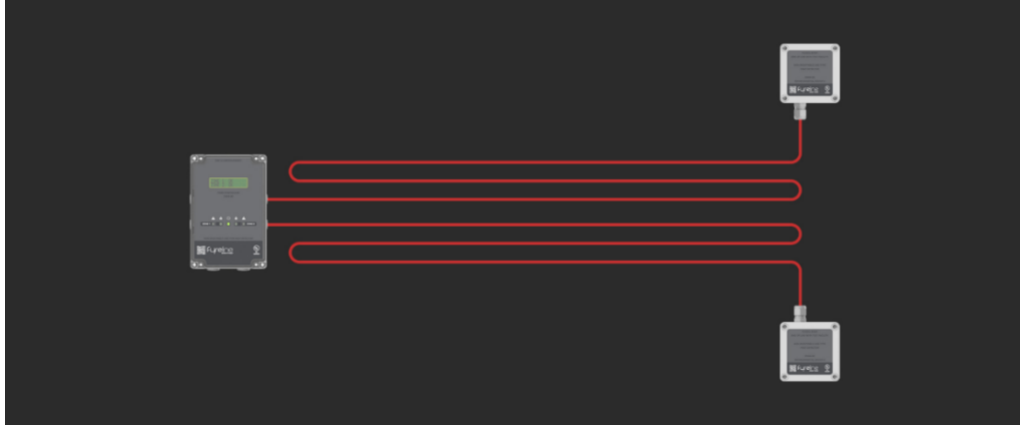
maksimize eder. Bu kurulum yöntemi, aynı zamanda bakım ve denetim süreçlerini de kolaylaştırarak, uzun vadeli sürdürülebilirlik ve güvenlik sağlar.



Şekil 1.16. FyreLine EN54 ısı algılama kablolarının yerleşimi [28].

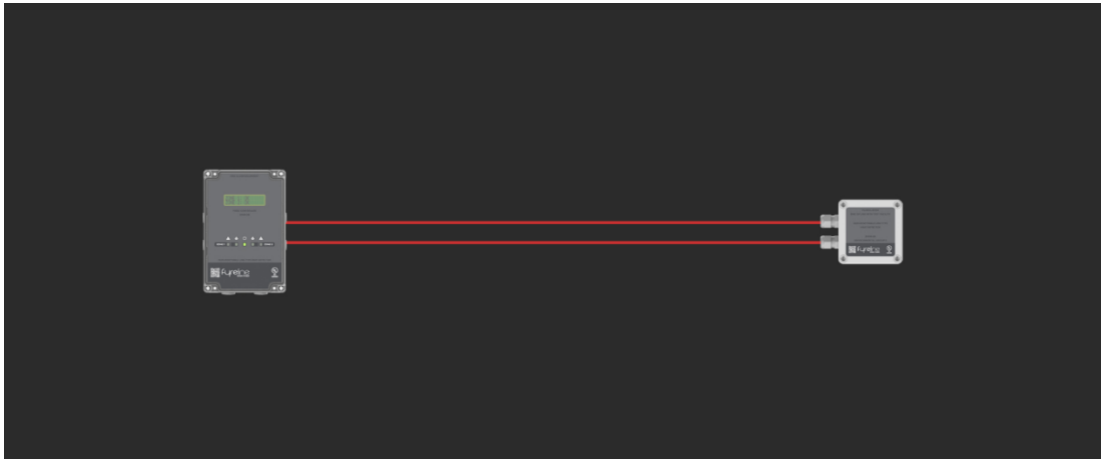
Bağımsız ve Kilitli/Tesadüf Algılama: Kilitleme Modu, aynı zamanda tesadüf algılama olarak da bilinen bir işlevdir ve bu mod, bir alarmın yalnızca gerçek bir aşırı ısınma durumu algılandığında tetiklenmesini sağlar. Bu modu etkinleştirmek için, her iki bölgeye de aynı sıcaklık derecesine sahip iki Sabit LHD (Doğrusal Isı Algılama) kablosu kurulmalıdır. Kilitleme Modu'nda, alarm çıkışı yalnızca her iki LHD kablosu da aşırı ısınma durumu nedeniyle alarmı tetiklediğinde etkinleştirilir. Bu yaklaşım, mekanik arızalar veya diğer sorunların algılama kablolarından birinin yanlış alarm vermesine neden olabileceği durumları önler. Böylece, yalnızca gerçek ve tehlikeli aşırı ısınma olayları algılandığında alarm sistemi devreye girer. Bu yöntem, yangın algılama sistemlerinin güvenilirliğini artırırken, yanlış alarmların neden olabileceği operasyonel kesintileri ve gereksiz müdahaleleri en aza indirir. Kilitleme Modu,

özellikle endüstriyel ve ticari tesislerde yangın güvenliğini optimize etmek amacıyla tasarlanmış ileri düzey bir koruma mekanizmasıdır.



Şekil 1.17. Kilitleme modu [28].

Bağımsız mod, bir yangın algılama sisteminde kullanılan bir işlemdir ve iki farklı bölgenin tamamen bağımsız olarak çalıştığı bir modu ifade eder. Bu modda, her bir bölge, kendi Sabit LHD (Doğrusal Isı Algılama) kablolarına sahiptir ve herhangi bir arıza veya aşırı ısınma durumu meydana geldiğinde, ilgili bölgeye ait arıza veya alarm çıkışı tetiklenir. Bağımsız mod, her bölgenin kendi başına çalışmasını sağlar ve böylece herhangi bir bölgedeki potansiyel bir yangın veya aşırı ısınma durumu diğer bölgeleri etkilemez. Bu mod, her bölgenin aynı anma sıcaklığına sahip LHD kablolarını kullanabileceği gibi, farklı anma sıcaklıklarına sahip LHD kablolarını da içerebilir. Bu esneklik, yangın algılama sisteminin özelleştirilmesine ve belirli uygulama gereksinimlerine uygun olarak yapılandırılmasına imkan tanır. Bağımsız mod, özellikle kompleks veya geniş alanlı tesislerde yangın güvenliği yönetimini optimize etmek için kullanılan önemli bir seçenektir.



Şekil 1.18. Bağımsız mod [28].

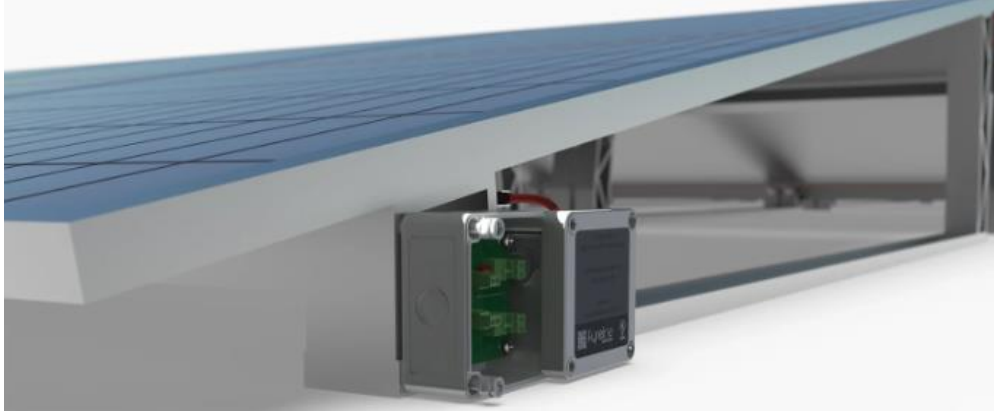
FyreLine Doğrusal Isı Algılama Montaj Klipsleri: Dedektörleri güvenli bir şekilde destek çubuklarına ve çerçeve sistemlerine monte etmek için çelik montaj klipsleri kullanmak önemli bir gerekliliktir. Özellikle, J-Klipsler düz montaj yüzeylerinde kullanılarak, kablonun klipse güvenli bir şekilde monte edilmesini sağlamak için bir kablo bağı düzenlemesi sunar. Bu klipsler, dedektörlerin sağlam bir şekilde sabitlenmesini ve montaj yerinde istikrarlı bir tutuş sağlamasını temin eder. Bu düzenleme, dedektörlerin güvenilir bir şekilde konumlandırılmasını ve operasyonel etkinliğini artırırken, aynı zamanda montaj sürecini de kolaylaştırır. Klipslerin çelikten yapılmış olması, dayanıklılık ve uzun ömürlülük sağlar, böylece dedektörlerin montajı ve kullanımı boyunca güvenilir performans sunar. Bu montaj yöntemi, özellikle endüstriyel ortamlarda ve yangın güvenlik sistemlerindeki profesyonel kurulumlarda tercih edilen standart bir uygulamadır.



Şekil 1.19. Montaj klipsleri [28].

Harici Fonksiyonel Alarm ve Arıza Testi: FyreLine EN54 Sabit Hat Sonu, güneş paneli kurulumlarında kullanılan doğrusal ısı algılama sistemlerinde kritik bir bileşendir. Bu hat sonu, her bir kablo çalışmasını sonlandırmak için ideal bir çözümdür ve güneş panelini destekleyen çerçeveye kolayca monte edilebilir. Sistemin yerinde tam olarak test edilmesine olanak sağlamak amacıyla, hat sonunda arıza veya alarm koşullarını simüle etmek için yerleşik anahtarlar bulunmaktadır. Bu anahtarlar, montaj sürecinde ve sistemin işletilmesi sırasında alarm durumlarının doğru şekilde algılanıp işlenebilmesini sağlar. Hat sonu, güneş paneli kurulumlarının yangın güvenliği açısından kritik öneme sahip olan doğrusal ısı algılama sistemlerinin güvenilir çalışmasını destekler. Ayrıca, montajın kolaylığı ve test edilebilirliği, kurulum

sürecinin verimliliğini artırır ve sistem performansının uzun vadeli güvenilirliğini sağlar.



Şekil 1.20. FyreLine EN54 sabit hat sonu [28].

1.5 Güneş Enerji Sistemleri Avantajları

- Hijyeniktir, çevre dostudur, atık üretmez,
- CO2 artışından dolayı sera gazlarına veya küresel sıcaklığa etkisi yoktur.
- Çok yönlü ve taşınabilir. Gerektiğinde sistemde değişiklik yapılabilir.
- Son kullanıcıyı yakın konumlandırıldıkları için elektrik enerjisinin iletim ve dağıtım gereksinimleri azalır ve yerel elektrik enerjisi güvenilirliği artar.
- İşletme ve bakım masrafları diğer sistemlere göre çok düşüktür.
- Tüm disiplinlerde, özellikle de aydınlatma ve iletişim açısından faydalıdır.
- Fotovoltaik sistemlerin ortalama ömrü 25 yıldır.

1.6 Türkiye’de Güneş Enerjisi

Türkiye, coğrafi konumunun sunduğu avantajlar sayesinde güneş enerjisi alanında önemli bir potansiyele sahiptir. Ülkenin yıllık güneşli saat süresi yaklaşık 2.738 saat olup, bu süre günde ortalama 7,5 saat güneş ışığına denk gelmektedir. Bu, Türkiye’nin Almanya gibi ülkelerden %60 daha fazla güneşlenme süresine sahip olduğunu gösterir. Yapılan araştırmalara göre, Türkiye’nin toplam güneş enerjisi potansiyeli 500.000 MW olarak tahmin edilmektedir. Bu durum, güneş enerjisinin Türkiye’de en umut verici yenilenebilir enerji kaynağı olduğunu ortaya koyar.

2021 yılı Kasım ayı itibarıyla, Türkiye’nin güneş enerjisi kurulu gücü yaklaşık 8 GW seviyesine ulaşmıştır. Ancak bu rakam, toplam kurulu güç içindeki payı açısından

diğer ülkelerle kıyaslandığında geride kalmaktadır. Örneğin, Türkiye'deki kurulu güç, G20 ülkeleri ve dünya genelindeki birçok ülkeyle kıyaslandığında düşük kalmış, ancak 2015'ten sonra yapılan yatırımlarla bu fark azalmaya başlamıştır.

Türkiye, 2015 yılı sonunda 0,4 GW olan lisanssız güneş enerjisi kurulu gücünü 2021 yılı Ekim ayı itibarıyla 7,4 GW seviyesine çıkarmıştır. Lisanssız santrallerin kurulu gücü içerisindeki payın %92'sini güneş enerjisi santralleri (GES) oluşturmaktadır. Bu artış, şu faktörlere dayandırılabilir:

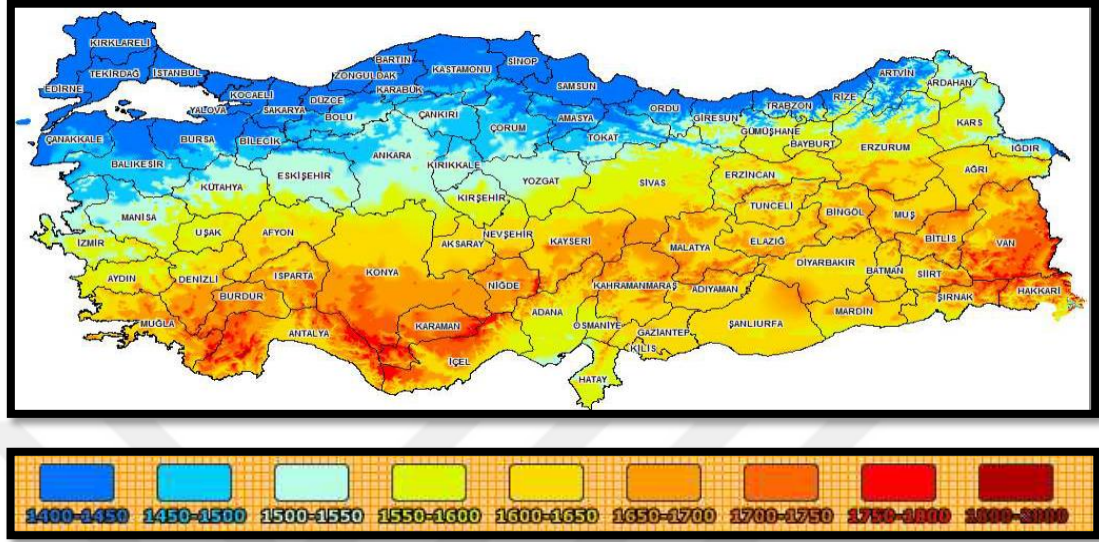
1. 2019 yılına kadar lisanssız GES'lerin Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması (YEKDEM) alım garantilerinden yararlanabilmesi,
2. Santral büyüklüğü ile verimlilik arasında doğrudan bir ilişki olmaması,
3. Panel ve santral işletme maliyetlerinin düşmesi,
4. Türkiye'nin yüksek güneş enerjisi potansiyeli,
5. GES'lerin diğer teknolojilere göre operasyonel avantajları.

G20 ülkeleri arasında kişi başına düşen güneş enerjisi üretim seviyesinde Türkiye, onuncu sırada yer alırken, ışıınım potansiyeli bakımından birçok gelişmiş ülkenin üzerindedir. Küresel Yatay Işıınım (KYI) değerleri incelendiğinde, Türkiye'nin 36° ve 42° Kuzey enlemleri arasında yer alması, ABD, Çin ve Avrupa'daki birçok ülkeden daha fazla güneş ışıınımı aldığını göstermektedir. Türkiye, bu potansiyeli daha etkin kullanarak yenilenebilir enerji dönüşümünü hızlandırabilir.

Lisanslı güneş enerjisi santralleri açısından bakıldığında, 2021 yılı Kasım ayı itibarıyla toplam 901 MW'lık lisanslı kurulu güç bulunmaktadır ve bu, toplam güneş enerjisi kapasitesinin %12'sini oluşturmaktadır. Karapınar YEKA-1 GES, 2020'de faaliyete başlamış olup 439 MW'lık kurulu gücü ile dikkat çekmektedir. Diğer öne çıkan santraller arasında Van'daki Arısu GES (40,6 MW) ve Mersin'deki Kıvanç-2 GES (35 MW) yer almaktadır.

Uluslararası kabul görmüş bir model olan "ESRI Güneş Radyasyon Modeli"nden elde edilen güneş kaynağı bilgileri kullanılarak, ön fizibilite çalışmaları yapılabilmekte, güneş kaynak alanları kolaylıkla görselleştirilebilmekte, zamandan ve ekonomiden tasarruf sağlanabilmektedir. Türkiye'nin ESRI güneş ışıınım modeli genel olarak 500 x 500 metre çözünürlükte çalışmaktadır. 3.120.000 şebeke oluşturulmakta, her şebekenin güneş enerjisi kaynağı hesaplanmakta ve bilgiler coğrafi bilgi sistemi (GBS)

teknolojisi kullanılarak yansıtılmaktadır. GEPA'ya hazırlık aşamasında nokta nokta bilgi üretilir (500 m'ye doğrulanmış ve kalibre edilmiştir) GEPA 2010 yılında basılmış ve satışa sunulmuştur.



Şekil 1.21. Türkiye güneş enerji potansiyel atlası.

1.7 Güneş Enerjisi Santrallerinde Yangın Güvenliği

Birçok proje uygulamasında risk değerlendirme analizi yapılmaktadır. Bu analizlerin amacı, projenin uygulanması sırasında oluşabilecek risklerin olası olumsuz etkilerini önceden belirlemektir. Belirlenen riskler nedeniyle yatırım projesinin maliyetinin belirlenen düzeyde kalması sağlanır. Ayrıca risk değerlendirmeleri yapılarak iş sağlığı ve güvenliğine ilişkin güvenlik önlemlerinin alınması sağlanmakta ve güvenlik önlemlerinin güvenilirliği değerlendirilmektedir.

Güneş enerjisi santrallerinin yerleştirilmesinde risk değerlendirmesi çok önemlidir. Çünkü kurulum sürecinde öngörülemeyen birden fazla bileşen vardır. Risk değerlendirme analizinin güvenilirliği, tesislerin zamanında tamamlanmasını ve çalışanların sağlıklı bir ortamda çalışmasını sağlar. Risk değerlendirme süreci, uluslararası ve ulusal kökenli standart ve kurallara uygun olmalıdır.

Güneş enerjisi santrallerinin risk değerlendirmesi temel olarak dört aşamadan oluşmaktadır. Bunlar enerji santrallerinin planlanması, kurulması, işletilmesi ve bakımının yapılması süreçleridir. Planlama aşamasında güneş enerjisi santraline ilişkin güneş panelleri ve invertörler seçilerek hesaplamaları yapılır. Sistemin bileşenlerinin standartlara uygun bir şekilde seçimi önem arz etmektedir.

Güneş enerjisiyle çalışan bir sistemin invertörle uyumlu olmaması durumunda, santral işletilmesi sırasında, yangın riskini tetikleyebilecek aksaklıklarla karşılaşılabilir. Bir diğer endişe ise, santralin işletme sırasında gerekli voltaj ve akımı sağlayamaması nedeniyle yeterli miktarda elektrik üretememesidir. Bu nedenle bir enerji santralinin bir bütünlük içinde tasarımı büyük önem taşımaktadır.

Güneş paneli ve invertör hesaplamaları arazinin hava koşullarından etkilendiğinden, santral tasarımında arazinin konumu ve hava koşulları dikkate alınmalıdır. Pano tasarımında ise kullanılacak tüm kabloların kesitleri ile devre kesicilerin ve sigortaların teknik özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Son olarak yetkili devlet kurumundan santralin kurulumu için gerekli izinleri alınmalıdır. Kurulum süreci, planlama aşamasında kurulum için gerekli bilgilerin belirlenmesini içerir. Bu bilgiler, kullanılan farklı güneş paneli ve invertör türlerini, bağlantı kablolarını, topraklama çubuklarını, yıldırımdan korunma tesislerini ve diğer ilgili bilgileri içerir. Bir güneş enerjisi santralinin kurulum süreci yukarıda belirtilen hususlara göre başlatılmalıdır. Santral kurulumunun planlama aşamasında tespit edilen tehditlere karşı önleyici tedbirler alınmalıdır. Belirtilen hususlar dikkate alınarak tesisin kurulumu tamamlanmalı ve tesis devreye alma aşamasına getirilmelidir.

