



**T.C.  
AVRASYA ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BİR ENDÜSTRİYEL TESİSTE PATLAYICI ORTAMLARIN  
ARAŞTIRILMASI: KAPLAMA FİRMASI ÖRNEĞİ**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Mehmet Ali TEKİNCANLI**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahman ATALAY**

**TRABZON  
2024**



**T.C.  
AVRASYA ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BİR ENDÜSTRİYEL TESİSTE PATLAYICI ORTAMLARIN  
ARAŞTIRILMASI: KAPLAMA FİRMASI ÖRNEĞİ**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Mehmet Ali TEKİNCANLI**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahman ATALAY**

**TRABZON  
2024**

## KABUL VE ONAY

**Mehmet Ali TEKİNCANLI** tarafından, **Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahman ATALAY** danışmanlığında hazırlanan “**Bir Endüstriyel Tesiste Patlayıcı Ortamların Araştırılması: Kaplama Firması Örneği**” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **18/12/2024** tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Dr.Öğr. Üyesi Abdurrahman ATALAY .....

Üye : Dr.Öğr. Üyesi Deniz UĞUR .....

Üye : Prof.Dr. Yakup KOLCUOĞLU .....

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

Dr.Öğr.Üyesi Hüseyin Emre ENGİN  
Enstitü Müdürü

## ÖNSÖZ

“Bir Endüstriyel Tesiste Patlayıcı Ortamların Araştırılması: Kaplama Firması Örneği” adlı bu çalışma, Avrasya Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu alanda çalışmayı seçmemde büyük katkıları olan, yüksek lisans tez danışmanlığımı üstlenerek bu çalışmanın planlanıp değerlendirilmesinde desteğini ve bilgisini benden esirgemeyen değerli hocam Sayın Dr.Öğr. Üyesi Abdurrahman ATALAY’a sonsuz şükranlarımı sunarım. Tezin hazırlanmasında ve geliştirilmesinde katkısı olan Erdoğan UZUN’a teşekkürü ve minneti bir borç bilirim.

Bu çalışma sırasında hem maddi hem de manevi anlamda ban yardımcı olan ve hiçbir zaman beni yalnız bırakmayıp güç veren dostlarım Haliç Üniversitesi Dr.Öğr. Üyesi Zehra Merve CİNAN’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet Ali TEKİNCANLI

Trabzon 2024

## BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım yüksek lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi?

Evet ☐ (Ekler kısmına ekleyiniz.)

Hayır ☐

18/12/2024

Mehmet Ali TEKİNCANLI

## TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

**Tez Başlığı: Bir Endüstriyel Tesiste Patlayıcı Ortamların Araştırılması:  
Kaplama Firması Örneği**

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 04/01/2025 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı: % 15

Tek kaynak oranı: % 4 çıkmıştır.

18/12/2024  
Mehmet Ali TEKİNCANLI

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa No

|                                                                      |      |
|----------------------------------------------------------------------|------|
| KABUL VE ONAY                                                        |      |
| ÖNSÖZ                                                                | iii  |
| BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI                                       | iv   |
| İÇİNDEKİLER                                                          | vi   |
| TABLolar DİZİNİ                                                      | viii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ                                                      | ix   |
| SİMGE VE KISALTMALAR                                                 | x    |
| ÖZET                                                                 | xii  |
| ABSTRACT                                                             | xiii |
| 1. GİRİŞ                                                             | 1    |
| 2. GENEL BİLGİLER                                                    | 3    |
| 2.1. Yangın, Patlama ve Patlayıcı Atmosfer (Ortam)                   | 3    |
| 2.1.1. Yangın                                                        | 3    |
| 2.1.2. Patlama                                                       | 4    |
| 2.1.3. Patlayıcı Atmosfer (Ortam)                                    | 5    |
| 2.2. Mevzuat, Direktifler ve Standartlar                             | 6    |
| 2.3. Patlamadan Korunma Dokümanı                                     | 6    |
| 2.4. Risk Değerlendirme                                              | 7    |
| 2.5. Endüstriyel Metal Kaplama                                       | 9    |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM                                                | 11   |
| 3.1. Kapsam ve Amaç                                                  | 11   |
| 3.2. Fine-Kinney Risk Değerlendirme Yöntemi                          | 11   |
| 3.3. Gaz ve Sıvı Patlayıcı Ortamların İncelenmesi                    | 13   |
| 3.3.1. Patlayıcı Ortamların Sınıflandırılması                        | 13   |
| 3.3.2. Boşalma Kaynakları                                            | 14   |
| 3.3.3. Patlayıcı Ortam Hesaplamaları ve Formülleri                   | 14   |
| 3.3.3.1. Sıvıların Kütlesel Boşalma Miktarı Hesaplanması             | 16   |
| 3.3.3.2. Sıvı Dökülmelerinde (Havuz) Buharlaşma Hızının Hesaplanması | 17   |
| 3.3.3.3. Sıvıların Hacimsel Buharlaşma Miktarı Hesaplanması          | 17   |
| 3.3.3.4. Kritik Basıncın Hesaplanması                                | 17   |
| 3.3.3.5. Sonik Gaz Boşalma Hızının Hesaplanması                      | 18   |
| 3.3.3.6. Subonik Gaz Boşalma Hızının Hesaplanması                    | 18   |
| 3.3.3.7. Gaz / Buhar Yoğunluğunun Hesaplanması                       | 19   |

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3.3.8. Boşalma Karakteristiğinin Hesaplanması                         | 19 |
| 3.3.3.9. Seyrelmenin Etkisinin Hesaplanması                             | 19 |
| 3.3.3.10. Havalandırmanın Kullanılabilirliği                            | 22 |
| 3.3.3.11. Tehlikeli Bölge ve Tehlike Mesafesinin Belirlenmesi           | 22 |
| 3.4. Toz Patlayıcı Ortamların İncelenmesi                               | 24 |
| 3.4.1. Toz Patlamaları ile ilgili Tanımlar                              | 25 |
| 3.4.2. Toz Boşalma Kaynakları                                           | 26 |
| 3.4.3. Patlayıcı Toz Ortamlarının Sınıflandırılması                     | 26 |
| 3.4.4. Patlayıcı Toz Ortamlarında Bölge Belirleme Aşamaları             | 27 |
| 3.5. Ekipman Seçimi ve Etiketlenmesi                                    | 27 |
| 3.5.1. Ekipman Grupları                                                 | 28 |
| 3.5.2. Ekipmanların Etiketlenmesi                                       | 28 |
| 4. BULGULAR VE TARTIŞMA                                                 | 31 |
| 4.1. İşletme Bilgileri                                                  | 31 |
| 4.2. Tesiste Kullanılan Kimyasallar                                     | 32 |
| 4.3. Risk Değerlendirmesi                                               | 33 |
| 4.4. Patlayıcı Ortamlar ve Hesaplamalar                                 | 38 |
| 4.4.1. LPG Tüpü Oluşturabileceği Patlayıcı Ortam Hesaplamaları          | 38 |
| 4.4.2. Doğalgaz Hattının Oluşturabileceği Patlayıcı Ortam Hesaplamaları | 43 |
| 4.4.3. Selülozik Tinerin Oluşturabileceği Patlayıcı Ortam Hesaplamaları | 48 |
| 4.5. Tartışma                                                           | 54 |
| 5. SONUÇ                                                                | 57 |
| 6. KAYNAKLAR                                                            | 58 |
| 7. EKLER                                                                | 61 |
| ÖZ GEÇMİŞ                                                               | 62 |