Güneş enerjisi santrali, test ve benzeri gerekli prosedürler tamamlanmadan devreye alınmamalıdır. Topraklama, yıldırımdan korunma, kaçak akım gibi hususların yangın güvenliği açısından son derece önem arz ettiği de göz ardı edilmemelidir. Test sonuçlarının raporlanmasının ardından santralin devreye alınmasını denetlemek üzere mühendisler görevlendirilmelidir. Tüm kontroller yetkili mühendislerce yapıldıktan sonra elektrik santrali devreye alınmalı ve ürettiği enerji şebekeye verilmelidir.

İş sağlığı ve güvenliği risk analizlerinin önemli olduğu alanların başlıcaları santralin kurulumu, devreye alınması ve işletilmesidir. Santralin kurulumu, ilk aşamada güneş panellerinin kurulumuyla başlar. Sistemde kaçak akımların meydana gelmesi halinde sistemin çalışması esnasında aşırı gerilim ve akımlarla karşılaşılabilir. 50mA'i aşan akımlar, alternatif akım için 50V ve doğru akım için ise 120V üzerindeki gerilimler, insan vücudu için tehlikelidir. Bu kazaların ölümle sonuçlanma ihtimali oldukça yüksektir.

Santralin işletilmesi ve denetimine ilişkin datalar uzaktan izleme sistemleriyle izlenmeli ve gerekmesi halinde aksak ya da arızalı bileşenlere acilen müdahale

edilmeli ve santralin yıllık bakımı/onarımı düzenli olarak yapılmalıdır. Bakımlarda güneş panelinin üst kısmı toz ve kirden temizlenir. Zira toz ve kir yangın riskini artıran önemli bir faktördür. Güneş panellerinin temizliği sırasında güvenlik hususları büyük önem taşımaktadır. Enerji santrallerinin bakımı sırasında çalışanlar hayati risk oluşturabilecek gerilim ve akıma maruz kalabilmektedir. İlk tedbir, santralin elektrik şebekesinden, güneş panellerinden ve invertörlerden bağlantısını kesmektir. Bu işlem, bakım yapan personelinin güvenliğini sağlamada, ve bakım/kontrol süreçlerinin güvenli bir şekilde tamamlanmasında önemli bir prosedürdür.

Güneş enerjisi santralleri, uluslararası kuruluşlar tarafından hazırlanan kontrol noktaları ve risk değerlendirme listeleri dikkate alınarak projelendirilmeli ve inşa edilmelidir. Bu standartlarda belirtilen kontrol listelerinin öneminin anlaşılması ve birincil tehlikelerin tanımlanması yangın güvenliği açısından önem arz etmektedir. Böylece, yangın riski tehlikeleri kolayca fark edilebilir ve gerekirse bunlara müdahale edilebilir. Risk değerlendirme tabloları, tehlikelerden kaynaklanabilecek risklerin sayısal bir tanımını sağlar. Riskin sayısal değerinin yüksek olması durumunda sayısal değer düşürülmesine yönelik aksiyonlar alınır ve risk değeri azaltılır. Kontrol Listesini hazırlayan uluslararası kuruluşlar Amerika'daki Underwriter Laboratories (UL) ve Avrupa'daki Uluslararası Elektromekanik Komisyon'dur (IEC).

Underwriter Laboratories'in hazırladığı birçok konuda standartlar ve kontrol listeleri bulunmaktadır. Güneş enerjisi santrallerine yönelik kontrol listeleri yayınlanmıştır. Yayınlanmış standartlar ve kontrol listeleri aracılığıyla risk yönetimi hakkında bilgi sağlar.

UL tarafından yayınlanan kontrol listesi 3 temel aşamaya ayrılmıştır: proje planlama ve tasarım, kurulum ve bakım. Tasarım aşamasında ilk adım fizibilite çalışmasının yapılması ve gerekli lisansların alınmasıdır. Yıllık güneş ışığı, sıcaklık, yağış, kar ve sismik aktivite miktarı tesisin konumuna bağlıdır. Bu, parametrelerin kontrol edilmesini içeren bir enerji santralinin kurulumuna yönelik bir ön çalışmadır. Kurulum sırasında uygulanacak prosedürler, mesleki güvenlik ve sağlık kaygıları dikkate alınarak önceden planlanmakta, bu sayede santralin kurulumu sırasında kazaların önüne geçilmektedir. Kurulum aşamasında öncelikle proje yönetim süreci başlatılır. Proje yönetiminde öncelikle çalışanların ne yapması gerektiği önceden belirlenerek tesisin kurulumu planlanır. Çalışanların görev ve sorumlulukları önceden belirlendiği için kaza ve yangın olasılığı azalır. Kurulum sırasında gerçekleştirilen görevler

raporlanır. İş sırasında meydana gelen kazaların raporlanması, projelerin tamamlanması vb. durumlar belgelenir ve tesisin kurulumu tamamlanır. Son aşama ise santralin işletmesi ve bakımındır. Bu noktada santral faaliyetlerinin takibi ve raporlanması gerçekleşir. Uzaktan santral izleme sistemi sayesinde elektrik üretimi, saatlik, günlük ve aylık olarak değerlendirilebilmekte, üretimin kesilmesi-düşmesi durumunda uyarı verilmekte ve acil müdahale yapılabilmektedir. Bu bilgi, bir sorun tespit edilip edilmediğini, tesisteki üretim kapasitesinin ve alınan önlemlerin etkinliğini belirler. Böylece tesisin işletimi sırasında önceden planlanmış tehlikelere karşı uygulanan prosedürlerin güvenliği değerlendirilebilir.

Avrupa Birliği'nin Uluslararası Elektromekanik Komisyonu (IEC), birçok disiplinde standartlar ve kontrol listeleri yayınlamaktadır. Avrupa çapında güneş enerjisi santrallerinde risk analizi yapmak için kapsamlı bir kontrol listesi geliştirilmektedir. Risk analizi kontrol listesi kapsamlıdır ve güvenlik, finans, güvenilirlik, müşteri ve tedarikçi ilişkileri, kurulum sırasındaki organizasyon, personel dağılımı ve çevresel faktörleri içerir. Kurulum sürecindeki organizasyon, personel dağılımı ve çevresel faktörler, İş sağlığı ve güvenliğinin önemli unsurlarındandır.

Güneş enerjisi santralının kurulumu, devreye alınması ve enerjinin satışına kadar pek çok risk vardır. Bu riskler arasında ürün testi ve sertifikasyonu, arazi analizi ve güneş enerjisi, planlama kontrolleri, kurulum denetimleri, verimlilik kontrolleri, performans yönetimi ve tekrarlanan denetimler yer almaktadır. Ürün testi ve sertifikasyonunda sertifikasız malzemeler kullanıldığında, tesisin kurulumu ve işletilmesi sırasında çalışanların yaralanma potansiyeli yüksektir. Bu nedenle sertifikalı malzeme kullanımına öncelik verilmelidir. Ayrıca sertifikasız ürünler test edilmediğinden tesisin devreye alınması sırasında gerek çalışanlarda yaralanma olayları ve gerekse yangın vakaları meydana gelebilmektedir. Arazinin, güneş enerjisi santraline uygun olmaması durumunda, olası aşırı yağış olaylarında sel riskinin ortaya çıkabileceği, yağış nedeniyle çalışanların zarar görebileceği dikkate alınmalıdır.

GEPA haritası dikkate alınmadan herhangi bir güneş enerjisi santrali kurmak, ön görülen elektriği üretememek anlamına gelir. Santralin kurulumu sırasında yapılması gereken işlemler, planlama, kontrol ve tesisat denetimi bölümünde belirlenir. Yanlış proses planlamasından dolayı ekipmanlar hatalı kurulabilir ve kurulum denetimleri sırasında birçok hata meydana gelebilir. Sonuç olarak santral çalışanlarının denetimler sırasında tehlikelerle karşılaşma riski yüksek olabilir. Bu nedenle denetimlerin sık

yapılması, çalışanların zarar görme ihtimalini de azaltacaktır. Performans yönetimi kısmında ise santralin güç çıkışı ile ilgili uzaktan izleme sistemi sayesinde üretim miktarı gözlemlenmekte ve sistemde herhangi bir arıza olması durumunda acil müdahale yapılmaktadır. Böylece sistemde oluşabilecek yangın riskleri de önlenmiş olacaktır.

1.8 Güneş Enerjisi Santrallerinde Oluşabilecek Yangın Risklerinin İncelenmesi

Fotovoltaik santralde yangın meydana geldiğinde, yangın mahalline gelen itfaiye ekibinin öncelikle sistemi yardımcı ekipmandan (güç ünitesi) ayırması gerekir. Ancak fotovoltaik bir sistemde invertör, güneş ışığı olduğu sürece, hatta geceleri güçlü ışık altında bile güneş panelleri enerji üretmeye devam edecektir. Bu nedenle itfaiyenin yangınları söndürürken elektrik çarpmasından kaçınmak için ekstra dikkatli olması gerekir.

Solar panellerinde plastik kullanımı sınırlı olsa da yanıcı plastik ekipmanlar ağırlıklı olarak sistem kabloları ve kutuları gibi ekipmanlarda kullanılmaktadır. Bu nedenle sistemlerde kullanılan malzemelerin güvenliğinin sağlanması amacıyla yangına dayanıklılık konusunda uluslararası standartlar geliştirilmiştir. Sistem tasarımı Avrupa'da IEC 61730'a ve Kuzey Amerika'da ANSI/UL 1703 test performansı ölçümlerine dayanmaktadır. Factory Mutual (FM), güneş panellerine yönelik ASTM E-108'i temel alan esnek fotovoltaikler için 4476 ve sabit fotovoltaikler için 4478 onay standartlarını geliştirmiştir.

Bu nedenle sistem tasarımında tamamen yanmaz malzeme kullanmak mümkün olmasa bile riskleri en aza indirmek için uluslararası standartlara uygun ekipman seçilmesi gerekmektedir.

1.9 Güneş Enerjisi Santrallerinde Yangın Sebepleri

Fotovoltaik sistemlerde çıkan yangınların en önemli nedeni elektrik arızalarıdır. Bunlardan en önemlileri elektrik çakması dediğimiz arklar, kısa devreler, toprak arızaları ve kaçak akımlardır. Bu durumun yanı sıra kablo izolasyon sorunları, modül çatlakları veya yanlış bağlantılar gibi hatalar yanıcı malzemelerin tutuşmasına neden olabilir.

Bu hasarlara bir örnek, 2009 yılında Almanya'nın Bierstadt kentinde ark nedeniyle meydana gelen fotovoltaik yangındır. Arızalı veya kopmuş bağlantılar elektrik akımı nedeniyle ark haline gelebilir ve konveksiyon yoluyla yayılabilir.

Bu sorun enerji hatlarında önemlidir ve fotovoltaik sistemler açısından en önemli sorunlardan biri olarak kabul edilir; bu sistemlerde yüksek akım ve gerilimler çok önemlidir. DC arkları kendi kendine sönme özelliğine sahip değildir ve yaklaşık 3000 derecelik sıcaklıklara ulaşabilir. Bu sıcaklıkta metal buharlaşacak ve yakındaki yanıcı maddelerin tutuşmasına neden olacaktır. Üç çeşit ark oluşabilmektedir. Bunlar;

Seri Arklar: Bir sistem elektrik akımı ürettiğinde hatalı veya kopmuş konnektörler nedeniyle oluşan arklardır. Bu nedenle fotovoltaik sistemlerin yangına dayanıklı izolasyona sahip olması gerekir.

Paralel Arklar: Bunun nedeni yalıtımın bozulmasıdır. İki kontaktörün farklı kutuplarının DC devreleri arasındaki mesafe çok yakın olduğundan ark oluşmasına neden olabilir. Bu iki kablo arasındaki izolasyon ultraviyole ışıktan, parçalanmadan, çatlamadan, nemden veya hava girişinden olumsuz etkilenebilir.

Topraklama Arkı: Topraklamadaki ark, izolasyon sistemindeki arızadan kaynaklanır.

Bahsi geçen sistem hatalarının önlenmesi için sistem için seçilen malzemelerin kalitesi ve bakımlarının nasıl yapıldığı büyük önem taşımaktadır. Sonuç olarak 80 V'un üzerinde güç üreten PV sistemlerinin DC devreleri NFPA 70'e uyumlu olması durumunda oluşabilecek hasarlar en aza indirilecektir.

Fotovoltaik sistemler sigorta sektörü için yeni bir tehdittir. Fotovoltaik sistemlerde diğer sistemlerden farklı olarak sistemin kurulumunda kullanılan bileşenlerin yetkili ve sertifikalı bir kuruluş tarafından seçilmesi gerekmektedir. Sistemler tasarlanırken dikkate alınması gerekenler;

Panellerde:

- PV modüllerinde IEC 61730 ve/veya ANSI/UL 1703 gibi uluslararası standartlara uygun sistemler kullanılmalıdır.
- Kullanılacak bileşenlerin TÜV Rheinland testlerini başarıyla tamamlamış veya FM'den onay almış olması gerekir.
- Modülün çerçeve ve bağlantı elemanları yanmaz malzemeden yapılmalıdır.
- Uluslararası düzenlemeler, sistemin monte edilebilmesi ve yangın durumunda itfaiyenin müdahale edebilmesi için yeterli boş alan bulunmasını gerektirmektedir.

Kablolar:

- Hava şartlarına ve ultraviyole ışınlara dayanacak kablolar seçilmelidir. Alev geciktiriciliği yüksek ve UV 4703 standartlarına uygun kablolar kullanılmalıdır.
- Deformasyon ve dış ortam koşullarına karşı korumak için kablonun uygun bir muhafaza ile korunması önerilir.

İnvertör:

- İnvertör hava şartlarından korunan bir yere yerleştirilmelidir. Mümkünse invertörün yanıcı olmayan ve onu koruyan yangın algılama sistemi bulunan farklı bir alana taşınması önerilir.

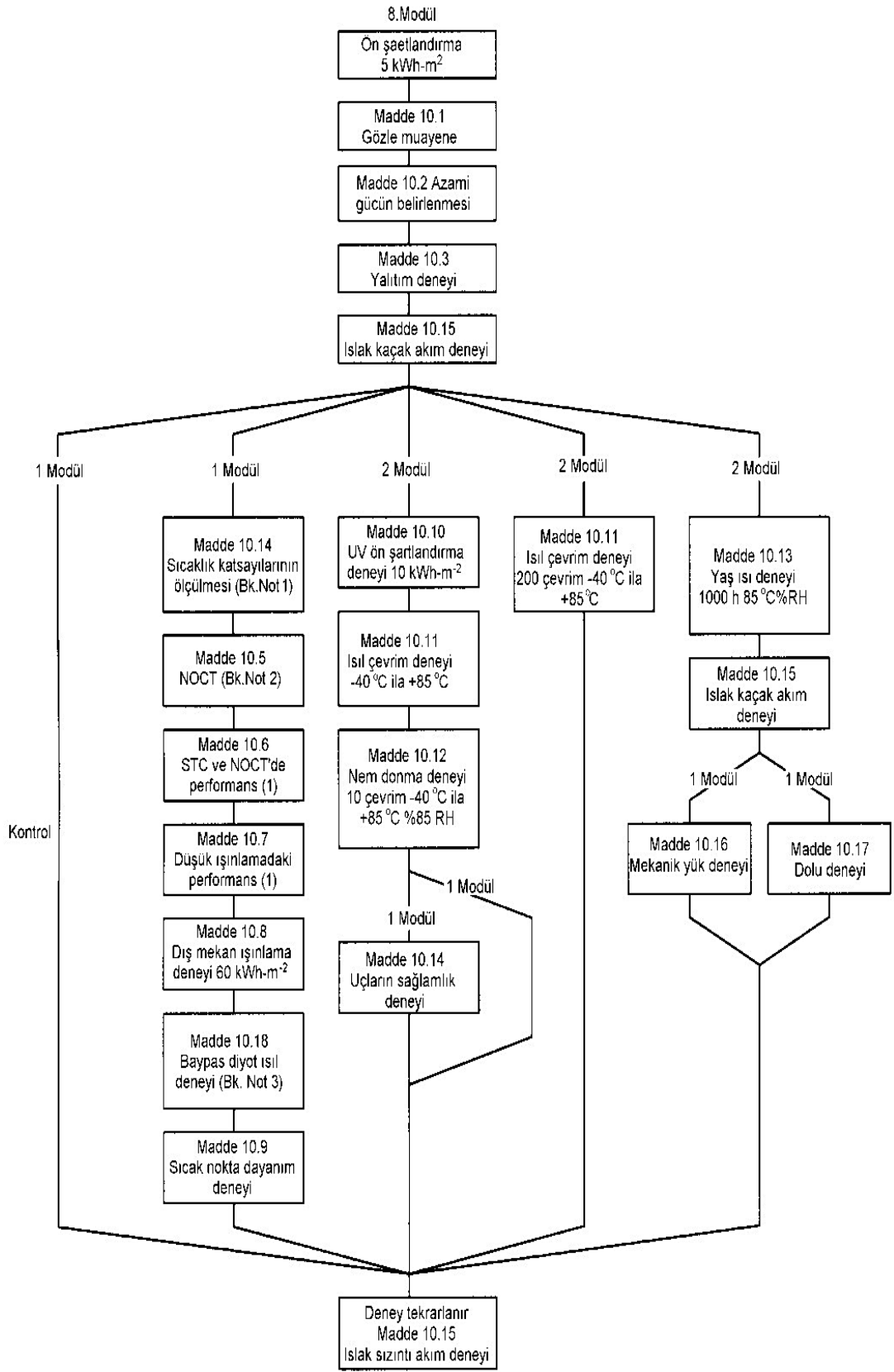
Fotovoltaik sistemlerin bakımları yetkili personeller tarafından düzenli olarak yapılmalıdır. Bu bakım işlemi sırasında termal görüntüleme kamerası yardımıyla kablolarda ,bağlantı elemanlarında, kablo başlıklarında, sigorta kutuplarında v.b elemanlarda aşırı ısınma olup olmadığı kontrol edilmelidir.

BÖLÜM 2

GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNDE STANDARTLAR VE YANGIN RİSKİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

2.1 Güneş Enerji Santrallerinde Standartlar

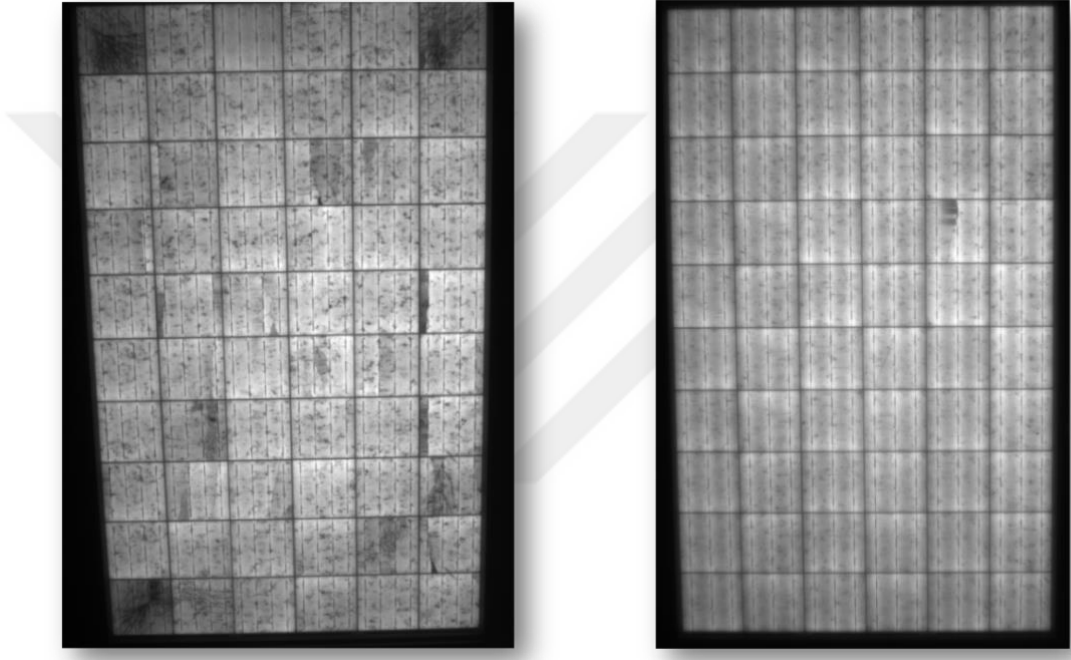
Güneş enerji santralleri, çevresel sürdürülebilirlik ve enerji güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır. Bu santrallerin verimli, güvenli ve uzun ömürlü olabilmesi için belirli standartlara uyulması gerekmektedir. Fotovoltaik (PV) modüllerin performansını, dayanıklılığını ve güvenliğini belirlemek amacıyla uygulanan bu standartlar, güneş enerji santrallerinin genel etkinliğini artırır. Aşağıda, fotovoltaik modüller ve güneş enerji santrallerinde uygulanan standartların detaylı ve akademik bir değerlendirmesi sunulmuştur.