## TABLolar DİZİNİ

### Sayfa No

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 3.1. Olasılık .....                                             | 12 |
| Tablo 3.2. Frekans .....                                              | 12 |
| Tablo 3.3. Şiddet derecesi .....                                      | 12 |
| Tablo 3.4. Risk skoru .....                                           | 13 |
| Tablo 3.5. Patlayıcı gaz ortamların sınıflandırılması .....           | 13 |
| Tablo 3.6. Açıklık durumuna göre önerilen kesit alanları .....        | 16 |
| Tablo 3.7. Açık alanlarda önerilen havalandırma hızları .....         | 20 |
| Tablo 3.8. Tehlikeli bölge belirleme tablosu .....                    | 24 |
| Tablo 3.9. Patlayıcı toz ortamların sınıflandırılması .....           | 26 |
| Tablo 3.10. Sanayi tesislerinde kullanılan ekipman kategorileri ..... | 28 |
| Tablo 3.11. Ekipman koruma tipleri.....                               | 29 |
| Tablo 3.12. Ekipman grubuna ait kimyasal sınıflandırması.....         | 30 |
| Tablo 3.13. Ekipman grubuna ait sıcaklık sınıflandırması.....         | 30 |
| Tablo 4.1. Tesiste Kullanılan Kimyasallar ve özellikleri .....        | 33 |
| Tablo 4.2. Fine-Kinney Risk Değerlendirme Tablosu.....                | 36 |
| Tablo 4.3. (devam) .....                                              | 37 |
| Tablo 4.4. LPG tüpüne ait parametreler .....                          | 38 |
| Tablo 4.5. LPG'ye ait tehlikeli bölge belirleme tablosu .....         | 41 |
| Tablo 4.6. Doğalgaza ait parametreler .....                           | 44 |
| Tablo 4.7. Doğalgaza ait tehlikeli bölge belirleme tablosu.....       | 46 |
| Tablo 4.8. Selülozik tinere ait parametreler .....                    | 49 |
| Tablo 4.9. Tinere ait tehlikeli bölge belirleme tablosu.....          | 52 |
| Tablo 4.10. Ekipman etiketlemelerinin karşılaştırılması.....          | 56 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1. Farklı yangın davranış türlerini içeren yangın büyüme eğrisi .....   | 4  |
| Şekil 2.2. Yanıcı sıvı buharı ve gaz patlama üçgeni .....                       | 5  |
| Şekil 2.3. Toz Patlama Beşgeni .....                                            | 5  |
| Şekil 2.4. Risk değerlendirme aşamaları .....                                   | 8  |
| Şekil 2.5. Elektrolitik kaplama banyosu .....                                   | 10 |
| Şekil 2.6. Metal kaplama prosesi iş akışı .....                                 | 10 |
| Şekil 3.1. Seyrelme derecesi değerlendirme grafiği .....                        | 21 |
| Şekil 3.2. Tehlikeli Bölge Mesafesi Tespit Grafiği .....                        | 23 |
| Şekil 3.3. Ekipman etiketi .....                                                | 28 |
| Şekil 4.1. Kaplama banyosu .....                                                | 31 |
| Şekil 4.2. Metal işleme birimi .....                                            | 32 |
| Şekil 4.3. Metal işleme proseslerinde kullanılan torna tezgâhı .....            | 34 |
| Şekil 4.4. Firmada tespit edilen patlayıcı ortamlara ait kimyasallar .....      | 38 |
| Şekil 4.5. LPG'ye ait seyrelme derecesinin belirlenmesi .....                   | 40 |
| Şekil 4.7. LPG tüpüne ait bölge 2 kabul edilen emniyet mesafesi .....           | 43 |
| Şekil 4.8. Doğalgaza ait seyrelme derecesinin belirlenmesi .....                | 45 |
| Şekil 4.10. Doğalgaz hattına ait İE bölge 2 kabul edilen emniyet mesafesi ..... | 48 |
| Şekil 4.11. Tiner kapladığı hacmin ebatları .....                               | 49 |
| Şekil 4.12. Tinere ait seyrelme derecesinin belirlenmesi .....                  | 51 |
| Şekil 4.13. Tinere ait emniyet mesafesinin belirlenmesi .....                   | 53 |
| Şekil 4.14. Tinere ait İE bölge 2 kabul edilen emniyet mesafesi .....           | 54 |

## SİMGE VE KISALTMALAR

|            |                                                                    |
|------------|--------------------------------------------------------------------|
| ATEX       | : Patlayıcı Atmosfer (Atmosphères Explosives)                      |
| BEKRA      | : Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Risklerinin Azaltılması |
| ÇSGB       | : Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı                             |
| EN         | : Avrupa Normu (European Norm)                                     |
| GSYİH      | : Gayri Safi Yurt İçi Hâsıla                                       |
| IEC        | : International Electrotechnical Commission                        |
| İSG        | : İş Sağlığı ve Güvenliği                                          |
| MGBF       | : Malzeme Güvenlik Bilgi Formu                                     |
| NFPA       | : Ulusal Yangından Korunma Kurumu                                  |
| PKD        | : Patlamadan Korunma Dokümanı                                      |
| TS         | : Türk Standardı                                                   |
| TSE        | : Türk Standartları Enstitüsü                                      |
| $\Delta h$ | : Yükseklik Farkı                                                  |
| $\Delta p$ | : Basınç farkı                                                     |
| $C_d$      | : Boşalma Faktörü                                                  |
| $g$        | : Yerçekimi İvmesi                                                 |
| $k$        | : Güvenlik Faktörü                                                 |
| $Q_g$      | : Hacimsel Buharlaşma Miktarı                                      |
| $S$        | : Kesit Alanı                                                      |
| $UEL$      | : Üst Yanabilme Limiti                                             |
| $Z$        | : Sıkışma Faktörü                                                  |
| $A_p$      | : Sıvı Yüzey Alanı                                                 |
| $C_p$      | : Sabit basınçtaki öz ısı                                          |
| $LFL$      | : Alt Yanabilme Limiti                                             |
| $M$        | : Molar Kütle                                                      |
| $P_c$      | : Kritik Basınç                                                    |
| $P_v$      | : Buhar Basıncı                                                    |
| $R$        | : Evrensel gaz sabiti                                              |
| $T$        | : Sıcaklık                                                         |
| $U_w$      | : Rüzgâr Hızı                                                      |
| $W$        | : Kütlesel Boşalma Miktarı                                         |