Şekil 2.1. Deney akış planı.

Ön Şartlandırma 5 kWh/m²: Bu aşamada, fotovoltaik modüller belirli bir enerji yoğunluğuna tabi tutulur. 5 kWh/m² enerji yoğunluğu altında modüller test edilerek performans ve dayanıklılık değerlendirilmesi yapılır. Bu test, modüllerin standart çalışma koşullarına hazır olup olmadığını belirlemek için kullanılır.

Madde 10.1: Gözle Muayene: Modüllerin görsel olarak incelenmesi, yüzeydeki kusurların, çatlakların veya herhangi bir fiziksel hasarın tespit edilmesi amacıyla yapılır. Bu, modüllerin üretim kalitesini ve başlangıç durumunu belirlemek için önemlidir.



Şekil 2.2. Gözle görülemeyen mikro kırıkların tespiti amacıyla Elektrolüminans (EL) Test.

Madde 10.2: En Yüksek Güç Tayini (Maximum Power Determination): Fotovoltaik modüllerin maksimum güç çıkışını belirlemek için yapılan bir testtir. Bu test, modüllerin belirli ışık yoğunluğu altında üretebileceği en yüksek elektrik gücünü ölçer.

Çeşitli çevre deneylerinden önce veya sonra modülün azami gücünü;

- 1000 W/m²
- 25 °C

ışığa ve sıcaklıkta belirlemek temel amaçtır.

Madde 10.3: Yalıtım Deneyi: Modüllerin elektrik yalıtım özelliklerini değerlendirmek için yapılan bir testtir. Bu test, yüksek gerilim altında modüllerin güvenliğini ve izolasyon yeteneklerini ölçer.

Modülün akım taşıyan bölümleri ile çerçeve veya dış dünya arasında iyi yalıtılıp yalıtılmadığını belirlemektir.

Bir dakika süreyle azami sistem geriliminin iki katı artı 1000 V d.a. dielektrik dayanımı;

- m²'den daha az alana sahip modüllerin yalıtım direnci 400 MΩ'dan az olmamalıdır.
- m²'den daha fazla alana sahip modüller için 500 V veya azami sistem voltajının hangisi büyükse o voltajda ölçülen yalıtım direncinin modül alanıyla çarpımının değeri 400 MΩ x m²'den'dan az olmamalıdır.

Madde 10.4: Sıcaklık Katsayılarının Ölçülmesi: Kristal teknolojisine sahip monokristal ve polikristal hücrelerin sıcaklık arttıkça güçleri düşer. Düşük sıcaklık katsayısı , sıcaklığın yükseldiği durumlarda enerji kaybını azaltır. Modül istenilen sıcaklığa ulaştığında, ISC, VOC ve tepe gücü ölçülür. Modül sıcaklığı, en az 30°C'lik ilgilenilen aralık üzerinde yaklaşık 5°C'lik adımlarla değiştirilir ve ISC, VOC ve tepe gücü ölçümleri tekrarlanır.



Resim 2.1. Ölçüm işlemi.

Madde 10.5: NOCT (Hücrenin Anma Çalışma Sıcaklığı Ölçümü): Bu test, modüllerin nominal çalışma hücre sıcaklığını belirler. NOCT değeri, modülün standart çalışma koşullarında ulaştığı sıcaklığı ifade eder.

NOCT, aşağıdaki standart referans çevrede açık kızakla monte edilen modül içinde dengelenmiş ortalama güneş hücre eklem sıcaklığı olarak tanımlanır.

- Meyil açısı: yataydan 45°
- Toplam ışınlama: 800 W/m²
- Ortam sıcaklığı: 20°C
- Rüzgar hızı: 1 m/s
- Elektriksel yük: yok (açık devre).

Madde 10.6: Standard Deney Şartları ve Normal İşlem Hücre Sıcaklığında Performans: Standart Test Koşulları (STC) ve Nominal Çalışma Hücre Sıcaklığı (NOCT) altında modüllerin performansını değerlendiren bir testtir. Bu, modüllerin gerçek dünya koşullarındaki verimliliğini belirlemek için kullanılır.

Madde 10.7: Düşük Işımada Performans: Modüllerin düşük ışık koşullarındaki performansını değerlendiren bir testtir. Bu test, modüllerin bulutlu veya güneşin az olduğu günlerde ne kadar verimli çalıştığını belirler.

Modülün elektriksel performansı; 25°C sıcaklıkta 200 W/m² ışınlamada ölçülür.

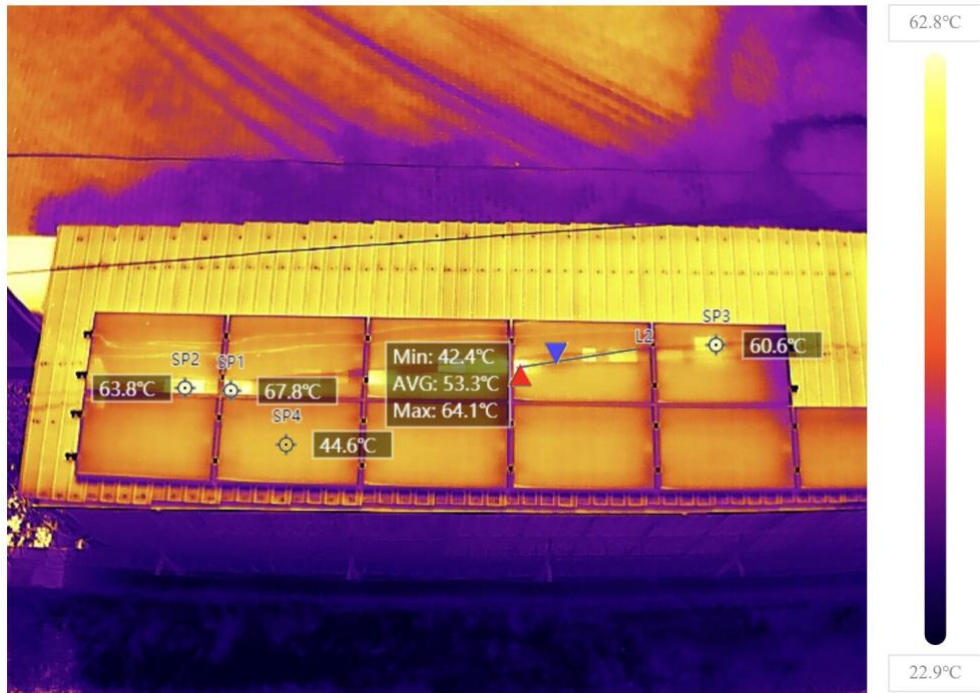
Madde 10.8: Açık Havada Bırakma Deneyi: Bu test, modüllerin dış mekanda belirli bir enerji yoğunluğu altında nasıl performans gösterdiğini ölçer. 60 kWh/m² ışık yoğunluğu altında modüllerin dayanıklılığı ve verimliliği değerlendirilir.



Resim 2.2. 60 kWh/m² ışınlamaya maruz bırakılan paneller

Madde 10.9: Sıcak Leke Dayanımı Deneyi: Modüllerin sıcak noktalara karşı dayanıklılığını değerlendiren bir testtir. Bu test, modüllerin belirli bölgelerinin aşırı ısınma durumunda nasıl performans gösterdiğini ve güvenliğini belirler.

- Gözle görülebilir büyük kusurlar olmamalıdır.
- Azami çıkış gücünde azalım, deneyden önce ölçülen değerin %5'ini geçmemelidir.
- Yalıtım direnci başlangıç ölçümlerini karşılamalıdır.



Şekil 2.3. Sıcak leke dayanımı deneyi.

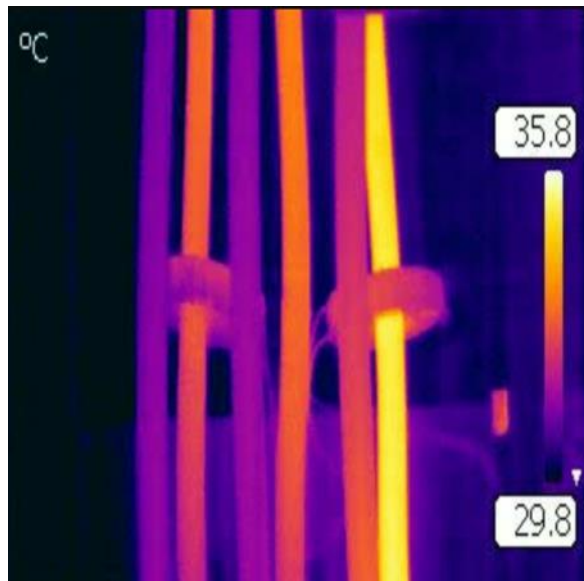
Madde 10.10: UV Ön Şartlandırma Deneyi: Modüllerin UV ışınlarına karşı dayanıklılığını ölçen bir testtir. Modülün sıcaklığı, UV ışığı ile ısınladığı sırada 60°C $\pm$ 5 °C’de 280 nm ve 385 nm arasında dalga boyu aralığında, toplam 15 kWh/m²’lik, dalga boyu bandı ile UV ışımaya maruz bırakılır.

Madde 10.11: Isıl Çevrim Deneyi: Bu test, modüllerin geniş bir sıcaklık aralığında nasıl performans gösterdiğini değerlendirir. -40°C ile +85°C arasında yapılan çevrimlerle modüllerin termal dayanıklılığı ölçülür.

Madde 10.12: Nem Donma Deneyi: Modüllerin nem ve donma koşullarına karşı dayanıklılığını ölçen bir testtir. 10 çevrim boyunca -40°C ila +85°C sıcaklık ve %85 nem oranı altında modüllerin performansı değerlendirilir.

Madde 10.13: Yaş Sıcaklık Deneyi: Modüllerin uzun süreli yüksek sıcaklık ve nem koşullarına karşı dayanıklılığını değerlendiren bir testtir. 1000 saat boyunca 85°C sıcaklık ve %85 nem oranı altında modüllerin performansı ve güvenliği ölçülür.

Madde 10.14: Bağlantı Uçları Sağlamlık Deneyi: Modül uçlarının ve bu uçların modül gövdesine bağlantılarının, normal sistem veya taşıma işlemleri sırasında uygulanacak gerilimler gibi bir gerilime dayanıklılığını belirlemek oldukça önemlidir. Bu bağlamda, modül uç tipleri üç farklı kategoriye ayrılmaktadır. Tip A, kablo veya serbest kablo uçlarını içerirken, Tip B, etiketler, dış açılmış saplamalar ve vidalar gibi bağlantı elemanlarını kapsar. Son olarak, Tip C ise bağlantıları ifade eder. Her bir tipin dayanıklılığı, sistemin güvenliği ve verimliliği açısından kritik rol oynar.



Şekil 2.4. Bağlantı uçları sağlamlık deneyi.

Madde 10.15: Yaş Kaçak Akım Deneyi: Modüllerin nemli koşullarda elektriksel kaçak akım özelliklerini değerlendiren bir testtir. Bu test, özellikle yağmurlu veya nemli çevre koşullarında modüllerin güvenliğini sağlamak için kritik öneme sahiptir.

Direnç, yüzey gerilimi ve sıcaklık değerleri, modüllerin güvenli ve verimli çalışması için belirli sınırlar içinde tutulmalıdır. Direnç, 3500 Ω/cm veya daha az olmalı, yüzey gerilimi 0.03 Nm veya daha az seviyede bulunmalıdır. Çalışma sıcaklığı ise $22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ olmalıdır.

Yalıtım direnci ile ilgili olarak, -0.1 m^2 'den daha az alana sahip modüller için yalıtım direnci 400 M Ω 'dan az olmamalıdır. Öte yandan, -0.1 m^2 'den daha geniş alana sahip modüller için ölçülen yalıtım direncinin, modülün alanı ile çarpımı 40 M Ωm^2 'den az olmamalıdır. Bu kriterler, modüllerin güvenli ve etkili bir şekilde çalışmasını sağlamak için önemlidir.

Madde 10.16: Mekanik Yük Deneyi: Modüllerin mekanik yük altında nasıl performans gösterdiğini ve dayanıklılığını ölçen bir testtir. Bu test, modüllerin rüzgar, kar veya diğer mekanik yükler altında nasıl performans gösterdiğini belirler. Deney sırasında iç devrenin elektriksel devamlılığını sürekli bir şekilde izleyebilmek için modül beslenir. Bu süreçte, modülün ön ve arka yüzeyine 2400 Pa'lık bir yük, her biri 1 saat süren üç çevrim boyunca uygulanır. Bu test, modülün dayanıklılığını ve performansını değerlendirmek için yapılır.



Resim 2.3. Mekanik yük deneyi.

2400 Pa, şiddetli rüzgarlar için güvenlik faktörü 3'e sahip olan 130 km/h (yaklaşık $\pm 800\text{ Pa}$) hızında rüzgar basıncına karşılık gelir. Eğer modül ağır kar ve buz

birikintilerine dayanma niteliğine sahipse, son çevrimde modülün ön yüzüne uygulanacak kuvvet, 2400 Pa'dan 5400 Pa'ya yükseltilir. Deney sırasında kesikli açık devre hatası tespit edilmemeli, gözle görülebilir büyük kusurlar olmamalıdır. Ayrıca, azami çıkış gücündeki azalım, deneyden önce ölçülen değerin %5'ini geçmemeli ve yalıtım direnci başlangıç ölçümleri için gerekli kuralların aynılarını karşılamalıdır.

Madde 10.17: Dolu Deneyi: Modüllerin dolu yağışına karşı dayanıklılığını ölçen bir testtir. Bu test, dolu tanelerinin modüllere çarpması durumunda oluşabilecek hasarları ve modüllerin bu koşullara karşı performansını değerlendirir.

Tablo 2.1. Dolu tanesi testinde kullanılan farklı boyut ve kütlelerdeki dolu tanelerinin deney hızları.

Çap mm	Kütle g	Deney hızı m·s ⁻¹	Çap mm	Kütle g	Deney hızı m·s ⁻¹
12,5	0,94	16,0	45	43,9	30,7
15	1,63	17,8	55	80,2	33,9
25	7,53	23,0	65	132,0	36,7
35	20,7	27,2	75	203,0	39,5

Bu veriler, dolu tanesi testinde kullanılan farklı boyut ve kütlelerdeki dolu tanelerinin deney hızlarını göstermektedir. Veriler, dolu tanesinin çapı, kütlesi ve bu tanenin test sırasında ulaştığı hızları içermektedir.

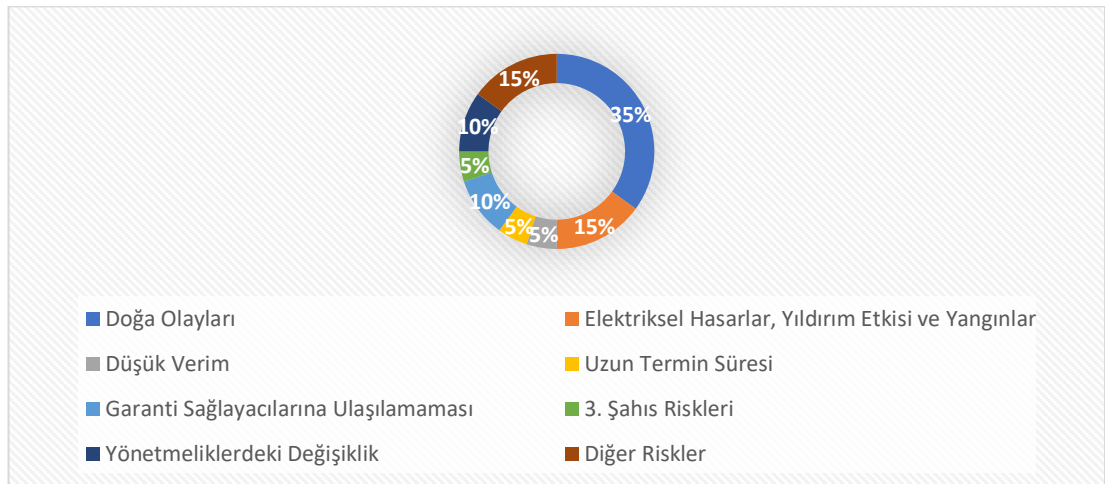
- 12,5 mm çapında ve 0,94 g kütlesinde olan dolu tanesi, 16,0 m/s hızla test edilir.
- 15 mm çapında ve 1,63 g kütlesinde olan dolu tanesi, 17,8 m/s hızla test edilir.
- 25 mm çapında ve 7,53 g kütlesinde olan dolu tanesi, 23,0 m/s hızla test edilir.
- 35 mm çapında ve 20,7 g kütlesinde olan dolu tanesi, 27,2 m/s hızla test edilir.
- 45 mm çapında ve 43,9 g kütlesinde olan dolu tanesi, 30,7 m/s hızla test edilir.
- 55 mm çapında ve 80,2 g kütlesinde olan dolu tanesi, 33,9 m/s hızla test edilir.
- 65 mm çapında ve 132,0 g kütlesinde olan dolu tanesi, 36,7 m/s hızla test edilir.
- 75 mm çapında ve 203,0 g kütlesinde olan dolu tanesi, 39,5 m/s hızla test edilir.

Madde 10.18: Köprüleme Diyodu Isıl Deneyi: Bu test, modüllerde kullanılan bypass diyotların ısı performansını değerlendirir. Bypass diyotlar, modüllerin kısmi gölgelenme durumunda bile verimli çalışmasını sağlar ve bu test, diyotların yüksek sıcaklıklarda nasıl performans gösterdiğini belirler.

Modülün sıcak nokta hassasiyetinin zararlı etkilerini sınırlamak amacıyla kullanılan baypas diyotların, ısıl tasarımlarının yeterliliğini ve uzun dönem güvenilirliğini sağlamak büyük önem taşır. Bu amaçla yapılan testte, modül $75\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar ısıtılır. Ardından, modüle, $\pm 2\%$ 'lik STC'de ölçülen kısa devre akımına eşit olan bir akım uygulanır. Bir saat sonra, her bir baypas diyotun sıcaklığı ölçülür. Daha sonra, modül sıcaklığı $75\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de muhafaza edilirken, uygulanan akım STC'de ölçülen modülün kısa devre akımının 1,25 katına artırılır ve akım akışı bir saat süreyle devam eder. Bu süreç sonunda, diyotun hala çalışır durumda olduğu doğrulanır. Bu testler, baypas diyotların sıcaklık ve akım koşullarına dayanıklılığını ve işlevselliğini kontrol etmek için yapılır.

Fotovoltaik modüller ve güneş enerji santrallerinde uygulanan bu standartlar, santrallerin güvenli, verimli ve uzun ömürlü olmasını sağlamayı amaçlamaktadır. Bu standartlar, modüllerin üretim aşamasından saha koşullarındaki performansına kadar geniş bir yelpazede değerlendirmeler yaparak, olası riskleri minimize etmeyi hedefler. Özellikle yangın riski gibi kritik güvenlik meselelerinde bu testlerin önemi büyüktür. Modüllerin elektriksel ve mekanik dayanıklılığı, nem ve sıcaklık değişimlerine karşı dirençliliği gibi faktörler, yangın riskini azaltmada hayati rol oynar. Bu nedenle, güneş enerji santrallerinde yangın riskini etkileyen faktörleri değerlendirirken, bu standartların titizlikle uygulanması ve denetlenmesi gerekmektedir.

2.2 Güneş Enerji Santrallerinde Yangın Riskini Etkileyen Faktörler



Şekil 2.5. Güneş enerji santrallerindeki yangın riskinin yeri [25].

Güneş enerjisi santrallerinde yangın risklerini etkileyen bazı faktörler bulunmaktadır. Bu faktörler;

1. Elektriksel Faktörler
2. Yüksek Sıcaklık
3. Bakım ve İşletme Hataları
4. Çevresel Faktörler
5. Güvenlik Önlemleri
6. Malzeme Kalitesi
7. İnsan Kaynaklı Etmenler
8. Hayvansal Faktörler
9. Hava Olayları

Tablo 2.2. Her bir faktör ve güneş enerjisi santrali için risk düzeyleri.

<i>Faktör</i>	<i>Yangın Riski</i>	<i>Açıklama</i>
Elektriksel Faktörler	Yüksek risk	Güneş panelleri, invertörler ve bağlantı sistemleri arasında oluşabilecek kısa devreler, aşırı voltajlar ve arızalı elektrik ekipmanları yangın riskini artırabilir.
Yüksek Sıcaklık	Orta risk	Yüksek sıcaklıkların uzun süre devam etmesi, panellerin ve ekipmanın aşırı ısınmasına neden olarak yangın riskini artırabilir.
Bakım ve İşletme Hataları	Yüksek risk	Yanlış bakım, eksik işletme prosedürleri veya ekipman arızaları nedeniyle yangın riski artabilir.
Çevresel Faktörler	Orta - Yüksek risk	Doğal afetler, yıldırım çarpmaları, kuvvetli rüzgarlar gibi çevresel etkenler, güneş enerjisi santrallerinde yangın riskini artırabilir.
Güvenlik Önlemleri	Düşük - Orta risk	Yeterli güvenlik önlemlerinin alınmaması durumunda yangın riski artabilir. Yangın söndürme ekipmanlarının eksikliği, yangın tehlikesini artırabilir.
Malzeme Kalitesi	Orta - Yüksek risk	Malzeme kalitesi düşük olan paneller veya diğer ekipmanlar, aşırı ısınma ve arızalara neden olarak yangın riskini artırabilir.
İnsan Kaynaklı Etmenler	Düşük Risk	İnsan kaynaklı faktörler, dikkatsizce atılan sigara izmaritleri, kasıtlı hasar veya yangın güvenliği kurallarına uymama gibi durumlar yangınları tetikleyebilir.

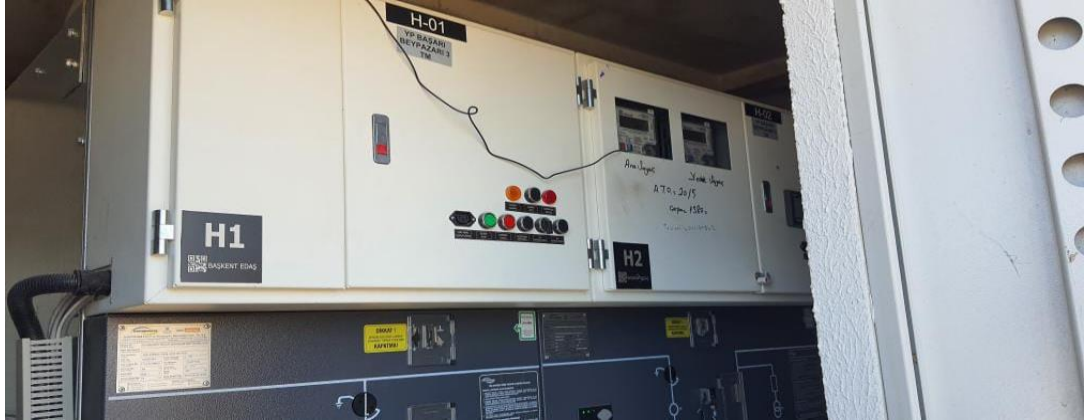
2.2.1 Elektriksel Faktörler

Fotovoltaik sistemlerde çıkan yangınların en önemli nedeni elektrik arızalarıdır. Bunlardan en önemlileri elektrik çakması dediğimiz arklar, kısa devreler, toprak arızaları ve kaçak akımlardır. Bu durumun yanı sıra kablo izolasyon sorunları, modül çatlakları veya yanlış bağlantılar gibi hatalar yanıcı malzemelerin tutuşmasına neden olabilir.



Resim 2.4. Güneş enerji santralinde trafo odası(kesici ölçü kabini) [1].

Bu hasarlara bir örnek, 2009 yılında Almanya'nın Bierstadt kentinde ark nedeniyle meydana gelen fotovoltaik yangındır. Arızalı veya kopuk bağlantılar elektrik akımı nedeniyle ark haline gelebilir ve konveksiyon yoluyla yayılabilir.



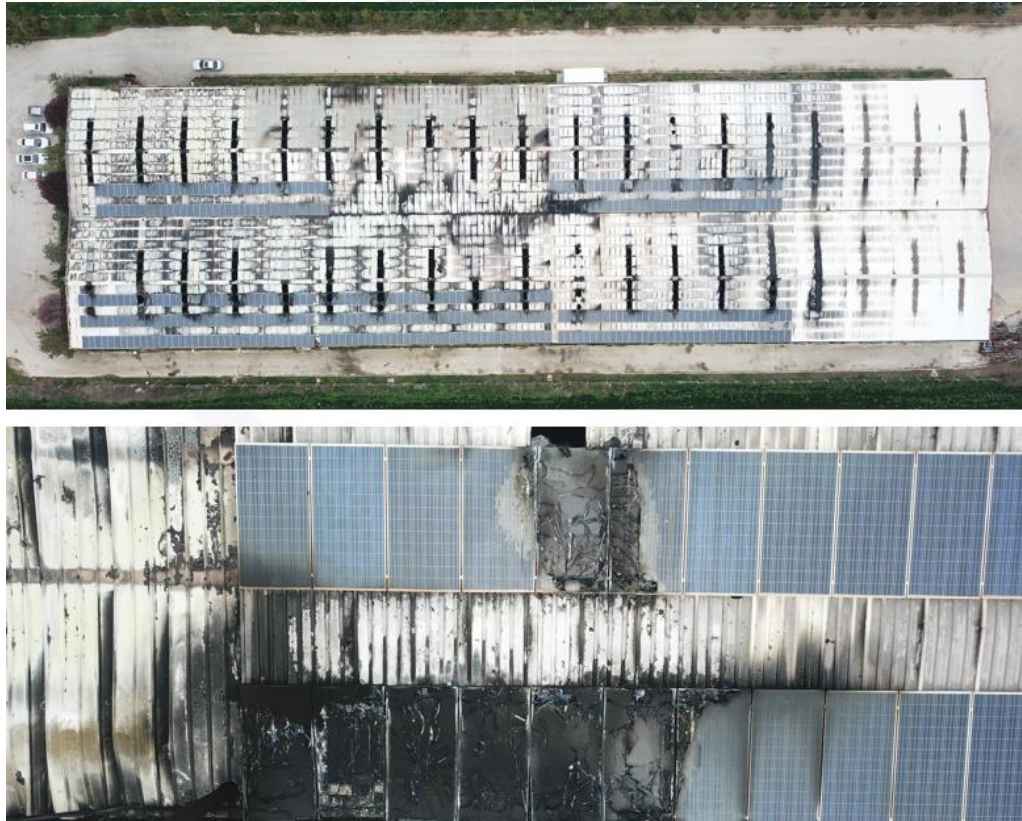
Resim 2.5. Güneş enerji santralinde sayaç bölümü [2].

Bu konu enerji hatlarında önemli bir risk olup, fotovoltaik sistemlerdeki yüksek akım ve gerilimlerden dolayı dikkat edilmesi gereken en önemli konulardan biridir. DC arkları kendi kendilerine sönmeyizler ve yaklaşık 3000 derecelik sıcaklıklara ulaşabilirler. Bu sıcaklıkta metal eriyecek ve yakındaki yanıcı maddelerin yanmasına neden olacaktır.

Tablo 2.3. Elektriksel faktörlerden kaynaklanan yangın sebepleri.

<i>Elektriksel Faktör</i>	<i>Yangın Sebepleri</i>
Kısa Devre	Paneller arasında veya invertörlerde kısa devre
Aşırı Voltaj	Aşırı voltaj kaynaklı ekipman arızaları
Ekipman Arızaları	İnvertör, paneller veya bağlantı ekipmanları arızaları
İzolasyon Problemleri	İzolasyon eksikliği veya kusurları
Arıza Tespiti ve Bakım	Yetersiz arıza tespiti ve bakım

Aşağıdaki resimde güneş enerjisi santralinin bulunduğu bir fabrikada çıkan yangının resmi gösterilmektedir. Yangının fabrikanın tavanındaki elektrik tesisatındaki kısa devreden kaynaklandığı belirtilmiştir. Yangın büyüdükçe çatının bir kısmı alev alarak panellere zarar vermiştir. İşletmede mevcut olan risk faktörlerinin güneş enerjisi santralini doğrudan etkileyeceği görülmektedir.



Resim 2.6. Örnek bir yangın [31].

2.2.2 Yüksek Sıcaklık

Güneş enerji santrallerinde, yüksek sıcaklıklar yangın riskini artırabilir. Bu risk faktörleri, güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan elektrik ve elektronik ekipmanların

uzun süreli güneş maruziyeti sonucu aşırı ısınmasıyla ortaya çıkar. Özellikle invertörler gibi elektrikle ilgili bileşenler, aşırı ısınma durumunda yangın potansiyeli taşıyabilir. Yangın tehlikesini azaltmak için ise yangın güvenlik önlemleri alınmalıdır. Bu önlemler arasında yangın söndürme sistemleri, ısı algılayıcıları, alev dedektörleri ve düzenli olarak temizleme işlemleri bulunmaktadır. Ayrıca, iklim koşulları, bitki örtüsü ve çevresel materyaller de yangın riskini etkileyebilir. Personel eğitimi ve düzenli izleme, potansiyel sorunları erken tespit ederek güvenlik standartlarını artırabilir. Bu önlemler sayesinde, güneş enerji santralleri yangın riskini minimize ederek güvenli ve sürdürülebilir enerji üretimine katkıda bulunabilir.

Tablo 2.4. Güneş enerjisi santrallerinde yüksek sıcaklıkla ilişkilendirilen çeşitli yangın türleri ve muhtemel sebepleri.

<i>Yangın Türü</i>	<i>Olası Sebepler</i>
Panellerde Termal Yanma	Uzun süreli güneş ışığına maruz kalma, aşırı sıcaklık
İnvertör Termal Yanma	Aşırı sıcaklık, hava koşulları
Kablo Termal Yanma	Aşırı sıcaklık, aşırı yük

Güneş enerjisi santrallerinde yüksek sıcaklıkla ilişkili çıkan yangınlar, önemli bir risk faktörü olarak dikkate alınmalıdır. Bu tür yangınlar genellikle panellerde, invertörlerde ve kabloların içinde meydana gelebilir. Panellerdeki termal yanma, uzun süreli güneş ışığına maruz kalma ve aşırı sıcaklık koşullarıyla ilişkilidir. Güneş panellerinin uzun süreli güneşe maruz kalması, panellerde termal yanmaya yol açabilir. İnvertörlerdeki termal yanma ise genellikle aşırı sıcaklık ve hava koşullarıyla bağlantılıdır. Yüksek sıcaklık, özellikle aşırı sıcak hava koşullarında, invertörlerde termal yanmaya neden olabilir. Ayrıca, kabloların içindeki termal yanma, yüksek sıcaklık veya aşırı yük nedeniyle kabloların termal yanmasını içerebilir. Yüksek sıcaklık altında çalışan kabloların termal yanması, yangın riskini artırabilir.

Bu yangın türleriyle mücadelede etkili bir strateji geliştirmek ve uygulamak için güvenlik önlemleri ve düzenli bakım büyük önem taşır. Panellerin ve invertörlerin düzenli olarak kontrol edilmesi, aşırı sıcaklık durumlarında hemen müdahale edilebilmesini sağlayabilir. Ayrıca, kabloların düzenli olarak incelenmesi ve aşırı sıcaklıklara dayanıklı malzemelerin kullanılması, termal yanma riskini azaltabilir. Tüm bu önlemler, güneş enerjisi santrallerinde yüksek sıcaklıkla ilgili yangın riskini minimize etmek ve güvenli bir işletme sağlamak adına önemlidir.

2.2.3 Bakım ve İşletme Hataları

Güneş enerji santrallerinde gerçekleştirilen bakım ve onarım hataları, potansiyel bir yangın riskini artırabilir. Bu hatalar arasında özellikle elektriksel sorunlar önemli bir yer tutar. Yanlış elektrik bağlantıları veya ekipman değişiklikleri, kısa devre veya aşırı ısınma gibi elektriksel sorunlara yol açabilir, bu da ekipmanın aşırı ısınmasına ve yangın riskinin artmasına neden olabilir. İnvertörler, güneş enerji sistemlerinde kritik bir rol oynar, ancak bakım veya onarım hataları invertör arızalarına ve potansiyel yangın tehlikesine neden olabilir. Yangın söndürme ekipmanlarının eksik veya işlevsiz olması da, olası bir yangına hızlı müdahale imkanını azaltabilir.



Resim 2.7. Güneş enerji santralinde dağınık ve düzensiz kablolar.

Ayrıca, yetersiz personel eğitimi ve bilinçsizlik de yangın riskini artırabilir. Bakım ve onarım personelinin uygun eğitim almadan veya işlemleri bilinçsizce gerçekleştirmesi, güvenlik standartlarına uyumsuzluk beraberinde potansiyel yangın tehlikesine yol açabilir. Çevresel faktörlerin göz ardı edilmesi de bu riski artırabilir; bakım sırasında bitki örtüsünün temizlenmemesi veya çevresel materyallerin kontrolsüz bir şekilde birikmesi, yangın tehlikesini ciddi oranda artırabilir.

Bu nedenle, güneş enerji santrallerinde düzenli bakım ve onarımların doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi, ekipmanların güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamak ve potansiyel riskleri önceden tespit etmek için kritik bir öneme sahiptir. Ayrıca, personelin eğitimi ve güvenlik standartlarına uyulması, yangın riskini minimize etmede önemli bir rol oynar.

Tablo 2.5. Güneş enerjisi santrallerinde bakım ve işletme hataları ile ilişkilendirilen çeşitli yangın türleri ve muhtemel sebepleri.

<i>Yangın Türü</i>	<i>Olası Sebepler</i>
Elektriksel Bağlantı Hataları	Hatalı kablo bağlantıları, elektrik panosu hataları
Ekipman Bakımı Hataları	Yanlış bakım, ekipmanın düzensiz kontrolü
Yangın Söndürme Sistem Hataları	Söndürme sistemlerinin arızaları, bakımın ihmal edilmesi, uygun söndürme ekipmanlarının bulunmaması
Personel Eğitimi Eksiklikleri	Yangın güvenliği prosedürlerine uymama, gerekli yangın eğitimi verilmemesi

Güneş enerjisi santrallerinde bakım ve işletme hataları nedeniyle çıkan yangınlar, ciddi bir güvenlik endişesini ifade eder. Bu tür yangınlar genellikle çeşitli faktörlerle ilişkilidir ve önemli hasarlara neden olabilir.

Elektriksel bağlantı hataları, yanlış veya düzensiz kablo bağlantıları, elektrik panosundaki hatalar gibi unsurlardan kaynaklanabilir. Yanlış bağlantılar ve panodaki hatalar, elektrik akışını kontrolsüz bir şekilde yönlendirerek aşırı ısınmaya ve yangın riskine yol açabilir.

Ekipman bakımı hataları da kritik bir faktördür. Ekipmanın yanlış bakımı veya düzensiz kontrolü, aşırı ısınma, arızaları ve yangın riskini artırabilir. Bu nedenle, düzenli ve özenli bakım rutinlerinin uygulanması büyük önem taşır.

Yangın söndürme sistemlerindeki hatalar ve yetersizlikler, düzensiz bakım, yangınların kontrol altına alınmasını güçleştirebilir. Bu sistemlerin doğru çalışması, yangın anında müdahale edilmesi açısından kritiktir. Bu nedenle, düzenli bakım ve test prosedürleri, söndürme sistemlerinin işlevselliğini sürdürmek adına önemlidir.

Güneş enerjisi santralleri için bir diğer önemli risk faktörü ise invertördür. Gece atmosferde bulunan ışıma nedeniyle panellere sürekli enerji verilir ve bu enerji invertöre iletilir. Bu zamanlarda şebeke sistemine (enterkonneksiyon) aktarılabilecek güç yeterli olmadığından evirici hafif yükte bekleme modundadır. Bu nedenle invertörün bakımının iyi yapılması ve sürekli izlenmesi önemlidir. Tüm santrallerde otomasyon (scada) sistemi bulunmaktadır. Bu sistemler konusunda uzman operatörler tarafından sürekli takip edilmeli ve sistemlerin verdiği uyarılara göre hareket edilmelidir.



Şekil 2.6. İnvertör kayıt örneği [23].

Örnek olarak gösterilen evirici kayıtlarında; Tepe veya sıfır üretim gözlemlenebilir. Bu ve benzeri durumlarda otomasyon sistemi alarm vererek kullanıcıyı/operatörü bilgilendirir. Kontrol eksikliği veya sistem uyarılarının dikkate alınmaması önemli bir risk faktörüdür. İncelenen hasar dosyalarında; İnverterin zarar görmesi sonucu kısa devre yapması, invertörde başlayan yangın, kısa sürede santralin panellerine sıçrayarak santral ve kurulduğu yapının hasar görmesine neden olabilir.

Son olarak, personel eğitimi eksiklikleri, yangın güvenliği prosedürlerine uymama ve yangın eğitimi eksikliği, çalışanların yangın durumlarında etkili bir şekilde müdahale etme yeteneklerini azaltabilir. Bu durumu önlemek için düzenli eğitim programları ve yangın güvenliği prosedürlerine uyumu teşvik edici önlemler alınmalıdır.

2.2.4 Çevresel Faktörler

Güneş enerji santrallerindeki çevresel faktörler, yangın riskini etkileyen önemli faktörler arasında yer almaktadır. Öncelikle, santralin çevresindeki bitki örtüsü ve diğer organik materyaller, yangın potansiyelini artırabilir. Özellikle kurak dönemlerde bu materyallerin kuruması, yangın tehlikesini yükseltebilir. Ayrıca, düzenli temizlik yapılmaması halinde bu materyallerin birikmesi, yangın riskini artırabilir.



Resim 2.8. Panellerin arasında uzayan bir çalı.

Toprak koşulları da önemlidir; çöl veya kuru iklim bölgelerindeki kuraklık ve toprak yapısı yangın riskini artırıcı etkiye sahip olabilir. Bakım pratikleri açısından, çevresel faktörlerin göz önünde bulundurulması önemlidir. Güneş enerji santrallerinin etrafındaki bitki örtüsünün ve materyallerin düzenli olarak temizlenmesi, yangın riskini azaltabilir. Ayrıca, bakım sırasında çevresel değişkenlere karşı duyarlılık ve gerekli önlemlerin alınması, yangın güvenliği açısından kritiktir.



Resim 2.9. Güneş enerji santralinin etrafındaki kurumuş bitki örtüsü.