$Xb$  : Arka plan Konsantrasyonu  
 $Xcrt$  : Kritik Konsantrasyon  
 $f$  : Havalandırma Verimliliği  
 $\gamma$  : Politropik İndeks



## ÖZET

### BİR ENDÜSTRİYEL TESİSTE PATLAYICI ORTAMLARIN ARAŞTIRILMASI: KAPLAMA FİRMASI ÖRNEĞİ

Mehmet Ali TEKİNCANLI  
Avrasya Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans, Aralık/2024  
Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Abdurrahman ATALAY

Bu çalışma Gebze'de bulunan Darıca Küçük Sanayi Sitesinde yer alan bir metal kaplama firmasına ait proseslerin ve tesislerin koşulları incelenerek yapılmıştır. İşletme içerisinde metal işleme ve metal kaplama olmak üzere iki farklı proses olduğu görülmüştür. Yapılan saha denetiminin ardından Fine-Kinney Risk Analiz yöntemi kullanılarak oluşabilecek muhtemel patlayıcı ortamlar ile tutuşturucu kaynaklar belirlenmiştir. Risk analizi sonucunda LPG tüpü, doğalgaz tesisatı ve selülozik tiner tenekesi olmak üzere oluşabilecek üç farklı patlayıcı ortam tespit edilmiştir. LPG tüpü için Bölge 2 ve 1 metrelik emniyet mesafesi, doğalgaz hattı için İE (İhmal Edilebilir) Bölge 2 ve 1 metrelik emniyet mesafesi ve son olarak selülozik tiner için İE (İhmal Edilebilir) Bölge 2 ve 1 metrelik emniyet mesafesi tespit edilmiştir. Ayrıca her bir emniyet mesafesinde kullanılabilecek ATEX korumasına sahip ekipman etiketlemesi de belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, bu çalışmanın farklı sektörlerde faaliyet gösteren işyerleri için hazırlanacak Patlamadan Korunma Dokümanlarına kaynak oluşturabileceği yönündendir.

**Anahtar Kelimeler:** Patlama, Patlayıcı Ortamlar, Patlamadan Korunma, Kimyasal Riskleri, Fine-Kinney

## ABSTRACT

### INVESTIGATION OF EXPLOSIVE ATMOSPHERES IN AN INDUSTRIAL PLANT: THE CASE OF A COATING COMPANY

Mehmet Ali TEKİNCANLI  
Avrasya University  
Institute of Graduate Studies  
The Department of Occupational Health and Safety  
M.A., December/2024  
Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahman ATALAY

This study is carried out by examining the conditions of the processes and facilities of a metal coating company located in Darıca Small Industrial Site in Gebze. It is observed that there are two different processes within the factory: metalworking and metal coating. Following the field inspection, the Fine-Kinney Risk Analysis method is used to identify possible explosive atmospheres and ignition sources. As a result of the risk analysis, three different explosive atmospheres are identified: LPG cylinder, natural gas pipeline and cellulosic thinner can. Zone 2 and 1 meter safety distance for LPG cylinder, NE (Negligible Extent) Zone 2 and 1 meter safety distance for natural gas pipeline, and finally NE (Negligible Extent) Zone 2 and 1 meter safety distance for cellulosic thinner cans. Labeling of ATEX protected equipment that can be used at each safety distance is also specified. The results obtained are that this study can be a source for Explosion Protection Documents to be prepared for workplaces operating in different sectors.

**Key Words:** Explosion, Explosive Atmospheres, Explosion Protection, Chemical Risks, Fine-Kinney

## 1. GİRİŞ

Sanayi devriminden günümüze kadar geçen zaman diliminde insanoğlu endüstriyel alanda büyük bir yol kat etmiştir ve kat etmeye devam etmektedir. Tarih boyunca Endüstri 1.0, Endüstri 2.0, Endüstri 3.0 şeklinde tanımlamalar yapılırken bugün yapay zeka destekli Endüstri 5.0'ı konuşuyoruz. Tabi ki Endüstri 6.0 ve devamı gelecektir. Ancak asıl sorun şu ki dünya üzerindeki tüm ülkeler aynı hızla hareket edememektedir. 2019 yılında Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütüne üye 20 ülke kişi başına düşen Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GSYİH), Ar-Ge çalışmalarına ait giderlerin GSYİH'daki oranı, toplam araştırmacı sayısı, patent başvuru sayısı gibi 14 kriter üzerinden Endüstri 4.0 performansları değerlendirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde sırasıyla ABD, Japonya ve Güney Kore ilk üç sırada yer almıştır. Meksika 20. yani son sırada yer alırken Türkiye ise 19. sırada yer almıştır (Eşiyok & Demircioğlu, 2022: 378). Bu çalışmadan da anlaşılabacağı üzere ülkelerin ekonomik gelişmişlik seviyeleri ile teknolojik ve endüstriyel gelişmişlik seviyeleri arasında doğru orantılı bir ilişki bulunmaktadır.

Benzer bir durum şirketler için de geçerlidir. Ekonomik anlamda büyüyen ve kurumsal kimliğini geliştiren şirketler, sürdürülebilirlik, Ar-Ge, çevre, güvenlik ve eğitim konularında daha fazla yatırım yapmaktadır. Diğer bir deyişle, kurumsal ve ekonomik yapısı güçlü olan şirketler, güçlendikçe diğer alanlara daha fazla yatırım gerçekleştirmektedirler. Örneğin büyük ölçekli şirketler iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarına küçük ve orta ölçekli şirketlere göre daha fazla yatırım yapmaktadırlar. Özellikle güvenli makine ve ekipmanlara, makine ve ekipman bakımlarına, kalifiye personellere ve personel eğitimlerine daha çok önem verirler. Bunun sonucunda güvenli bir çalışma ortamı oluşmakta, iş kazaları ile meslek hastalıkları azalmakta ve kurumsal imaj gelişmektedir.