Sonuç olarak, güneş enerji santrallerinde yangın riskini yönetmek için çevresel faktörlerin dikkate alınarak uygun önlemlerin hayata geçirilmesi önem taşır. Bu itibarla santrallerde yangın riski değerlendirmesi, düzenli temizlik, yangın güvenliği ekipmanlarının bulundurulması ve çevresel değişkenlere karşı duyarlılık gibi unsurları da içermelidir.

Tablo 2.6. Güneş enerjisi santrallerinde çevresel faktörler ile ilişkilendirilen çeşitli yangın türleri ve muhtemel sebepleri.

<i>Yangın Türü</i>	<i>Olası Sebepler</i>
Yıldırım Çarpması	Şiddetli fırtınalar, yıldırım düşmesi
Kuraklık ve Bitki Örtüsü	Kuraklık, bitki örtüsü ve yabani otlar
Orman Yangınları	Çevredeki orman yangınları
Yüksek Rüzgarlar	Şiddetli rüzgarlar ve parçalanmış ekipman parçaları
Anız Yakma	Dar bir bölge yakılan bitki örtüsünün geniş alana sıçraması

Güneş enerjisi santrallerinde çevresel faktörlerin neden olduğu yangınlar, genellikle dış etkenlere bağlı olarak ortaya çıkan ciddi risklerdir. Örneğin, yıldırım düşmesi, şiddetli fırtınalar ,orman yangınları gibi doğal olaylardan kaynaklanabilir. Bu durum, panelleri ve diğer ekipmanları etkileyerek yangın riskini artırabilir. Yıldırımın düşmesi durumunda, enerji santrali altyapısı yüksek voltaj nedeniyle ciddi bir risk altına girebilir.

Kuraklık ve bitki örtüsü, güneş enerjisi santrallerinin bulunduğu alanlarda yangın riskini artıran en önemli etken olabilir. Kuraklık dönemlerinde ve bitki örtüsüyle kaplı bölgelerde, yangınlar daha hızlı yayılabilir ve bu durum, güneş enerjisi panelleri ve diğer ekipmanlar üzerinde ciddi hasarlara yol açabilir. Ayrıca, bitki örtüsü ve yabani otların düzenli olarak temizlenmemesi yangın riskini artırabilir.

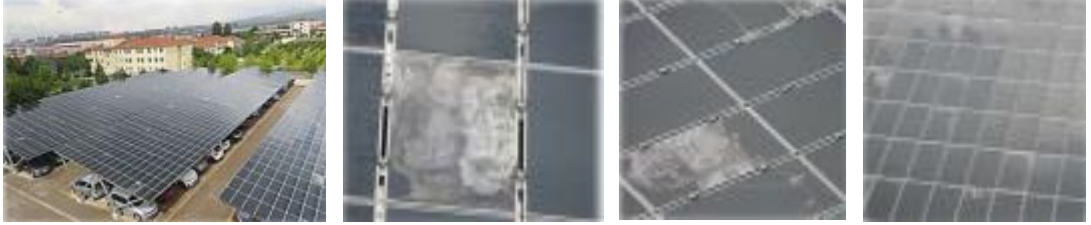
Orman yangınları, güneş enerjisi santrallerinin yakınındaki ormanlık alanlardan kaynaklanabilir ve bu yangınlar güneş enerjisi santrali altyapısına sıçrayabilir. Bu durum, hem doğrudan yangın etkisi hem de duman ve kül partiküllerinin panellerin üzerine serpinti şeklinde dökülmesi sonucu sistemin verimliliğini etkilemesi gibi çeşitli olumsuz sonuçları beraberinde getirebilir.

Şiddetli rüzgarlar, sisteme ait mekanik parçaları yerinden kopararak çalışan sisteme ilişkin aktif bileşenlerin üzerine düşmesi sonucunda güneş enerjisi santrallerinde yangın riskini artırabilir. Bu nedenle, yüksek rüzgarlı koşullarda güvenlik önlemlerinin sıkı bir şekilde uygulanması ve ekipmanın düzenli olarak bakımının yapılması büyük önem taşır.

Çevresel faktörlere karşı etkili koruma ve yangın güvenliği stratejileri, güneş enerjisi santrallerinin sürdürülebilir işleyişini sağlamak ve yangın risklerini minimize etmek için kritiktir. Bu stratejiler, erken uyarı sistemlerinin kullanılması, düzenli bakım

rutinleri ve çevresel tehditlere karşı dayanıklı altyapıların oluşturulması gibi önlemleri içermelidir.

Güneş enerjisi santrallerinde dikkat edilmesi gereken bir diğer risk faktörü de dolu riskidir. Santrallerde dolu oluşma olasılığı, santralin coğrafi konumuna ve mevsimsel şartlara göre değişiklik gösterebilir.



Resim 2.10. Dolu hasarı görmüş paneller [23].

2.2.5 Güvenlik Önlemleri

Güneş enerji santrallerinde yangın riskini yönetmek amacıyla uygulanan güvenlik önlemleri, tesisin sağlıklı ve güvenli bir şekilde işlemlerini sağlamak adına kapsamlı bir yaklaşımı içermektedir. İlk olarak, yangın söndürme sistemleri, Hidrant sistemleri, su püskürtme veya yangın söndürücü köpük gibi sistemlerle donatılarak yangının kontrol altına alınmasında etkili olabilir. Ayrıca, ısı algılayıcıları ve alev dedektörleri gibi otomatik algılama ve uzaktan izleme sistemleri, yangın tehdidini erken aşamada tespit ederek hızlı müdahaleyi mümkün kılar.



Resim 2.11. Hazırda bulunan bir yangın tüpü.

Personel eğitimi, güvenlik önlemlerinin önemli bir parçasını oluşturur. Tesis çalışanları, olası yangın durumlarına karşı nasıl tepki vereceklerini bilmeli ve acil durum prosedürleri konusunda mevzuatta ön görülen aralıklarla düzenli olarak

eğitilmelidir. Diğer yandan İnvertör kontrol ve izleme sistemleri de, kritik bileşenlerde olası arızaları erken tespit ederek aşırı ısınma veya elektriksel sorunlara karşı uyarı sağlar.

Düzenli bakım ve temizlik, tesisin genel performansını artırmakla kalmaz, aynı zamanda çevresel materyallerin birikmesini önleyerek yangın riskini azaltır. Yangın güvenliği ekipmanları, tesisin çeşitli noktalarında bulunmalıdır ve bu ekipmanlar, acil durum anında yangını kontrol altına almak için kullanılır. Güvenlik protokolleri ve işleyiş planları da, personelin koordineli bir şekilde hareket etmesini sağlayarak yangın anındaki etkili müdahaleyi destekler.

Tablo 2.7. Güneş enerjisi santrallerinde güvenlik önlemleri eksikliği ile ilişkilendirilen çeşitli yangın türleri ve muhtemel sebepleri.

<i>Yangın Türü</i>	<i>Olası Sebepler</i>
Yangın Söndürme Ekipman Hataları	Söndürme sistemlerinin arızaları, bakım ihmal edilmesi
Acil Durum Çıkışları Erişim Problemleri	Acil durum çıkışlarına erişim zorlukları, kapılar ve yolların tıkanması
Yangın Güvenliği Eğitim Eksiklikleri	Personel eğitimi eksikliği, yangın güvenliği prosedürlerine uymama
Alev Detektör ve İhbar Sistem Hataları	Alev detektörlerinin arızaları, ihbar sistemlerinin düzensiz çalışması

Güneş enerjisi santrallerinde yangın risklerini etkileyen faktörler arasında, güvenlik önlemleri eksikliğinden kaynaklanan yangınlar büyük bir endişe kaynağıdır. Bu tür yangınlar, genellikle önleyici ve koruyucu tedbirlerin yetersiz olmasından kaynaklanır.

Yangın söndürme ekipman hataları, güneş enerjisi santrallerindeki yangınların kontrol altına alınmasını zorlaştırabilir. Yangın söndürme sistemlerinin arızaları veya düzensiz bakımı, yangın anında müdahale sürecini etkileyerek hasarın artmasına neden olabilir. Bu nedenle, düzenli bakım ve sistem testleri, yangın söndürme ekipmanlarının etkinliğini korumak ve güvenilirliğini sağlamak için hayati öneme sahiptir.

Acil durum çıkışlarına erişim problemleri, yangın anında hızlı ve güvenli tahliye sürecini engelleyebilir. Kapılara veya yollara erişilememesi durumunda, çalışanların güvenli bir şekilde santrali terk etmeleri zorlaşır. Bu durumu önlemek için acil durum kaçış yolları düzenli olarak kontrol edilmeli ve engellerden arındırılmalıdır.

Yangın güvenliğinde eksik eğitim verilmesi, çalışanların yangın durumlarında etkili bir şekilde tepki verme yeteneklerini sınırlayabilir. Personel eğitimi eksiklikleri,

yangın güvenliği prosedürlerine uyum sağlama ve yangın anında doğru kararları alma konusunda risk oluşturabilir. Bu nedenle, düzenli eğitim programları ve tatbikatlar, çalışanların yangın durumlarına hazır olmalarını sağlama açısından önemlidir.

Alev detektör ve ihbar sistemi hataları, yangının erken aşamada tespitini ve müdahalesini engelleyebilir. Bu sistemlerin düzenli bakımı ve test edilmesi, yangın tehdidinin hızlı bir şekilde tespit edilmesini sağlayarak müdahale sürecini optimize eder.

Sürekli enerji altında bulunan bir fotovoltaik sistemde yangın çıkması durumunda müdahale yöntemi oldukça önemlidir. Fotovoltaik paneller zehirli maddeler içerir ve yangın anında atmosfere salınan duman/zehirli gazlar can güvenliğini tehdit eder. Yangına müdahale sırasında müdahale personeli mutlaka kişisel koruyucu donanımlarını eksiksik kuşanmalı ve temiz hava solunum cihazları ile müdahalede bulunmalıdır.



Resim 2.12. Örnek bir yangın [24].

Yangına müdahale aşamasında Köpükle söndürme ve soğutma yapılması gerekmektedir. Su ile söndürüldüğünde; Su tabakasının ilave iletkenlik göstererek yangını körükleyeceği bilinmektedir. Bu durumda yangın işletmenin tamamına yayılır. Köpükle söndürme yapılırken panel yüzeyleri köpükle kaplanacağından güneş ışığına maruz kalma önlenecek ve panellerdeki voltaj seviyesi azaltılacaktır. Santral devreye alındıktan sonra ilgili bölgenin itfaiyesine başvurulmalı ve olası bir yangın durumunda müdahale yöntemleri belirlenmelidir.

Sonuç olarak, güneş enerjisi santrallerinde yangın güvenliği, güvenlik önlemlerinin düzenli olarak gözden geçirilmesi, ekipman bakımının yapılması ve çalışanlara düzenli eğitimler sağlanması gibi önlemlerle sağlanabilir. Bu stratejiler, güvenlik önlemleri eksikliğinden kaynaklanan yangın riskini minimize etmeye yönelik kritik adımlardır.

2.2.6 Malzeme Kalitesi

Güneş enerji santrallerinde malzeme kalitesi, yangın riskini belirleyen önemli bir faktördür. Özellikle güneş panelleri ve modüllerde kullanılan malzemelerin kalitesi, yangın direncini etkiler. Düşük kaliteli paneller, aşırı ısınma veya kısa devre durumlarında daha fazla yangın riski taşıyabilir. Yüksek kaliteli paneller, genellikle yangına dayanıklı cam, alüminyum çerçeve ve yangın geciktirici malzemeler içererek daha güvenli bir yapı sunar.

Elektrik kabloları ve bağlantı malzemeleri de yangın riskini etkileyen unsurlardır. Kalitesiz kablo ve bağlantılar, aşırı ısınma, kısa devre veya arızalı bağlantılara yol açabilir. Kaliteli izolasyon malzemeleri ve dayanıklı bağlantılar, yangın riskini azaltabilir.



Resim 2.13. Kalitesi bozulmuş bir fotovoltaik panel altı [1].

İnvertörler, güneş enerji santrallerinde kritik bileşenlerdir ve düşük kaliteli invertörler, aşırı ısınma veya arızalı çalışma durumlarında yangın riskini artırabilir. Yüksek kaliteli invertörler, güvenilir elektronik bileşenler ve yangına dayanıklı tasarımlar içerebilir.

Yangın geciktirici kaplamalar, panellerin, kabloların ve diğer malzemelerin yangına karşı direncini artırmak için kullanılabilir. Bu kaplamalar, malzemelerin alev almasını önleyebilir veya yangının yayılma hızını azaltabilir.

Son olarak, güneş enerji panelleri ve bileşenleri üretimi sırasında kalite kontrol süreçlerinin uygun şekilde uygulanması, malzeme kalitesini artırabilir. Sertifikalı ve standartlara uygun ürünlerin kullanılması, güvenilir ve yangına dayanıklı malzemelerin seçilmesini sağlar. Malzeme kalitesine verilen önem ve düzenli bakım, güneş enerji santrallerinde yangın riskini minimize etmede hayati bir rol oynar.

Tablo 2.8. Güneş enerjisi santrallerinde malzeme kalitesinin eksikliği ile ilişkilendirilen çeşitli yangın türleri ve muhtemel sebepleri.

<i>Yangın Türü</i>	<i>Olası Sebepler</i>
Malzeme Çürümesine Bağlı Yangınlar	Panellerin aşınması, malzeme kalitesinde düşüklük
Kalitesiz Kablolarla Bağlı Yangınlar	Kablo arızaları, izolasyon problemleri
Malzeme Kalitesi Eksikliğine Bağlı İnvertör Yangınları	İnvertör arızaları, kalitesiz bileşenler

Malzeme çürümesine bağlı yangınlar, genellikle panellerin uzun süre maruz kaldığı çevresel etkenlere bağlı olarak ortaya çıkabilir. Kalitesiz malzemelerin kullanılması

veya panellerin aşınması, malzeme çürümesine ve yangın riskinin artmasına yol açabilir. Bu durum, panellerin yangına karşı dayanıklılığını azaltabilir ve güneş enerjisi santralının genel performansını etkileyebilir.



Resim 2.14. Kalitesi bozulmuş bir fotovoltaik panel altı [1].

Kalitesiz kabloların kullanılması veya kablo arızaları, malzeme kalitesine bağlı yangınları tetikleyebilir. İzolasyon problemleri, kabloların aşırı ısınmasına ve yangına neden olabilir. Güneş enerjisi santrallerinde kullanılan kabloların kalitesi ve düzenli olarak kontrol edilmesi, bu tür yangın riskini minimize etmek için kritiktir.

Malzeme kalitesi eksikliğine bağlı invertör yangınları, invertörlerdeki arızalardan kaynaklanabilir. Özellikle kalitesiz veya düşük dayanıklılığa sahip bileşenlerin kullanılması, invertörlerin arızalanmasına ve yangın riskinin artmasına neden olabilir. Bu durumu önlemek için kaliteli invertörlerin seçilmesi ve düzenli bakımın yapılması gereklidir.

Sonuç olarak, güneş enerjisi santrallerinde malzeme kalitesine bağlı yangınlar, genellikle kalitesiz veya düşük standartlı malzemelerin kullanılmasından kaynaklanan ciddi sorunlardır. Yangın riskini azaltmak için kaliteli malzemelerin seçilmesi, düzenli bakım ve kontrollerin yapılması, güvenlik standartlarına uyumun sağlanması önemlidir. Bu önlemler, santrallerin güvenli ve etkin bir şekilde çalışmasını sağlamak için kritik öneme sahiptir.

2.2.7 İnsan Kaynaklı Etmenler

Güneş enerji santrallerindeki yangın riski, bir dizi insan kaynaklı etmenin etkisi altında kalabilir. İşçi hataları ve eğitim eksiklikleri, özellikle bakım veya onarım süreçlerinde yanlış manipülasyonlar veya hatalı işlemler gerçekleşirse yangın riskini artırabilir. Saha içerisinde sigara içme veya ateşli aletlerin kullanılması gibi dikkatsizlik ve ihmal durumları, güneş enerji sistemlerinde yangına neden olabilir. Elektriksel bağlantı hataları, uygun olmayan malzemelerin kullanılması veya güvenlik kurallarına uyulmaması, elektrik arızalarına ve yangın riskine yol açabilir.



Resim 2.15. Zarar görmüş bir panel.

Güneş enerjisi santralindeki panellerde gözlemlenen hasarlar, fotovoltaik (PV) panellerin performansını ve verimliliğini ciddi şekilde etkileyebilecek çeşitli sorunları göstermektedir. Resim 2.15 de, bir dizi güneş panelini ve üzerindeki kir, toz ve fiziksel hasarlar görülmektedir. Özellikle bir panelin kenarında yanma veya erime belirtileri göze çarpmaktadır. Panellerin kenarlarında görülen hasar, ağır nesnelerin çarpması veya hatalı montajdan kaynaklanabilir. Toz ve kir, PV hücrelerinin yüzeyini kaplayarak ışık geçirgenliğini azaltabilir, bu da enerji üretimini düşürür. Yanma belirtileri ise aşırı ısınma veya elektriksel arızalardan kaynaklanabilir. Bu durum, panelin içindeki hücrelerin veya bağlantıların bozulmasına neden olabilir.

Ayrıca, işçilerin yangın güvenliği prosedürlerine uymaması veya acil durum ekipmanlarını etkili bir şekilde kullanmaması da yangın riskini artırabilir. Çevresel temizlik ve bakım eksiklikleri, bitki örtüsünün kontrolsüz büyümesi veya çevresel materyallerin birikmesi, yangın riskini artırabilir. Hırsızlık veya vandalizm gibi dış etkenler de güneş enerji santrallerindeki ekipmanlara zarar vererek yangın riskini artırabilir.



Resim 2.16. Örnek güneş enerji santrali [25].

Fotoğraftaki güneş enerjisi santrali 3 MW kurulu güce sahip olup 30 hektarlık alanı kapsamaktadır. Arazinin büyüklüğü ve engebeliliği göz önüne alındığında gerekli güvenlik önlemleri alınmadığı takdirde hırsızlık riski oldukça yüksektir.



Resim 2.17. Organize bir hırsızlık ekibi tarafından Güneş Enerji Santrali projesinden kablo çalınmasına ilişkin kamera kaydı [25].

Resim 2.17. de, organize bir hırsızlık çetesinin bir güneş enerjisi santrali projesinden çok miktarda kabloyu çaldığı kameralar tarafından çekilen fotoğraflarda

görülmektedir. Çalınan kablolardaki hurda bakır değerinin yüksek meblağlara ulaşması nedeniyle hırsızların hedefi olabilmektedir.

Bu nedenle, insan kaynaklı etmenlerin doğru bir şekilde yönetilmesi ve güvenlik tedbirlerine uyumun sağlanması, güneş enerji santrallerinde yangın riskini minimize etmek için kritik öneme sahiptir. Düzenli eğitimler, güvenlik prosedürlerine sıkı bir şekilde uyum, çevresel temizlik ve bakım standartlarına titizlikle uyum, ve güvenlik kültürünün güçlendirilmesi, bu faktörlerle başa çıkmada etkili stratejiler olabilir.

2.2.8 Hayvansal Faktörler

Güneş enerji santrallerinde yangın riskini artıran önemli unsurlardan biri hayvansal faktörlerdir. Bu faktörler, özellikle kırsal ve doğal alanlarda kurulan santraller için daha büyük bir tehdit oluşturur. Hayvanların, güneş panellerine ve elektrik tesisatına verebilecekleri zararlar birkaç şekilde gerçekleşebilir:

- **Kemirme ve Hasar:** Kemirgenler, kuşlar ve diğer küçük hayvanlar, güneş enerji santrallerinde kullanılan kabloları ve diğer elektrik bileşenlerini kemirerek ciddi hasarlara yol açabilirler. Bu hasarlar, kabloların yalıtımını zayıflatarak kısa devreye ve potansiyel olarak yangına neden olabilir.
- **Yuva Yapma:** Kuşlar ve diğer küçük hayvanlar, güneş panellerinin altına veya tesisatın diğer bölümlerine yuva yapabilirler. Bu durum, hem mekanik hasar riskini artırır hem de yuvada biriken malzemelerin yanıcı olmasından dolayı yangın riskini artırır.
- **Hayvan Hareketleri:** Büyük hayvanlar, özellikle sığırlar veya diğer otlayan hayvanlar, güneş panellerine çarparak veya tesisata takılarak fiziksel hasar yaratabilirler. Bu durum, özellikle çitlerle çevrilmemiş veya yeterince korunmamış alanlarda daha yaygındır.

Bu hayvansal faktörlerin etkilerini minimize etmek için güneş enerji santrallerinin etrafının uygun şekilde çevrilmesi, kabloların ve diğer hassas bileşenlerin koruyucu kılıflarla kaplanması ve düzenli bakım yapılması gereklidir.



Resim 2.18. Güneş enerji panellerinin çevresinde dolaşan hayvanlar.

2.2.9 Hava Olayları

Hava olayları, güneş enerji santrallerinde yangın riskini etkileyen diğer önemli bir faktördür. Hava olaylarının santral üzerindeki etkileri çeşitli şekillerde ortaya çıkabilir:

- **Fırtınalar ve Şimşek Çakmaları:** Fırtınalar, özellikle yıldırım çarpmaları, güneş panellerine ve diğer elektrik bileşenlerine ciddi zarar verebilir. Yıldırım çarpmaları, doğrudan yangına neden olabileceği gibi sisteme ilişkin bileşenler üzerinde kısa devrelere neden olabilir, veya aşırı gerilim endüklemesi yoluyla da yangın riskini artırabilir.
- **Aşırı Sıcaklık:** Aşırı sıcak hava koşulları, güneş panellerinin ve elektrik bileşenlerinin aşırı ısınmasına neden olur. Bu durum, bileşenlerin verimliliğini düşürmekle kalmaz, aynı zamanda yangın riskini de artırır. Özellikle yetersiz havalandırma veya soğutma önlemleri alınmayan kapalı alanlarda, aşırı ısınma yangına yol açabilir.
- **Kuru ve Rüzgarlı Hava:** Kuru hava koşulları, bitki örtüsünün kurumasına ve kolayca yanabilir hale gelmesine neden olur. Rüzgarlı hava ise yangının hızla yayılmasına katkıda bulunabilir. Güneş enerji santrallerinin etrafındaki bitki örtüsünün düzenli olarak temizlenmesi, yangın riskini azaltmada kritik öneme sahiptir.

- **Dolu Yağışı:** Dolu yağışı, güneş panellerine ciddi fiziksel hasar verebilecek bir diğer hava olayıdır. Dolu tanelerinin çarpması, panellerin cam yüzeylerinde çatlaklara ve kırılmalara yol açarak elektrik akımının düzensiz hale gelmesine ve kısa devrelere neden olabilir. Bu durum yangın riskini artırabilir. Ayrıca, dolu yağışı sonrasında panellerin üzerinde biriken parçalar, güneş ışığını engelleyerek verimliliği düşürür ve potansiyel olarak yangın tehlikesi yaratabilir.

Bu hava olaylarına karşı güneş enerji santrallerinin dayanıklılığını artırmak için yıldırım koruma sistemleri, aşırı ısınmayı önleyici soğutma çözümleri, dolu yağışına karşı dayanıklı panellerin seçimi ve düzenli bakım gibi önlemler alınmalıdır. Ayrıca, yangın riski yüksek dönemlerde santrallerin yakın çevresinde ot veya kuru bitki temizliği yapılması, yangın riskini minimize etmek açısından önemlidir.

BÖLÜM 3

GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNDE YANGIN RİSK ANALİZİNE YÖNELİK BİR UYGULAMA

3.1 Araştırmanın Amacı

Bu araştırmanın amacı, Ankara ili Beypazarı ilçesinde yer alan Şerefli GES santrallerinin yangın risklerini belirlemek ve bu risklerin yönetimine yönelik öneriler geliştirmektir. Çalışma, santrallerde yangına neden olabilecek olası faktörlerin (örneğin, sıcaklık dalgalanmaları, ekipman özellikleri, bakım süreçlerindeki eksiklikler ve çevresel etkiler) detaylı bir şekilde analiz edilmesini hedeflemektedir. Bu bağlamda, Şerefli GES santralleri, bölgedeki güneş enerji üretim tesislerini temsil etme kapasitesine sahip olmaları nedeniyle örneklem olarak seçilmiştir.

Araştırmanın temel hedefi, güneş enerji santrallerinde yangın riskine neden olan unsurların belirlenmesi, bu unsurların sistematik bir şekilde analiz edilmesi ve elde edilen bulgular ışığında yangın risklerini minimize edecek çözüm önerilerinin sunulmasıdır.

3.2 Araştırmanın Modeli

Bu çalışma, güneş enerji santrallerinde (GES) yangın risklerini analiz etmek amacıyla tasarlanmış bir saha araştırmasıdır. Araştırmada, yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan fotovoltaik (PV) sistemlerin işletim süreçlerinde ortaya çıkabilecek yangın risk faktörleri incelenmiştir. Çalışma, karma yöntem yaklaşımı ile gerçekleştirilmiş olup, hem nicel hem de nitel veriler kullanılmıştır.

3.3 Çalışma Grubu

Araştırmanın evrenini, Ankara'nın Beypazarı ilçesinde faaliyet gösteren güneş enerji santralleri oluşturmaktadır. Bu bölge, yüksek güneşlenme süresi ve enerji üretim potansiyeli nedeniyle seçilmiştir. Özellikle Şerefli mevkiinde yer alan ve farklı parsellerde bulunan 5 ayrı GES (Şerefli GES 1, 2, 3, 4, 5) araştırmanın ana odağı olmuştur.

Evren: Ankara Beypazarı'nda bulunan tüm güneş enerji santralleri.

Örneklem: Şerefli GES'e ait beş ayrı santral (466 ve 759 parselde yer alan GES'ler). Bu santraller, homojen enerji üretim kapasitesi ve kullanılan ekipman türü açısından temsiliyet sağlamaktadır.

Tablo 3.1. Güneş enerjisi santrallere ilişkin detaylar.

GES Adı	Parsel Numarası	Kapasite (kWp)	Kurulum Tarihi	Alan (m ²)
Şerefli GES 1	466	923,2	02.02.2018	1090,2
Şerefli GES 2	466	923,2	02.02.2018	1090,2
Şerefli GES 3	466	923,2	02.02.2018	1090,2
Şerefli GES 4	466	923,2	02.02.2018	1090,2
Şerefli GES 5	759	923,2	21.02.2018	1090,2

Tablo 3.1’de örnekleme dahil edilen güneş enerjisi santrallerine (GES) ilişkin temel bilgiler sunulmaktadır. Toplamda 5 GES bulunmaktadır ve bunlardan Şerefli GES 1, GES 2, GES 3 ve GES 4 aynı parselde (466) kurulmuşken, Şerefli GES 5 farklı bir parselde (759) yer almaktadır. Tüm santrallerin kapasitesi 923,2 kWp olup, bu durum santrallerin üretim kapasiteleri açısından birbirleriyle aynı özelliklere sahip olduğunu göstermektedir. Kurulum tarihleri incelendiğinde, Şerefli GES 1-4’ün aynı tarihte (02.02.2018) kurulduğu, Şerefli GES 5’in ise yaklaşık 19 gün sonra (21.02.2018) devreye alındığı görülmektedir. Ayrıca her bir santral için tahsis edilen alanın 1.090,2 m² olması, bu santrallerin benzer teknolojilere dayandığını ve aynı miktarda arazi gereksinimine sahip olduğunu göstermektedir.

3.4 Veri Toplama Yöntemleri

Çalışmada kullanılan veri toplama yöntemleri şu şekilde sınıflandırılmıştır:

Doküman Analizi: Beypazarı’ndaki GES’lerin teknik altyapısına ve yangın risk faktörlerine yönelik dokümanlar incelenmiştir. Bu kapsamda tesis raporları, bakım dökümanları ve elektrik sistem şemaları değerlendirilmiştir.

FMEA (Hata Türleri ve Etkileri Analizi): Fotovoltaik sistemlerdeki olası yangın risklerini belirlemek amacıyla Ön Hata ve Etki Analizi (FMEA) yöntemi kullanılmıştır. Bu analizde, PV paneller, invertörler, kablolar ve trafo gibi bileşenlerin yangına neden olabilecek faktörleri incelenmiştir.

Araştırmada, fotovoltaik sistemlerin güvenlik unsurları ve yangın riski faktörlerini detaylı bir şekilde analiz etmek için aşağıdaki yöntemler benimsenmiştir:

3.4.1. Gezi ve Gözlem

Solarex Güneş Enerjisi Fuarı’nda yapılan saha çalışmaları kapsamında dört firma ziyaret edilmiştir:

1) Stäubli Sanayi Makine ve Aksesuarları Tic. Ltd. Şti.: PV konnektörlerin yapısal özellikleri ve yangın riski üzerindeki etkileri incelenmiştir. Firma temsilcileriyle yapılan görüşmelerde, PV konnektörlerin yüksek sıcaklık dayanımı ve izolasyon kalitesi gibi yangın riski faktörleri hakkında bilgi alınmıştır.



Resim 3.1. Stäubli Sanayi tarafından kullanılan PV konnektörler ve montaj araçları.

2) Ningbo Juli New Material Technology Co., Ltd. : Jolic Product Application Field PV fotovoltaik bağlantı kutularının tasarımı, termal güvenlik ve yangın dayanımı açısından değerlendirilmiştir. Firmanın sunduğu ürünlerin yangın dayanımı, su geçirmezlik ve termal güvenlik özellikleri gözlemlenmiştir.



Resim 3.2: Ningbo Juli New Material Technology Co., Ltd. firmasına ait PV fotovoltaiik bağlantı kutuları.

3) Smart Güneş Teknolojileri: Şirketin fuardaki standında yapılan görüşmelerde, bağlantı elemanlarının dayanıklılığı ve yangın risklerini azaltmaya yönelik kullanılan teknolojiler hakkında bilgi alınmıştır. Ayrıca, termal yönetim stratejileri değerlendirilmiştir.



Resim 3.3. Smart Güneş Teknolojileri firması fuar standı.

4. Eviriciler ve Güç Optimizasyon Sistemleri: Sinerji teknolojisine sahip 3 fazlı eviriciler, 100 kW'a kadar güç optimizasyonu sağlayan sistemlerle değerlendirilmiştir.

Bu sistemlerin yangın riskine etkisi, aşırı yüklenme durumlarındaki termal yönetim kapasitelerine göre analiz edilmiştir.



Resim 3.4. 100 kW kapasiteli sinerji teknolojisine sahip eviriciler.

Görsel Denetim ve Alan Çalışması: Şerefli GES tesislerinde saha ziyaretleri gerçekleştirilmiş ve santrallerde kullanılan güvenlik sistemleri (yangın dedektörleri, otomatik söndürme sistemleri) gözlemlenmiştir. Çevresel faktörler (bitki örtüsü, hayvansal etkiler, sıcaklık değişimleri) değerlendirilmiştir.

Araştırmanın aşamaları aşağıdaki şekilde gerçekleştirilmiştir:

- **Saha Ziyaretleri:** Ankara Beypazarı'nda yer alan Şerefli GES istasyonlarına saha ziyaretleri gerçekleştirilerek santral alanında yangın riskine yönelik gözlemler yapılmıştır.
- **Teknik İncelemeler:** Santrale ait teknik dokümanlar, bakım raporları ve elektrik sistem şemaları detaylı bir şekilde incelenmiş ve potansiyel yangın risk faktörleri belirlenmiştir.
- **Standartlara Dayalı Analiz:** Tespit edilen risk faktörleri, ulusal ve uluslararası yangın güvenliği standartları (ör. IEC 62446, NFPA 70) çerçevesinde analiz edilmiştir.

- **Öneri Geliştirme:** Araştırma bulguları doğrultusunda, güneş enerji santrallerinde kullanılan yangın güvenlik sistemlerinin etkinliğini artırmaya yönelik stratejik öneriler geliştirilmiştir.
- **Sektörel İşbirlikleri:** Uluslararası Solarex Güneş Enerjisi Teknolojileri Fuarı ziyaret edilmiş; bu alanda üretici ve uygulayıcı firmalarla bilgi alışverişinde bulunularak yangın güvenliğini artırmaya yönelik teknik çözümler değerlendirilmiştir.

3.4.1. Verilerin değerlendirilmesi

Toplanan veriler hem betimsel hem de istatistiksel analiz yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. FMEA (Hata Türleri ve Etkileri Analizi) yöntemi ile elde edilen bulgular, risk öncelik seviyelerine göre sıralanmıştır. Yangın risk faktörleri, risk düzeylerine göre kategorize edilmiş ve bu bağlamda ilgili tablolar ve grafikler oluşturulmuştur.

3.5. Güneş Enerji Santrallerinde Yangın Risklerine İlişkin Bulgular

Araştırmada, Şerefli GES santrallerine yönelik yangın risk faktörleri detaylı bir şekilde incelenmiş ve bu faktörler risk öncelik seviyelerine göre kategorize edilmiştir. Bulgular aşağıdaki başlıklar altında sunulmaktadır:

1. Elektriksel Faktörler

- **DC ve AC Kablolar:** Fotovoltaik (PV) panelleri birbirine bağlayan DC ve AC kablolarındaki izolasyon problemleri, yangın riskini artıran temel unsurlardan biri olarak belirlenmiştir. Aşırı ısınma, zayıf bağlantılar ve çevresel etkiler (örneğin, kemirgenlerin neden olduğu hasarlar veya hava koşullarına bağlı yıpranmalar) kablo arızalarına yol açmakta ve bu durum yangın riskini tetiklemektedir.
- **İnvertör Problemleri:** Şerefli GES tesislerinde invertörlerin bakım süreçlerinde aksaklıklar tespit edilmiştir. Özellikle aşırı yüklenme ve termal etkiler, invertörlerde arızalara neden olarak yangın riskini önemli ölçüde artırmaktadır.

2. Çevresel Faktörler

- **Bitki Örtüsü ve Kurumuş Malzemeler:** Şerefli GES 2 ve GES 4 çevresinde yer alan kurumuş bitkiler ve otlar, yangının yayılma riskini artıran önemli bir

çevresel faktör olarak öne çıkmaktadır. Bu risk, özellikle yaz aylarında yüksek sıcaklıkların etkisiyle daha kritik bir boyut kazanmaktadır.

- Hayvansal Etkiler: Kemirgenler ve kuşlar, kablo izolasyonlarına zarar vererek elektriksel arızalara yol açabilmekte ve böylelikle yangın riskini artırmaktadır.

3. Bakım ve İşletme Hataları

Santrallerde düzenli bakım çalışmalarının eksikliği ve personel yetersizliği, yangın riskini artıran önemli unsurlar arasında yer almaktadır. Özellikle yangın dedektörlerinin test edilmediği ve yangın söndürme ekipmanlarının periyodik kontrollerinin yapılmadığı tespit edilmiştir. Bu durum, acil müdahale sistemlerinin etkinliğini azaltarak yangın riskini daha da kritik hale getirmektedir.

3.6. Güneş Enerji Santrallerinde Risk Öncelik Analizi (İlişkin Bulgular)

FMEA yöntemi kullanılarak yapılan analizde, risk faktörleri aşağıdaki tabloda özetlenmiştir:

Tablo 3.2. Şerefli GES Santrallerinde Yangın Risk Faktörleri ve Risk Öncelik Numaraları (RPN).

Risk faktörü	Olasılık	Şiddet	Tespit edilebilirlik	RPN(Risk öncelik numarası)
DC Kablolarda İzolasyon Problemi	4	5	3	60
İnventör Aşırı Isınması	3	4	2	24
Kurumuş bitki örtüsü	5	4	4	80
Yangın dedektör bakım eksikliği	3	5	4	60
Hayvansal Zarar(kemirgen/Kuş)	4	3	3	36

Tablo 3.2’de Şerefli GES santrallerinde yangın risk faktörleri, FMEA (Hata Türleri ve Etkileri Analizi) yöntemiyle analiz edilmiş ve risk öncelik numaralarına (RPN) göre sıralanmıştır. Risk faktörleri, olasılık, şiddet ve tespit edilebilirlik kriterlerine göre değerlendirilmiş ve bu değerlerin çarpımıyla RPN değerleri hesaplanmıştır. Analiz sonuçlarına göre, en yüksek RPN değeri olan 80 ile "kurumuş bitki örtüsü" faktörü, yangın riskine karşı en kritik tehdit olarak öne çıkmaktadır. Özellikle yaz aylarında artan sıcaklıklarla birleştiğinde, bu faktör yangının başlaması ve yayılması açısından büyük bir risk taşımaktadır.

Bunun yanı sıra, "DC kablolarında izolasyon problemi" ve "yangın dedektörü bakım eksikliği" faktörleri, 60’lık RPN değeri ile yüksek öncelikli riskler arasında yer

almaktadır. Kablo izolasyon problemleri, doğrudan yangına neden olabilecek temel bir etkenken, yangın dedektörlerinin düzenli olarak bakımının yapılmaması, olası yangınlara erken müdahale şansını azaltarak güvenlik düzeyini ciddi şekilde düşürmektedir. Daha düşük ancak yine de dikkate alınması gereken risk faktörleri arasında "hayvansal zararlar" (RPN: 36) ve "invertör aşırı ısınması" (RPN: 24) bulunmaktadır. Hayvanların kabloları verdikleri zararlar, elektriksel arızalara yol açarak dolaylı yoldan yangın riskini artırırken, invertör aşırı ısınması ise termal etkilerle yangın ihtimalini arttırmaktadır.

Bulguların değerlendirilmesi:

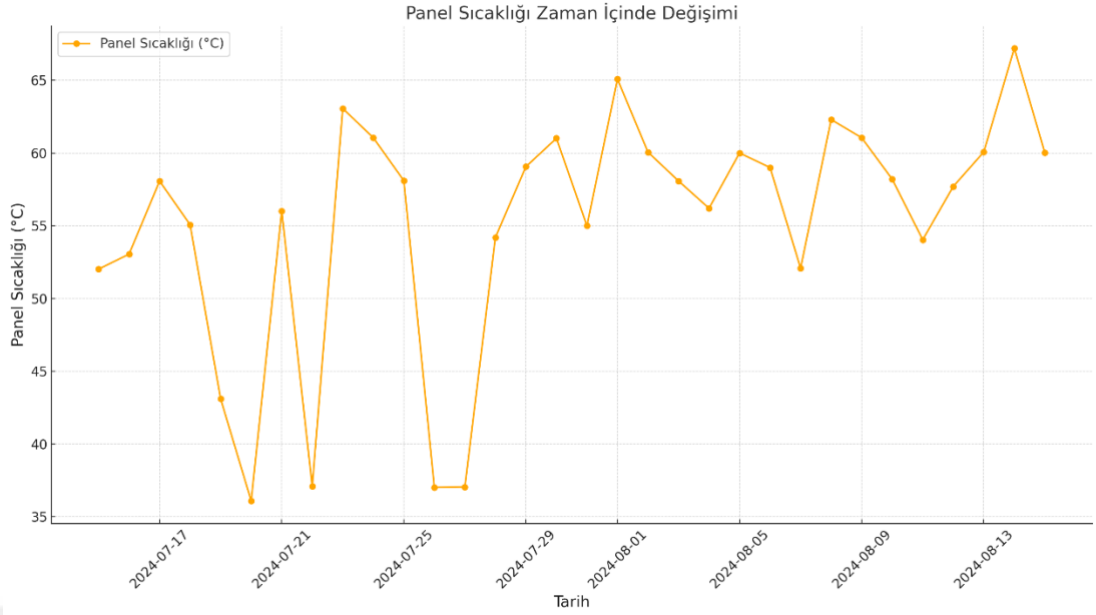
Fotovoltaik Sistemlerde Yangın Riski Yönetimi: Bulgular, güneş enerji santrallerinde yangın risklerinin büyük ölçüde çevresel faktörlerden ve ekipman arızalarından kaynaklandığını göstermektedir. Risk öncelik numarası yüksek olan durumlar, santrallerin daha güvenli bir işletim süreci sağlaması için öncelikli müdahale gerektirmektedir.