6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) Kanunun 2012 yılında yayınlanmasıyla birlikte tüm kamu kurum ve kuruluşları ile özel sektör işletmelerinde çalışma ortamının güvenliğinin zorunlu hale gelmiştir. Bu kanun ile birlikte kamu kurumları ya da özel sektör firmaları fark etmeksizin tüm işyerlerinde iş sağlığı ve güvenliği şartlarının uygulanması ve mevcut şartların iyileştirilmesi amaçlanmaktadır (URL-1, 2024). Bu kanun kapsamında işletmelerde yangın, patlama, deprem gibi yaşanabilecek acil durumlar için gerekli önlemler alınmalıdır. Ülkemizde bu alanda İSG Kanunu da atıfta bulunularak Binaların Yangından

Korunması Hakkında yönetmelik, Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi Hakkında Yönetmelik ve Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik yayımlanmıştır. Özellikle kimyasalların yoğun olarak kullanıldığı, üretildiği ve depolandığı işletmelerde yaşanabilecek kazalara ve oluşabilecek patlamalara karşı önlem alınması elzem bir durumdur.

Endüstriyel kaplama sektörü de ülkemizde çok farklı uygulama alanı bulmakla birlikte kimyasallar yoğun olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla kaplama proseslerinin yer aldığı işletmelerde kimyasallara bağlı patlayıcı ortam risklerinin oluşması kaçınılmazdır. Bu bağlamda işletmelerin tasarım aşamasından başlayarak üretim prosesinin sonuna kadar olan tüm evrelerde patlayıcı ortamların araştırılması zorunluluktur.

## 2. GENEL BİLGİLER

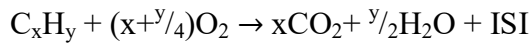
### 2.1. Yangın, Patlama ve Patlayıcı Atmosfer (Ortam)

İSG uygulamalarında önemli bir yeri olan acil durumlar yine iş sağlığı ve güvenliği mevzuatını önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Söz konusu mevzuat ve mevzuata ek olarak hazırlanan standartlar daha çok yangın ve patlama gibi acil durumlara odaklanmıştır. Bunun sebebi çalışma ortamlarında yaşanan kazalar ve yeni teknolojik gelişmelerdir. Dolayısıyla hem kazalar sonucunda ortaya çıkan sorunları gidermek hem de ilerleyen teknolojiyle birlikte yeni güvenlik esaslarını ortaya koymak amacıyla mevzuat, direktifler ve standartlar güncellenmektedir (Mevlevioğlu, 2019: 2).

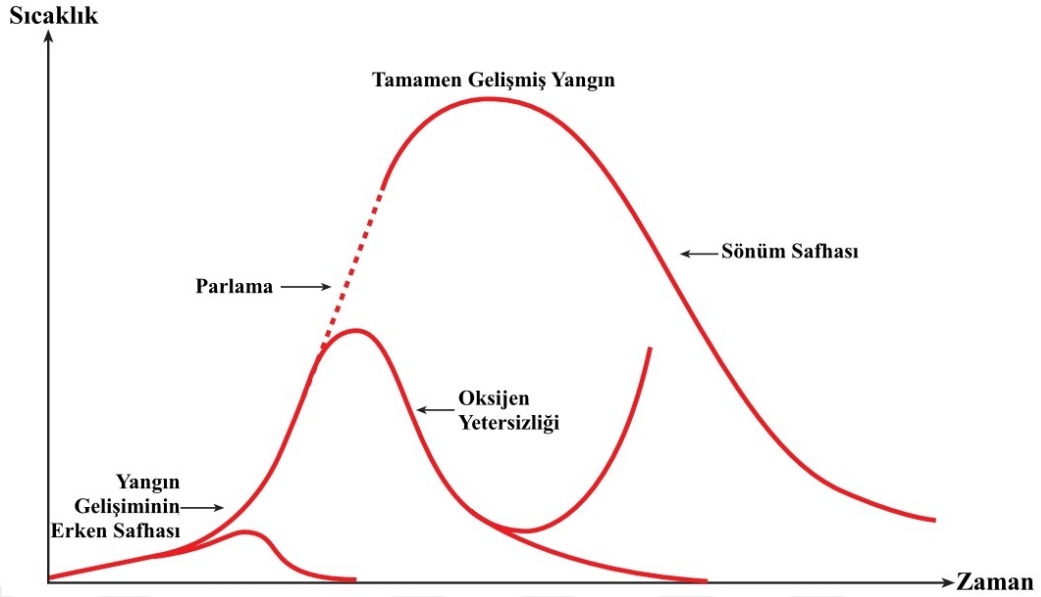
#### 2.1.1. Yangın

Yanma kimyasal bir olay olmakla birlikte basit anlamda yanabilen maddelerin oksijen ya da diğer oksitleyiciler varlığında bir tutuşturucu (ısıl enerji) kaynak ile birlikte ekzotermik bir reaksiyon meydana getirmesidir. Yangın ise yanma olayının istegimiz dışında ve kontrol edemediğimiz şekilde gerçekleşmesidir (URL-2; 2024).

Yangın, ısı, ışık ve çeşitli yanma ürünlerinin olduğu ekzotermik ve hızlı bir oksidasyon reaksiyonudur. Bir hidrokarbonun oksidasyonu için genel denklem aşağıdaki gibidir (Mevlevioğlu, 2019: 2).



Yangın ortaya çıkarken farklı gelişim safhaları göstermektedir. Erken safhada, yangının başladığı bölmede (oda, ev, vb.) pencere veya kapı gibi bir açıklık varsa sıcaklık kademeli olarak artacaktır. Eğer ortamda oksijen yetersiz ise yangın çıkmaz ancak yangın parlamaya kadar ilerler ise, bölmedeki tüm yanıcı yüzeylerin piroliz ürünleri (yanma sonucu oluşan gazlar) yayacağı anlamına gelir. Ortaya çıkan alevler tüm bölmeyi tamamen dolduracak ve bu da çok yüksek seviyelerde radyasyon üretecektir. Bir parlama durumunda, yangın tarafından salınan ısı dramatik bir şekilde artmakta ve yangının söndürülmesi çok zor olabilmektedir. Bölmenin her tarafına alevlerin ulaşması durumuna tamamen gelişmiş yangın adı verilmektedir. Bölmedeki tüm malzeme uzun bir süre yandığında, yakıtın (malzeme) kütle kaybı oranı ve dolayısıyla ısı salınım oranı azalır. Bu safhaya da bozulma safhası adı verilmektedir (Bengston, 2001: 12).



Şekil 2.1. Farklı yangın davranış türlerini içeren yangın büyüme eğrisi (Bengston, 2001: 12)

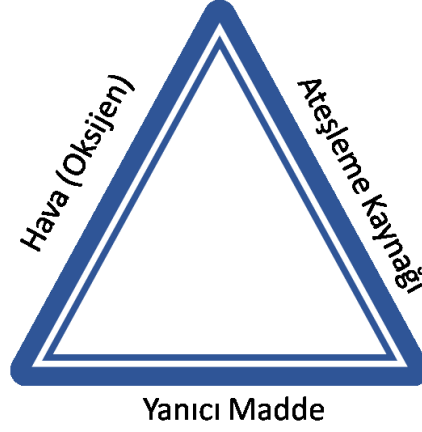
### 2.1.2. Patlama

Yanabilen maddeler ile oksijenin belirli oranlarda karışmasının ardından tutuşturucu kaynakla temas etmesiyle hızla yanma reaksiyonu gerçekleşir. Bu reaksiyon neticesinde büyük bir şok dalgası oluşması şeklinde cereyan eden olaya patlama adı verilmektedir (Mevlevioğlu vd, 2019: 37).

Diğer bir tanımla, patlayıcı maddeler ısı, kıvılcım, alev, şok, darbe, sürtünme veya herhangi bir enerji teması ile patlamayı tetikleyen kararsız enerjili moleküllerdir. Tetiklemenin ardından, patlama meydana gelir ve gaz halindeki ürünlerin ısı yayarak ani bir şekilde genişlemesine ve basınçta büyük bir değişikliğe neden olur. Bu olaya patlama denilmektedir (Hilal, 2022: 366).

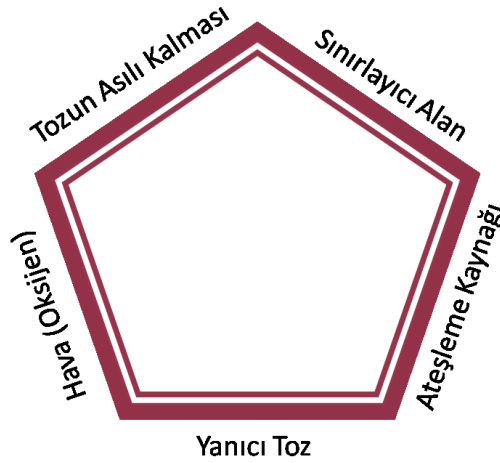
Kimyasal maddelere bağlı patlamalar yanıcı sıvı buharı ve gaz patlaması ile yanıcı toz patlaması olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu kimyasalların oluşturduğu patlayıcı ortamlar farklı patlama karakteristiğine sahip olduğundan dolayı bu ortamlara ilişkin standartlar da ayrı ayrı yayımlanmıştır.

Yanıcı sıvı buharı ve gazların oluşturduğu patlamalar yanıcı madde, hava (oksijen) ve ateşleme kaynağının bir araya gelmesiyle meydana gelmektedir.



Şekil 2.2. Yanıcı sıvı buharı ve gaz patlama üçgeni (Çolak, 2019: 2)

Toz patlamalarında yanıcı madde, hava (oksijen) ve ateşleme kaynağının yanında yanıcı tozun havada asılı kalması ve sınırlayıcı bir alan olması gerekmektedir. Eğer yanıcı toz havada kalmaz ise hava ile iyi karışmayacağı için patlama etkisi azalmaktadır. Benzer şekilde sınırlayıcı alan olmaz ise havada asılı olan toz çok geniş alana yayılacağı için havadaki konsantrasyonu azalacak ve patlayıcı ortam oluşturmayacaktır.



Şekil 2.3. Toz Patlama Beşgeni (Reding & Shiflett, 2018: 11474)

### 2.1.3. Patlayıcı Atmosfer (Ortam)

Patlayıcı ortam yanabilen maddelerin sis, buhar, gaz ve toz partiküllerinin atmosfer şartlarında havayla oluşturduğu ve herhangi bir tutuşturma kaynak ile temas etmesi sonucu tamamıyla yanabilen karışım şeklinde ifade edilmektedir (URL-3, 2024).

Ortam ile atmosfer ifadeleri birbirleri yerine kullanılıyor olsalar da “Patlayıcı Ortam” terimi ATEX (ATmosphères EXplosives) terimini tam olarak karşılayamamaktadır. Patlayıcı atmosfer (ortam), bütün yanabilen sıvı buharlarının, yanabilen gazların, yanabilen sıvı sislerinin ve bulut halindeki yanabilen tozların hava ile birlikte belirli bir konsantrasyonla meydana getirdikleri durumları ifade etmektedir (İnce, 2011: 58).

## **2.2. Mevzuat, Direktifler ve Standartlar**

Bilindiği üzere 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununun yayımlanmasının ardından bütün işyerlerinde yangın ve patlama gibi acil durumlar gerekli önlemlerin alınması zorunlu hale gelmiştir. Zira işyerlerinde acil durum planları hazırlama çalışmalarında öncelikli senaryo yangınlar ve patlamalar üzerinedir, çünkü en çok yaşanan acil durumlar bunlardır. Örneğin İstanbul ilinde yer alan fabrikalarda 2013-2018 yılları arasında 758 yangın vakası yaşanmıştır (Bakırcı vd., 2019: 275). Durumun bu kadar önem arz etmesinden dolayı mevzuatımızda farklı bakanlıklar tarafından yönetmelikler yayımlanmıştır. Bu yönetmelikler:

- İşyerlerinde Acil Durumlar Hakkında Yönetmelik
- Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik
- Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik (BEKRA)
- Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik (1999/92/EC)
- Muhtemel Patlayıcı Ortamda Kullanılan Teçhizat ve Koruyucu Sistemler ile İlgili Yönetmelik (2014/34/AB)

## **2.3. Patlamadan Korunma Dokümanı**

Patlamadan Korunma Dokümanı (PKD), işyerlerinde patlayıcı ortamların neden olabileceği tehlikelerinden çalışanların güvenliğini temin etmek ve sağlıklarını bozucu etkilerden korumak amacıyla hazırlanan dokümandır (URL-3, 2024). Mevzuatımız gereği patlayıcı ortam oluşması ihtimali bulunan bütün işletmeler PKD hazırlamak ve ÇSGB İş Teftiş Kurulu Başkanlığı denetimlerinde göstermek zorundadır.

PKD, üretim prosesleri, makine ve ekipmanları, üretim prosesleri dışında yapılan ek işlemleri ve tüm işletmede kullanılan, üretilen ya da depolanan

kimyasallar hakkında geniş bilgiye sahip yetkin kişiler tarafından hazırlamalıdır. Bu kişiler ayrıca ATEX eğitimi almaları gerekmektedir (URL-4, 2024).

## **2.4. Risk Değerlendirme**

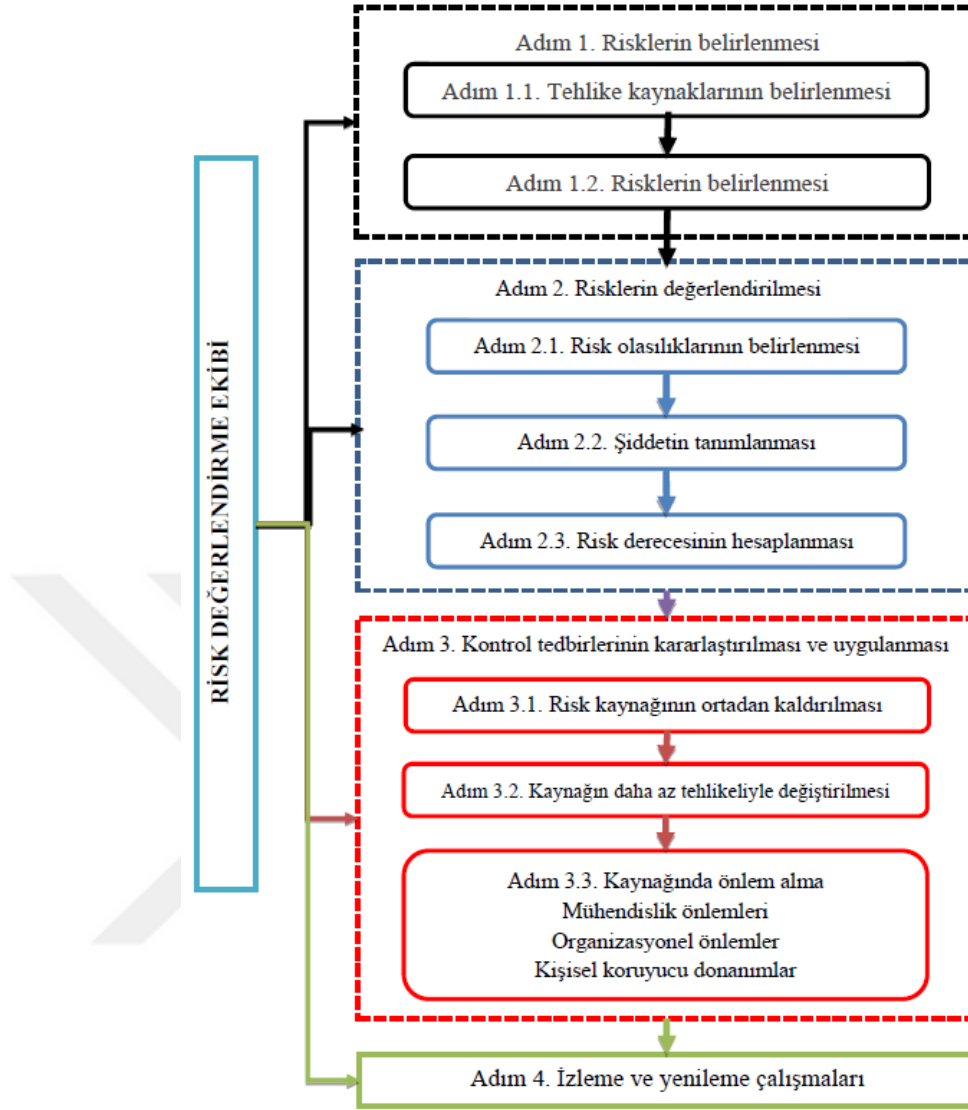
Risk Değerlendirme, işyerlerinde hâlihazırda bulunan ya da işyerlerine dışarıdan etki edebilecek tehlikelerin tanımlanması ve bu tehlikelerin risk oluşturmalarına neden olacak faktörler ile ortaya çıkan risklerin incelenerek derecelendirilmesi ve risklere karşı alınan kontrol önlemlerinin kararlaştırılması amacıyla yapılan çalışmaları ifade etmektedir (URL-5, 2024).

Risk Değerlendirme yönetmeliğine göre risk değerlendirme çalışmalarında uygulanması gereken aşamalar şunlardır (URL-5, 2024):

- Tehlikelerin tanımlanması
- Riskleri belirlenmesi ve analiz edilmesi
- Risk kontrol önlemlerinin kararlaştırılması
- Dokümantasyon
- Güncelleme ve yenileme

Risk değerlendirme çalışmaları zaman zaman tek bir kişinin yapabileceğinden daha karmaşık olabilmektedir. Bu durum prosesin çok aşamalı ve karmaşık olması, işyerinde çok fazla ve farklı riskler barındıran bölüm bulunması ya da risk değerlendirmesi yapacak kişinin tecrübe sahibi olmamasından kaynaklanabilmektedir. Bu yüzden risk değerlendirme çalışmaları sadece iş güvenliği uzmanı tarafından değil de bir ekip tarafından yapılması daha yararlı olacaktır. Risk Değerlendirme Yönetmeliğine göre risk değerlendirmesi yapacak ekip şu kişilerden oluşmalıdır:

- İşveren ya da işvereni temsilen vekili
- İş güvenliği uzmanı
- İşyeri hekimi
- İşyerindeki çalışan temsilcileri
- İşyerindeki destek elemanları
- İşyerindeki tehlike kaynakları ile riskler konusunda bilgili sahibi çalışanlar



Şekil 2.4. Risk değerlendirme aşamaları (Çebi, 2014: 4)

Risk değerlendirme çalışmalarında kullanılacak yöntem oldukça önemlidir. Zira bünyesindeki vasıflı ve vasıfsız çalışanlar da dâhil olmak üzere işletmenin içinde bulunduğu şartlar, yapılacak olan risk değerlendirme yönteminin başarısını etkileyebilmektedir. Risk değerlendirme çalışmaları sonucunda kararlaştırılan önlemler işletmeye ve çalışanlarına uygulanabilir olmalıdır. Bu yüzden seçilecek yöntem hem işletmeye hem de risk değerlendirme çalışmasını uygulayacak kişilerin yeteneklerine en uygun yöntem seçilmelidir.

Genel olarak işyerlerinde uygulanan risk değerlendirme yöntemlerini şu şekilde sıralayabiliriz (Çebi 2014; Aksoy, 2019):

- Kontrol Listesi (Check-List) Yöntemi

- Hata Türü ve Etki Analizi (FMEA) Yöntemi
- Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi (HAZOP) Yöntemi
- Hata Ağacı Analizi (FTA) Yöntemi
- Olay Ağacı Analizi (ETA) Yöntemi
- Neden-Sonuç Analizi Yöntemi
- Fine-Kinney Yöntemi
- L Tipi (5x5)Matris Yöntemi
- 3T Matris Yöntemi
- X Tipi Matris
- Olursa Ne Olur? (What if ?) Yöntemi

## **2.5. Endüstriyel Metal Kaplama**

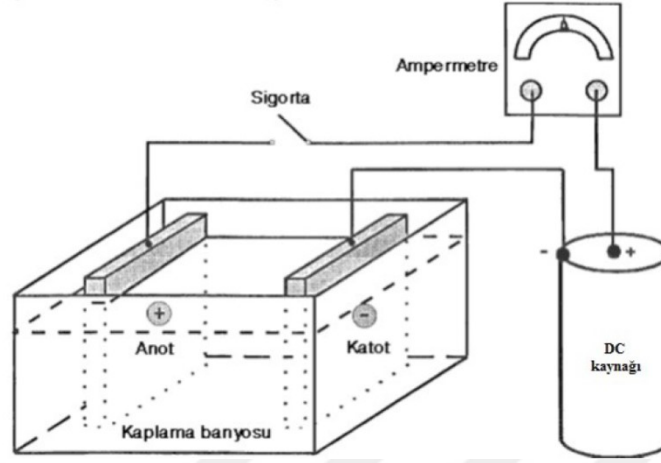
Korozyon, sebep olduğu paslanma ve bozulma gibi olayların sonucunda metalin kullanım ömrünü azaltmaktadır ve üretilen metallerin büyük bir çoğunlunun bir yıl içerisinde kullanılamaz hale geldiği düşünülürse, metalin yüzeyi korumak oldukça önemlidir (Özkul, 2019: 5). Bu amaçlar en çok kullanılan yöntem metalin kaplanmasıdır. Metal kaplama yöntemleri dörde ayrılmaktadır. Bu yöntemler (URL-6, 2024):

- Sıcak daldırma yöntemi
- Sıcak püskürtme yöntemi
- Sherardizing yöntemi
- Elektroliz yöntemleri

Metallerin elektrokimyasal olarak birikimi ve elektrolizi birçok metal işleme proseslerinde kullanılmakla birlikte en iyi bilinen ve en yaygın kullanım elektrolitik kaplamadır (Yılmaz, 2008: 4) . Giovanni Galvani 18. yy'da metal iyonlarının iki elektrot arasında transfer edilebileceğini ortaya koymuştur ve bugünkü elektroliz yöntemi ile metal kaplamacılığı endüstrisinin temellerini atmıştır (Özkul, 2019: 5).

Elektrolitik yöntemle metal kaplama, bir elektrolitin içinde bulunan elektrik akımı yardımıyla metal iyonlarının katoda gönderilip bağlanması işlemidir. Gönderilen metal iyonları, anot olarak görev alan metal çubuktan yükseltgenerek çözünür ve elektrolit ortamına geçer ya da ilgili metal elektrolit çözeltisine dışarıdan tuzları şeklinde eklenir. Eğer ilgili metal tuzları şeklinde elektrolite ilave edilecek ise sisteme anot olarak ise bir soy metal bağlanır (Bulguru, 2014: 4).

Elektrolit, kaplaması yapılacak metalin iyonik haldeki sulu çözeltisi bulunur. Bunun dışında iletkenliğin sağlanması için tuzlar ve kaplaması yapılacak metal ile kompleks yapı oluşturabilen tuzlar bulunur (Bulguru, 2014: 4).

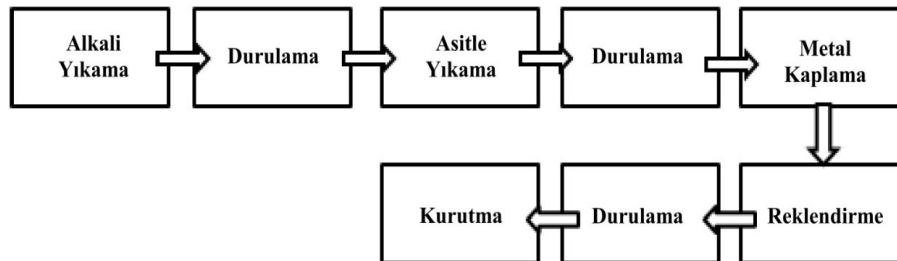


Şekil 2.5. Elektrolitik kaplama banyosu (Bulguru, 2014: 4)

Metal kaplama işlemleri kaplaması yapılan metale bazı özellikler ve avantajlar kazandırmaktadır. Bu özelliklerden ve avantajlardan bazıları şunlardır (Sönmez, 2006: 12):

- Korozyona karşı dayanım kazanma
- Lehimlenebilme özelliği kazanma
- Düzgün ve parlak bir yüzeye sahip olma
- Dekoratif bir dış görünüş
- Elektrik akımını iyi iletme
- Sertlik kazanma

Metal kaplama işlemlerinde farklı metotlar kullanılmakta olup prosesler yüzey hazırlama ve kaplama gibi adımlar uygulanmaktadır. Metal kaplama işleri; ön işlemler (alkali ve asitle yıkama), metal kaplama (sıcak daldırma, elektrolit kaplama vb.), renklendirme, yıkama, kurutma vb. işlemleri içermektedir (Çalışkan, 2017: 12).



Şekil 2.6. Metal kaplama prosesi iş akışı (Çalışkan, 2017: 12)

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

#### **3.1. Kapsam ve Amaç**

Bu çalışmayla birlikte “Kaplama proseslerinin yer aldığı işletmelerde patlayıcı ortam oluşur mu?” sorusuna cevap arayacağız. Çalışmada işletme sınırları içerisinde oluşabilecek toz ve kimyasal patlamaları kapsamaktadır. Mekanik (fiziksel) patlamalar mevzuatta ele alınmadığı için kapsam dışına alınmıştır. Dolayısıyla oksijen gerektirmeyen kendiliğinden oksitlenebilen maddeler ve sadece yüksek basınç kaynaklı mekanik patlamalar çalışma kapsamına dâhil edilmemiştir.

Dünya ile paralel olarak ülkemizde her geçen yıl kimyasal kullanım kapasitenin arttığı bilinmektedir. Bu artışı dünya genelindeki kimyasal satış rakamlarından ve 2050 yılına kadar öngörülen kimyasal satış tahminlerinden anlamaktayız (Sigman vd, 2012: 311) Bu çalışma, kaplama sektörünün ülkemizde geniş bir faaliyet alanına sahip olması nedeniyle, kaplama işletmelerinde kullanılan kimyasallardan kaynaklanabilecek potansiyel patlayıcı ortamların tanımlanmasını ve bu ortamların patlama riskinin boyutlarının belirlenmesini amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, ilgili hesaplamalar gerçekleştirilerek kaplama sektörü özelinde patlama riskinin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

Ayrıca bu çalışma sektörde yer alan işletmeler için patlayıcı ortamların ele alınması konusunda bir yol gösterici olabilir ancak unutulmamalıdır ki, yangın ve patlamadan korunma için her işletmenin kendi özelinde yer alan koşullar referans alınmalıdır.

#### **3.2. Fine-Kinney Risk Değerlendirme Yöntemi**

Yöntem ilk olarak 1971 yılında W. T. Fine tarafından “Mathematical Evaluations for Controlling Hazards” ismiyle geliştirilmiştir. Daha sonra yöntem Kinney ve Wiruth tarafından 1976’de revize edilerek “Practical Risk Analysis for Safety Management” adı altında yayınlanmış ve günümüzde Fine-Kinney metodu olarak bilinmektedir.

Fine-Kinney metodu risklerin puanlarına göre sıralanması sonucunda hangi risk önlemlerine öncelik verilmesi ve kaynakların hangi öncelikli alanlarda kullanılması gerektiğini ortaya koyan bir yöntemdir. Risklerin skorları hesaplayarak en yüksekten düşüğe doğru sıralama yapılır ve alınacak tedbirlere karar verilir. Bu

yöntem işyerinin istatistiklerini kullanma imkânı sağlaması doğrultusunda daha gerçekçi sonuçlar vermektedir (Kinney, 1976).

Fine-Kinney metoduna göre;

- İhtimal (olasılık): zararın ya da hasarın belirli bir zaman periyodu içerisinde gerçekleşme olasılığıdır ve 0,2-10 arasında bir değer alır.

Tablo 3.1. Olasılık (Kinney, 1976)

| Olasılık Değeri | Olasılık                    |
|-----------------|-----------------------------|
| 10              | Kesin Beklenir              |
| 6               | Oldukça olası               |
| 3               | Olası                       |
| 1               | Mümkün ancak düşük olasılık |
| 0,5             | Çok Düşük Olasılık          |
| 0,2             | Pratik olarak imkânsız      |

- Frekans: belirli bir zaman periyodu içerisinde tehlikeye maruz kalma tekrarıdır ve 0,5-10 arasında bir değer alır.

Tablo 3.2. Frekans (Kinney, 1976)

| Frekans Değeri | Tehlikeye Zaman İçerisinde Maruz Kalma Sıklığı |
|----------------|------------------------------------------------|
| 10             | Hemen hemen sürekli (saatte birkaç kez)        |
| 6              | Sık (günde bir veya birkaç kez)                |
| 3              | Ara sıra (haftada bir veya birkaç kez)         |
| 2              | Sık değil (ayda bir veya birkaç kez)           |
| 1              | Seyrek (yılda birkaç kez)                      |
| 0,5            | Çok seyrek (yılda bir veya daha seyrek)        |

- Şiddet: tehlikenin çalışanlar veya çalışma ortamı üzerinde tahmini yaratacağı zarardır ve 1-100 arasında bir değer alır.

Tablo 3.3. Şiddet derecesi (Kinney, 1976)

| Şiddet Değeri | Kazanın Yaratacağı Tahmini Hasar         |
|---------------|------------------------------------------|
| 100           | Birden fazla ölümlü kaza                 |
| 40            | Ölümlü kaza                              |
| 15            | Kalıcı hasar/yaralanma, iş kabı          |
| 7             | Önemli hasar/yaralanma, harici ilkyardım |
| 3             | Küçük hasar/yaralanma, dâhili ilkyardım  |
| 1             | Ucuz atlatma                             |

- Risk Puanı: Olasılık, frekans ve şiddet derecelerinin çarpılması ile elde edilen puandır. Riskin boyutu renklendirme ile sembolize edilir.

$$R = O \times F \times \text{Ş}$$

O = Olasılık, F = Frekans, Ş = Şiddet derecesi, R = Risk Puanı

Tablo 3.4. Risk skoru (Kinney, 1976)

| Risk Puanı      | Risk Değerlendirme Sonucu                                  |
|-----------------|------------------------------------------------------------|
| $400 < R$       | Tolere edilemez risk (derhal gerekli önlemler alınmalıdır) |
| $200 < R < 400$ | Esaslı risk (birkaç ay içinde iyileştirilmelidir)          |
| $70 < R < 200$  | Önemli risk (yıl içinde iyileştirilmelidir)                |
| $20 < R < 70$   | Olası risk (gözetim altında tutulmalıdır)                  |
| $R < 20$        | Önemsiz risk (önlem önceliği yoktur)                       |

### 3.3. Gaz ve Sıvı Patlayıcı Ortamların İncelenmesi

Her ülke sınırları içerisinde kullanılmak üzere resmi kurumları tarafından kendi çalışma standartlarını hazırlamaktadır. Dolayısıyla farklı ülkeler patlayıcı ortamların önlenmesi konusunda farklı standartlar kullanabilmektedir. Bu yüzden çalışmamızda yanıcı sıvı, gaz veya buhar salınım hesaplamaları için Türk Standartları Enstitüsünün IEC 60079-10-1 Patlayıcı Gaz Atmosferleri ve IEC 60079-10-2 Patlayıcı Toz Atmosferleri standartlarını referans alarak hazırladığı TS EN 60079-10-1 ve TS EN 60079-10-2 standartlarındaki yöntemler ve formüller kullanılacaktır.

#### 3.3.1. Patlayıcı