Uluslararası Standartlarla Karşılaştırma: Araştırmada elde edilen bulgular, uluslararası standartlarla karşılaştırıldığında (örneğin, IEC 62446 ve NFPA 70), yangın risk yönetimi konusunda eksiklikler olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle periyodik bakım ve yangın güvenliği sistemlerinin etkin kullanımı gereklidir.

Beypazarı'nın İklimsel Özellikleri: Beypazarı bölgesinde yaz aylarında artan sıcaklıklar, güneş enerji santrallerinde yangın riskini artırmaktadır. Bu durum, kurumuş bitki örtüsü ve ekipmanların aşırı ısınma riskini daha da kritik hale getirmektedir.

3.7. Güneş Enerji Santrallerinde Sıcaklık Analizi (İlişkin Bulgular)

Araştırmada, güneş enerji santrallerinde sıcaklık değişimlerinin yangın risklerine etkisi incelenmiştir. Şerefli GES tesislerinden alınan sıcaklık ölçümlerine göre, panel sıcaklıklarında belirgin dalgalanmalar gözlenmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Panel Sıcaklıklarının Zaman İçerisindeki Değişimi.

Analiz sonuçlarına göre, panel sıcaklıkları 35°C ile 65°C arasında değişiklik göstermiştir. Bu sıcaklık aralığı, güneş enerji santralleri için hem normal çalışma koşullarını hem de yangın riski açısından kritik seviyeleri kapsamaktadır.

Yüksek sıcaklık değerleri, özellikle aşırı ısınma ve buna bağlı olarak elektriksel arızaların meydana gelmesine neden olmakta, bu durum yangın riskini artıran temel faktörlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Yaz aylarında gözlemlenen aşırı sıcaklık dönemleri, yangın riskinin daha yüksek olduğunu açıkça göstermektedir.

Çözüm Önerileri:

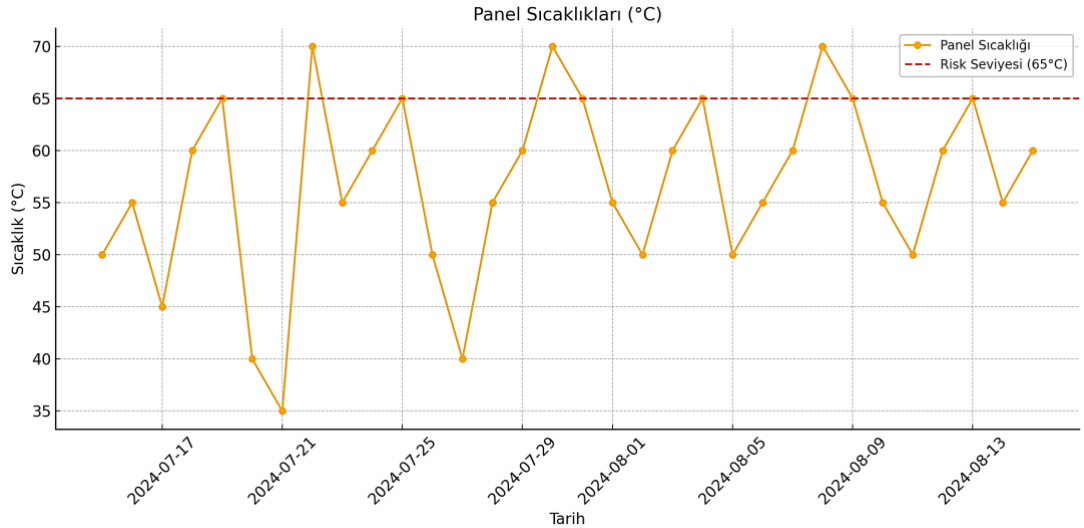
- **Düzenli Bakım:** Güneş enerji santrallerindeki DC kablo izolasyonu ve invertörlerin periyodik kontrollerinin yapılması, elektriksel risklerin minimize edilmesi açısından kritik önem taşımaktadır. Bu düzenli kontroller, sıcaklık artışına bağlı elektriksel arızaların ve yangın riskinin önlenmesine katkı sağlayacaktır.
- **Çevresel Temizlik:** Santral çevresinde bulunan kurumuş bitki örtüsünün düzenli olarak temizlenmesi, yangının yayılma riskini azaltacaktır. Ayrıca, santral çevresinin yangına karşı izole edilmesi için gerekli çevresel düzenlemelerin yapılması önerilmektedir.

- **Personel Eğitimi:** Güneş enerji santrallerinde görevli personelin yangın güvenliği konusunda eğitilmesi gereklidir. Yangın söndürme ekipmanlarının etkin kullanımı, yangın sırasında müdahale süresini kısaltarak olası hasarları minimize edebilir.
- **Gelişmiş Güvenlik Sistemleri:** Daha hassas ve hızlı algılama sağlayan modern yangın dedektörlerinin kullanılması önerilmektedir. Bu sistemler, yangın başlangıcını daha erken tespit ederek müdahale süresini kısaltmakta ve güvenlik seviyesini artırmaktadır.

Elde edilen bulgular, sıcaklık değişimlerinin güneş enerji santrallerinde yangın riski açısından kritik bir faktör olduğunu göstermektedir. Özellikle yaz aylarında aşırı sıcaklıkların olduğu dönemlerde riskin arttığı göz önünde bulundurulmalı ve bu dönemlerde önleyici bakım faaliyetleri yoğunlaştırılmalıdır.

3.7.1. Panel Sıcaklıkları

Genel Eğilim: Panel sıcaklıkları 50°C ile 70°C arasında değişim göstermiştir. Risk seviyesi olan 65°C'nin üzerine, özellikle 20 Temmuz ve 1 Ağustos tarihlerinde çıkıldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, sıcaklık artışının mevsimsel etkiler ve güneş ışınımı yoğunluğu ile doğrudan ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 3.2. Panel Sıcaklıklarının Zaman İçerisindeki Değişimi.

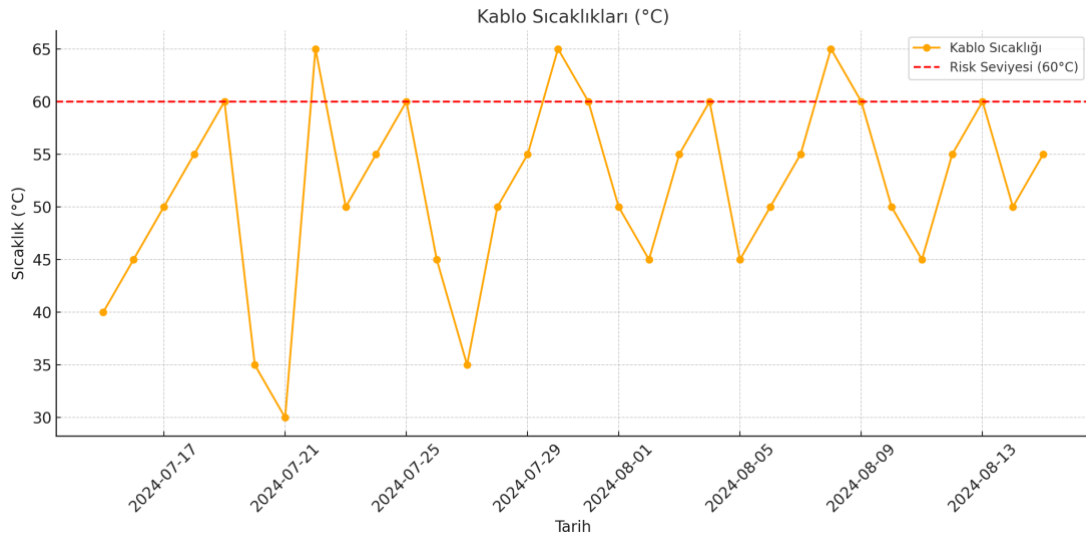
Risk Analizi: Panel sıcaklıklarının 70°C seviyesine ulaşması, panellerin termal dayanıklılığını aşarak malzeme yorulmasına ve izolasyonun zayıflamasına neden olabilir. Bu durum, panel üzerinde elektrik arkı oluşumu riskini artırır ve dolayısıyla yangın tehlikesine yol açabilir. Ayrıca, uzun süreli yüksek sıcaklıklar, fotovoltaik

hücrelerde verim kaybına ve erken yaşlanmaya neden olarak ekonomik kayıplara yol açabilir. Sıcaklık dalgalanmaları, malzemelerin termal genleşme ve büzülme döngüsüne maruz kalmasına yol açarak mekanik stresleri artırır.

Öneriler: Panel sıcaklıklarının düzenli olarak izlenmesi ve kritik seviyelere ulaşıldığında soğutma mekanizmalarının devreye sokulması gerekmektedir. Ayrıca, yüksek sıcaklığa dayanıklı malzemelerin kullanımı ve verimli soğutma sistemlerinin tasarımı önem arz etmektedir.

3.7.2. Kablo Sıcaklıkları

Genel Eğilim: Kablo sıcaklıkları 30°C ile 65°C arasında değişim göstermiştir. Özellikle 25 Temmuz tarihinde sıcaklıkta ani bir yükseliş (30°C'den 65°C'ye) kaydedilmiştir. Bu tür ani dalgalanmalar, kablolar üzerindeki termal stresin artmasına neden olmaktadır.



Şekil 3.3. Kablo Sıcaklıklarının Zaman İçerisindeki Değişimi.

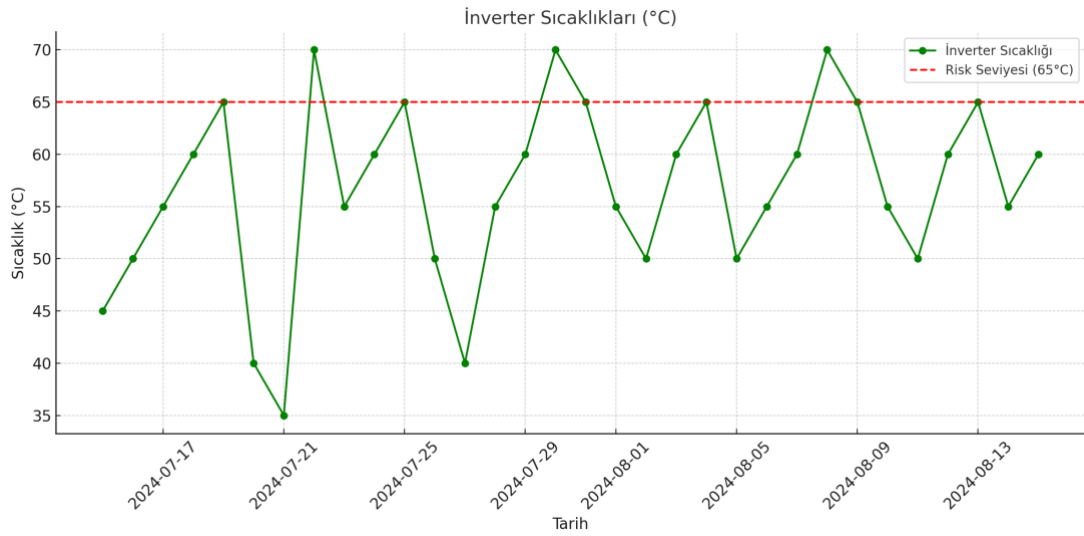
Risk Analizi: Kablo sıcaklıklarının ani şekilde yükselmesi, izolasyon malzemelerinde deformasyona ve mekanik gerilimlere neden olmaktadır. Uzun süre 60°C üzerinde kalan kablolarda izolasyon gevşemesi, iletkenlerde oksidasyon ve elektriksel arızalar riski artar. Yüksek sıcaklık, kablo hatlarında elektrik arkı oluşumunu tetikleyerek yangın riskini artırabilir. Ayrıca, sıcaklık dalgalanmalarının sık yaşanması, kabloların ömrünü kısaltarak bakım maliyetlerini artırabilir.

Öneriler: Kablo güzergâhlarında çevresel etkenlerden (kemirgenler, nem, güneş ışınımı) kaynaklanan sıcaklık artışlarının önlenmesi amacıyla koruyucu kanallar

kullanılmalıdır. Ayrıca, sıcaklık dayanımı yüksek izolasyon malzemeleri tercih edilmeli ve kablo güzergâhlarında düzenli termal kontroller yapılmalıdır.

3.7.3. İnverter Sıcaklıkları

Genel Eğilim: İnverter sıcaklıkları 40°C ile 70°C arasında seyretmiştir. Özellikle 22 Temmuz ve 1 Ağustos tarihlerinde sıcaklıkların kritik seviye olan 70°C'ye ulaştığı tespit edilmiştir. Bu durum, invertörlerin soğutma sistemlerinin yetersiz kaldığını ve yüksek sıcaklıkların bileşenlere zarar verebileceğini göstermektedir.



Şekil 3.4. İnverter Sıcaklıklarının Zaman İçerisindeki Değişimi.

Risk Analizi: İnverter sıcaklıklarının 70°C'ye ulaşması, elektronik bileşenlerin aşırı ısınmasına ve buna bağlı olarak devre elemanlarında hasara yol açabilir. Bu durum, enerji dönüşümünde verim kaybına ve cihazların ömrünün kısılmasına neden olabilir. Özellikle yetersiz soğutma sistemi bulunan invertörlerde, yüksek sıcaklıklar yangın riskini tetikleyen bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, sıcaklık artışı, invertörlerin devre dışı kalmasına yol açarak enerji üretiminde kesintilere neden olabilmektedir.

Öneriler: İnverterlerde verimli soğutma sistemleri kullanılmalı ve termal yönetim stratejileri geliştirilmelidir. Soğutma fanlarının düzenli bakımı ve filtrelerin temizlenmesi gibi önlemler, yüksek sıcaklıkların invertör performansı üzerindeki olumsuz etkilerini azaltabilir. Ayrıca, aşırı sıcaklıkların yaşandığı bölgelerde invertör yerleşim planları gölge alanlara göre düzenlenmelidir.

Genel Değerlendirme

Panel, kablo ve invertör sıcaklıklarının düzenli izlenmesi ve kritik seviyelere ulaşıldığında erken müdahale yapılması gereklidir. Özellikle sıcak yaz aylarında termal stresin artışı, yangın riskinin önemli ölçüde yükselmesine neden olmaktadır. Bu risklerin minimize edilmesi için modern izleme sistemleri, sıcaklığa dayanıklı malzeme kullanımı ve periyodik bakım faaliyetleri bir arada uygulanmalıdır. Bu sayede yangın riskleri minimize edilirken, enerji santralinin verimliliği ve ekonomik sürdürülebilirliği artırılabilir



BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Ankara ili Beypazarı ilçesinde yer alan Şerefli GES santrallerinde yangın risklerini analiz etmek, bu riskleri etkileyen faktörleri belirlemek ve yangın risk yönetimine yönelik çözüm önerileri sunmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, güneş enerji santrallerinin yangın risklerini etkileyen teknik, çevresel ve operasyonel faktörler detaylı bir şekilde incelenmiştir. Saha çalışmaları ve mevcut literatürün bir araya getirilmesiyle elde edilen bulgular, hem akademik literatüre katkı sunmuş hem de sektörel uygulamalar için rehber niteliğinde öneriler geliştirilmiştir.

Şerefli GES santrallerinde yapılan analizlerde, yangın riskine neden olan faktörler detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Panel, kablo ve inverter sıcaklıklarının zaman içerisindeki değişimi incelenmiş ve kritik seviyelerin aşılması durumunda oluşabilecek riskler analiz edilmiştir. Özellikle panel sıcaklıklarının 65°C'yi, inverter sıcaklıklarının ise 70°C'yi aştığı durumlar, malzeme dayanıklılığını zorlayan ve yangın riskini artıran durumlar olarak belirlenmiştir. Kablo sıcaklıklarının ani dalgalanmalar göstermesi, izolasyon malzemelerinde deformasyona ve elektriksel arızalara neden olma potansiyeli taşımaktadır. Bu sıcaklık analizleri, güneş enerji santrallerinde termal yönetim ve düzenli bakımın önemini vurgulamaktadır.

Bulgular, yalnızca teknik faktörlere değil, aynı zamanda çevresel ve operasyonel faktörlere de ışık tutmuştur. Çevresel yönetim eksiklikleri, özellikle santral çevresinde biriken kurumuş otların ve hayvansal etkilerin yangın riskini artırdığını göstermiştir. Ayrıca, yangın algılama ve söndürme sistemlerinin yetersizliği, santrallerde oluşabilecek yangınların erken müdahale ile önlenmesi konusundaki eksikliklere dikkat çekmiştir. Bu araştırma, güneş enerji santrallerinde yangın risk analizi konusunda önemli katkılar sağlamıştır. İlk olarak, yangın risklerini analiz etmek için FMEA (Hata Türleri ve Etkileri Analizi) ve Ön Tehlike Analizi (PHA) yöntemlerinin uygulanabilirliğini ortaya koymuş ve bu yöntemlerin yenilikçi kullanım alanlarını göstermiştir. Risk faktörlerinin değerlendirilmesi sırasında saha verilerinin kullanılması, çalışmanın uygulama sahasında pratik faydalar sunmasını sağlamıştır. Özellikle Şerefli GES santrallerinde yapılan analizler, Türkiye'deki güneş enerji

santrallerinin mevcut durumunu değerlendirmek ve uluslararası standartlarla karşılaştırmak açısından önemli veriler sunmuştur. Araştırma, güneş enerji santrallerinde risk yönetimi uygulamalarının uluslararası standartlarla uyumlu hale getirilmesi gerektiğini vurgulamıştır. IEC 62446 ve NFPA 70 gibi standartların, Türkiye'deki santrallerin performans ve güvenlik testlerinde yetersiz uygulandığı belirlenmiştir. Bu durum, santrallerde yangın riskinin azaltılması ve güvenliğin artırılması için yerel düzenlemelerin uluslararası standartlarla uyumlu hale getirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

neriler ve Uygulama Alanları

Çalışmanın sonuçlarına dayanarak, güneş enerji santrallerindeki yangın risklerini azaltmak için bir dizi öneri geliştirilmiştir:

1. Santral çalışanlarına düzenli olarak yangın güvenliği eğitimi verilmesi ve yeni işe başlayan personel için kapsamlı bir oryantasyon programı düzenlenmesi önerilmektedir. Bu, yangın risklerinin tanınması ve acil durumlarda doğru müdahale yapılması açısından kritik öneme sahiptir.
2. PV paneller, kablolar ve inverterler gibi santral bileşenlerinin düzenli olarak bakım ve denetime tabi tutulması gerekmektedir. Özellikle kablo izolasyonunun sağlamlığı, bağlantı noktalarının sıklığı ve yangın algılama sistemlerinin alışırlığı titizlikle kontrol edilmelidir.
3. Santral çevresindeki yanıcı malzemelerin düzenli olarak temizlenmesi, çevresel faktörlerin (hayvanlar, rüzgarla taşınan maddeler) izlenmesi ve önleyici tedbirlerin alınması gereklidir. Doğal bariyerlerin oluşturulması ve evre düzenlemesinin yapılması, yangının yayılma riskini azaltacaktır.
4. Modern yangın algılama ve söndürme sistemlerinin (r. FireLine EN54 doğrusal ısı algılama sistemleri) santrallere entegre edilmesi önerilmektedir.
5. Yangın durumunda uygulanacak acil durum planlarının hazırlanması ve düzenli tatbikatlarla test edilmesi gereklidir. Bu, olası yangın durumlarında can ve mal kaybının en aza indirilmesini sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- [1] Kahriman A.,Araş. Gör. Kurşun İ.,(15.07.2015), “AB’ye Giriş Sürecinde Türkiye Enerji Politikaları”, <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] K. Çomaklı, Ders, Konu: “Yanma ve Yangın,” Atatürk Üniversitesi, Erzurum. G 1
- [4] Ş. Sunar, (1979). *Yangından Korunma ve Bina Yangın Güvenlik İlkeler Çelişkiler Gerçekler*, İTÜ Mimarlık Fakültesi. G 3
- [5] A. İnce, (1998). “Yangın Yerindeki Tehlikeler.” *İtfaiye 110 Dergisi*, 4(16). G 5
- [6] M. Özgüner, (1994). “Pasif Yangın Güvenlik Önlemlerinde Etkili Olan Tasarım Değişkenleri ve İlgili Mevzuatın İrdelenmesi.” Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. İstanbul. G 6
- [7] Anonim, (2002). “World Trade Center Building Performance Study.” FEMA 403, Washington. G
- [8] C. Alimoğulları, Ders, Konu: “Pozitif Akademi C Sınıfı İş Güvenliği Uzmanlığı Sertifika Eğitimi,” Tarsus Üniveristesi. G 8
- [9] Erman Akademi İşyeri Hekimliği ve İş Güvenliği Uzmanlığı Eğitim Kurumu Ders Kitabı. G 9
- [10] E. Özkan, (2002). “Çelik yapı bileşenlerinde alınması gereken yangın güvenlik önlemleri ve bir uygulama örneği.” Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara. G 10
- [11] BYKHY (2015). Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik. G 11
- [12] A. Kılıç ve K., Beceren, (1999). “Mimari tasarımda yangın güvenliği.” IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, İzmir. G 12
- [13] A. Sezer, (2017). “Hastanelerde Risk Analizi.” *Güvenlik Yönetimi Dergisi*. G 16
- [14] O. Kaya, (2019). “Yüksek Binalarda Yangın ve Yangın Güvenlik Önlemlerinin Modellenerek İncelenmesi.” Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. G 17
- [15] H. Başdemir, F., Demirel, (2010). “Pasif Yangın Güvenlik Önlemleri Bağlamında Bir Literatür Araştırması.” *Politik Dergisi*, 13(2), ss. 101-109. G 24
- [16] M. Kılıç, (2003). “Yapılarda Yangın Güvenliği ve Söndürme Sistemleri.” *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 8(1). G 25
- [17] S. Küçük, (2001). “Yanma Sırasında Oluşan Yanma Ürünleri ve İnsan Sağlığı Üzerindeki Olumsuz Etkileri.” Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 7 8
- [18] M.D. Egan, (1978). “Consepts in Building Firesafety”, *Jhon Wiley&Sons, Inc.*, 2(10), ss. 38-50. 7 15
- [19] R. Chitty, and J.F. Mitchell, (2003). “Fire Safety Engineering A Reference Guide,” *Building Research Establishment*, 2(30), ss. 44-54. 7 18
- [20] İnternet: Fire Behavior, <http://www.jjay.cuny.edu/course documents/unit 1 7 19>
- [21] T.J. Shields, and G.W.H. Silcock, (1987). “Buildings and Fire,” *Longman Scientific & Technical*, 64(110), 290-295. 7 21
- [22] H. Carter, (1998). “Fire Fighting Strategy and Tastisc. Fire Protection Publications,” *Oklohoma State University*. 7 24

- [23] Ekol Ekspertiz, <https://www.ekolekspertiz.com.tr/cati-tipi-gunes-enerjisi-santralleri-risk-ve-hasar-uygulamalari/> Erişim tarihi: 25.12.2023.
- [24] Risk Değerlendirme Bülteni, (2021). Enerji Santrallerinde Artan Hırsızlık Hadiseleri Risk Hasar Değerlendirmesi. Sayı: 2021/5.
- [25] Risk Değerlendirme Bülteni, (2018). Hasar servisi ve underwriterlar için mühendislik branşı risk ve hasar değerlendirmeleri. Sayı: 2018/06
- [26] 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.
- [27] T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, (2021), Ankara İli Fotovoltaik Panel Üretim Tesisi Ön Fizibilite Raporu.
- [28] FyreLine EN54 Fixed, <https://eurofyre.co.uk/news/fyrelines-en54-fixed-solar-panel-linear-heat-detection/> Erişim tarihi: 20.06.2024.
- [29] International Electrotechnical Commission (IEC). (2015). *IEC 62446: Photovoltaic (PV) systems - Requirements for testing, documentation and maintenance*. Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission.
- [30] National Fire Protection Association (NFPA). (2020). *NFPA 70E: Standard for electrical safety in the workplace*. Quincy, MA: National Fire Protection Association.
- [31] Altun, M., & Çelik, A. (2023). Risk management in photovoltaic systems: A case study of Turkey's solar power plants. *Renewable Energy and Safety Journal*, 35(2), 145-159. <https://doi.org/10.1016/j.resen.2023.100000>
- [32] Yılmaz, B., & Kaya, S. (2022). Fire hazards in photovoltaic installations and risk mitigation strategies. *Energy Systems Safety Review*, 18(4), 255-273. <https://doi.org/10.1016/j.essr.2022.100000>
- [33] Stäubli Sanayi Makine ve Aksesuarları Tic. Ltd. Şti. (2024). PV connectors and fire resistance features. *Stäubli Group*. Retrieved November 30, 2024, from <https://www.staubli.com>
- [34] Solarex Güneş Enerjisi Teknolojileri Fuarı. (2024). *International solar power technology expo*. Retrieved November 30, 2024, from <https://www.solarex.com.tr>

EKLER

Ek-1: FMEA Şablonu: Güneş Enerjisi Santrallerinde Yangın Riski

Proses Adımı	Olası Hata Modu	Hatanın Olası Etkileri	Şiddet (S)	Olası Nedenler	Oluşum (O)	Mevcut Kontroller	Tespit (D)	RPN	Önerilen Aksiyonlar	Sorumlu Kişi	Hedef Tarih	Durum
PV Modüllerin İşletimi	Modüllerde aşırı ısınma	Yangın çıkması, sistem hasarı	9	Modül arızası, bağlantı hataları	4	Periyodik bakım, termal görüntüleme	3	108	Modül sıcaklık sensörleri eklenmesi	Bakım Ekibi	1 Ay	Açık
PV Modüllerin İşletimi	PV hücrelerinde mikro çatlaklar	Verim düşüşü, lokal ısınma, yangın riski	7	Mekanik stres, üretim hataları	5	Görsel denetimler, performans izleme	4	140	Mikro çatlak tespiti için ileri test yöntemleri	Kalite Kontrol Ekibi	2 Ay	Açık
Kablo Tesisatı	Kablolarda izolasyon hatası	Kıvılcım, ark oluşumu, yangın riski	8	Mekanik hasar, UV ışıınımı, kemirgen zararı	6	Kablo kanalları, koruyucu kılıflar	5	240	Kemirgen önleyici tedbirlerin alınması	Elektrik Ekibi	3 Hafta	Açık
Kablo Tesisatı	Kablo bağlantılarında gevşeme	Aşırı ısınma, kıvılcım, enerji kaybı	7	Uygun olmayan sıkma torku, titreşim	5	Periyodik tork kontrolü	4	140	Bağlantı elemanlarının yenilenmesi ve tork eğitimleri	Bakım Ekibi	1 Ay	Açık
İnvertör İşletimi	İnvertörde iç komponent arızası	Aşırı ısınma, duman, yangın riski	8	Yüksek sıcaklık, toz birikimi	4	İnvertör izleme sistemleri, soğutma fanları	3	96	Toz ve sıcaklık sensörlerinin eklenmesi	Mühendislik Ekibi	1 Ay	Açık

Proje Adı: Güneş Enerjisi Santrali Yangın Riski Analizi

Açıklamalar:

Şiddet (S): Hatanın etkisinin ciddiyetini gösterir (1 = önemsiz, 10 = kritik).

Oluşum (O): Hatanın meydana gelme olasılığını gösterir (1 = çok düşük, 10 = çok yüksek).

Tespit (D): Mevcut kontrollerin hatayı tespit etme olasılığını gösterir (1 = çok yüksek, 10 = çok düşük).

RPN (Risk Öncelik Numarası): $S \times O \times D$ formülü ile hesaplanır. Yüksek RPN değerleri öncelikli olarak ele alınmalıdır.

FMEA Tablosu Yorumlama Rehberi:

FMEA tablosunu yorumlarken her bir sütunun ve değerin anlamına dikkat etmek, ayrıca tabloyu risk önceliklendirme ve karar alma süreçlerinde kullanmak önemlidir. Aşağıda tabloyu adım adım nasıl yorumlayabileceğinize dair bir rehber sunuyorum:

1. Proses Adımı: Analiz edilen sürecin hangi adımında potansiyel hatanın oluşabileceğini belirtir. Örneğin, "PV Modüllerin İşletimi" adımında hata analizi yapılıyorsa, bu adımda neler olabileceğine odaklanılmalıdır.

- **Yorum:** Tabloda sürecin her adımı ayrı bir satırda yer alır. Hangi adımda risklerin daha fazla yoğunlaştığını görmek için süreç adımlarını inceleyebilirsiniz.

2. Olası Hata Modu: Hata modları, her adımda meydana gelebilecek hata türlerini veya hatalı durumları temsil eder.

- **Yorum:** Her hata modunu ayrı ayrı inceleyerek, o süreç adımında hangi spesifik problemlerle karşılaşabileceğinizi görebilirsiniz.

3. Hatanın Olası Etkileri: Her hatanın sebep olabileceği sonuçlar burada tanımlanır, örneğin yangın çıkması veya ekipman hasarı gibi.

- **Yorum:** Etkilerin ciddiyetini değerlendirirken, hangi hataların büyük zararlar veya tehlikeler doğurabileceğini göz önünde bulundurabilirsiniz.

4. Şiddet (S): Hata meydana geldiğinde etkisinin ne kadar ciddi olduğunu gösterir (1 = çok düşük, 10 = çok yüksek).

- **Yorum:** Şiddet değeri yüksek olan hatalar daha tehlikeli veya yıkıcıdır. Bu değer, hangi risklerin daha ciddi sonuçlara yol açacağını gösterir.

5. Olası Nedenler: Her hata modunun meydana gelme olasılığı ve nedenleri burada belirtilir.

- **Yorum:** Hatanın nedenlerini bilmek, o hatayı önlemek için hangi kontrollerin veya iyileştirmelerin yapılabileceğini anlamaya yardımcı olur.

6. Oluşum (O): Hatanın meydana gelme olasılığını gösterir (1 = çok düşük, 10 = çok yüksek).

- **Yorum:** Oluşum değeri yüksek olan hatalar, daha sık gerçekleşen sorunları ifade eder. Hangi hataların daha sık meydana geldiğini anlamak için bu değere bakabilirsiniz.

7. Mevcut Kontroller: Mevcut durumda hata oluşumunu engellemek veya etkisini azaltmak için kullanılan kontroller.

- **Yorum:** Hangi kontrollerin işe yaradığını veya yetersiz olduğunu belirleyebilir ve gerekli iyileştirmeleri planlayabilirsiniz.

8. Tespit (D): Mevcut kontrollerin hatayı tespit etme olasılığını gösterir (1 = yüksek tespit, 10 = düşük tespit).

- **Yorum:** Tespit değeri yüksek olan hatalar, kolayca tespit edilemeyen sorunları gösterir. Tespiti zor olan riskler için daha sıkı kontroller planlanmalıdır.

9. RPN (Risk Öncelik Numarası): Şiddet (S), Oluşum (O) ve Tespit (D) değerlerinin çarpımıyla hesaplanır ($RPN = S \times O \times D$). Bu değer, riskin önceliğini belirlemek için kullanılır.

- **Yorum:** Yüksek RPN değeri, riskin öncelikle ele alınması gerektiğini gösterir. Öncelikli olarak hangi risklerin kontrol altına alınması gerektiğine karar verirken RPN sıralamasına dikkat edebilirsiniz.

10. Önerilen Aksiyonlar: Riskleri azaltmak veya ortadan kaldırmak için önerilen eylemler.

- **Yorum:** Önerilen aksiyonlar, her hata modunun önlenmesi veya etkilerinin azaltılması için planlanan önlemler ve faaliyetlerdir.

11. Sorumlu Kişi ve Hedef Tarih: Önerilen aksiyonlardan kimlerin sorumlu olduğunu ve aksiyonların ne zaman tamamlanması gerektiğini gösterir.

- **Yorum:** Sorumluluk dağılımı ve hedef tarihler, risk yönetiminde aksiyonların uygulanmasını takip etmenizi sağlar.

12. Durum: Aksiyonların tamamlanma veya güncel durumunu (Açık, Kapalı, Devam Ediyor vb.) gösterir.

- **Yorum:** Risk yönetim sürecinin ilerlemesini değerlendirebilir ve aksiyonların uygulanma durumunu gözlemleyebilirsiniz.

Genel Yorumlama ve Aksiyon Adımları:

- **Öncelik Belirleme:** RPN değeri en yüksek olan riskleri belirleyin. Bu riskler, ilk olarak ele alınması gereken kritik konuları temsil eder.
- **Kontrollerin Etkinliğini Değerlendirme:** Mevcut kontrollerin etkisini analiz ederek yetersiz veya zayıf kalan kontroller için ek önlemler planlayın.
- **Aksiyon Planı Oluşturma:** Önerilen aksiyonları gözden geçirerek sorumlu kişilere atanmış görevlerin durumunu takip edin.

- Periyodik Güncelleme: FMEA analizini düzenli olarak gözden geçirin. Yeni riskler veya süreç değişiklikleri varsa tabloyu güncelleyin.
- Bu yorumlama rehberi, FMEA tablosundan maksimum fayda sağlamanıza ve risklerinizi etkin bir şekilde yönetmenize yardımcı olur.

Ek-2: Fotovoltaik Güneş Enerji Santrallerinde Yangın Risk Analizi: Yöntem Kapsamında Görüşme ve Veri Toplama Süreci

Bu tablo, Ekol Ekspertiz sigorta şirketi ile yapılan görüşmeler sırasında veri toplama amacıyla kullanılan bir araçtır. Yangın risk analizi kapsamında sigorta şirketinin politika, süreç ve uygulamalarını anlamaya yönelik yapılandırılmış sorular içerir. Bu sorular, risk değerlendirme sürecine yönelik teknik ve uygulamalı bilgiler elde etmek için hazırlanmıştır.

Soru Numarası	Sorular	Amaç
1	Fotovoltaik güneş enerji santrallerinde sık karşılaşılan yangın nedenleri nelerdir?	Risk faktörlerini belirlemek.
2	Sigorta kapsamındaki yangın riskleri ve teminat şartları nelerdir?	Sigorta poliçesinin kapsamını anlamak.
3	PV sistemlerin risk değerlendirmesi sırasında hangi kriterler dikkate alınmaktadır?	Şirketin değerlendirme süreçlerini öğrenmek.
4	Fotovoltaik panellerde yaşlanma veya bakım eksikliği sigorta kapsamını nasıl etkiler?	Teknik problemlerle sigorta ilişkisini anlamak.
5	Sigorta teminatı verilmeden önce PV sistemlerde hangi kontroller yapılmaktadır?	Ön değerlendirme prosedürlerini öğrenmek.
6	Güneş enerji santrallerinde yangın sonrası hasar değerlendirme süreci nasıl işlemektedir?	Yangın sonrası süreçlerin detaylarını anlamak.
7	İnverter ya da kablolama gibi sistem bileşenlerinin sigorta kapsamı içinde olma şartları nelerdir?	Sistem alt bileşenlerinin kapsama dahil edilme koşullarını öğrenmek.
8	Santralin bulunduğu coğrafi bölge ve iklim koşulları risk primlerini nasıl etkiler?	Bölgesel risklerin sigorta maliyetlerine etkisini anlamak.
9	Ekol Ekspertiz'in yangın risk analizine dair kullandığı teknik araçlar veya yazılımlar nelerdir?	Teknik değerlendirme yöntemlerini öğrenmek.
10	Fotovoltaik güneş enerji santrallerinde alınması gereken zorunlu önleyici tedbirler nelerdir?	Yangın riskini azaltmak için alınması gereken tedbirleri belirlemek.
11	Sigorta kapsamı için sistemlerin düzenli bakım ve denetim şartları nelerdir?	Bakım yükümlülüklerinin sigorta ilişkisini anlamak.
12	Yangın risk analizine yönelik uluslararası standartların sigorta şirketleri tarafından dikkate alınıp alınmadığı nedir?	Standartların sigorta poliçelerine etkisini anlamak.
13	Fotovoltaik santrallerin işletme hatalarından kaynaklanan yangınlar sigorta kapsamında mıdır?	Operasyonel risklerin kapsama etkisini öğrenmek.
14	Güneş enerji santrallerinde birden fazla risk poliçesi uygulanabilir mi?	Çoklu poliçe yönetimi hakkında bilgi almak.
15	Sigorta şirketi yangın riskini azaltıcı önlemler için teknik destek sağlar mı?	Önleyici tedbirlerde sigorta şirketinin rolünü öğrenmek.

Ek-3: Güneş Enerjisi Santrallerinde Yangın Risk Analizi Önerileri

Başlık	Öneriler
İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlarına Öneriler	▪ Risk Değerlendirmesi ve Güncellenmesi: Santraldeki potansiyel yangın risklerini içeren kapsamlı bir risk analizi yapılmalı ve düzenli olarak güncellenmelidir. ▪ Eğitim Programları: Tüm çalışanlar için yangın güvenliği ve acil durum prosedürleri hakkında düzenli eğitimler verilmelidir. ▪ Yangın Söndürme Ekipmanları: Yangın söndürme cihazlarının periyodik kontrolleri yapılmalıdır. ▪ Prosedürlerin Hazırlanması: Acil durum planları ve tahliye prosedürleri hazırlanmalıdır.
Saha Yetkililerine Öneriler	▪ Düzenli Denetimler: Santraldeki ekipmanların düzenli olarak yangın riski açısından kontrol edilmesini sağlamak. ▪ İletişim ve Koordinasyon: Tüm saha çalışanlarıyla yangın güvenliği konusunda iletişim sağlanmalıdır. ▪ Bakım Planlarının Yürütülmesi: Ekipmanların düzenli bakımlarını takip etmek. ▪ Temizlik ve Düzen: Yanıcı materyallerin birikmesini önlemek için temizlik politikaları uygulanmalıdır.
Saha Güvenlik Görevlilerine Öneriler	▪ Yangın Algılama Sistemleri: Yangın algılama sistemlerinin doğru çalışıp çalışmadığını sürekli kontrol etmek. ▪ Erişim Kontrolleri: Yetkisiz kişilerin santrale erişimini engellemek. ▪ Gözlem ve Raporlama: Şüpheli durumları hızlı bir şekilde rapor etmek. ▪ Eğitim ve Tatbikat Katılımı: Düzenlenen tatbikatlara aktif katılım sağlamak.
Teknik Bakım Görevlilerine Öneriler	▪ Ekipman Bakımı: Güneş panelleri ve elektrik kabloları düzenli kontrol edilmelidir. ▪ Kablo Düzeni ve Koruması: Kabloların düzgün döşendiğinden emin olunmalıdır. ▪ Yangına Dayanıklı Malzemeler: Yangına dayanıklı malzemeler kullanılmalıdır. ▪ Sistemi Kapatma Prosedürleri: Olası yangında sistemin güvenli kapatılması sağlanmalıdır.



Dijital Makbuz

Bu makbuz ödevinizin Turnitin'e ulaştığını bildirmektedir. Gönderiminize dair bilgiler şöyledir:
Gönderinizin ilk sayfası aşağıda gönderilmektedir.

Gönderen: Murat Göroğlu
Ödev başlığı: İSG-MAKALE-BİLDİRİ-TEZ-SEMİNER
Gönderi Başlığı: Güneş Enerjisi Santrallerinde yangın Risk Analizine Yönelik Bir ...
Dosya adı: Güneş_Enerjisi_Santrallerinde_Yangın_Risk_Analizine_yönelik_...
Dosya boyutu: 4.39M
Sayfa sayısı: 114
Kelime sayısı: 22,807
Karakter sayısı: 168,028
Gönderim Tarihi: 14-Nis-2025 09:18ÖS (UTC+0300)
Gönderim Numarası: 2646011670

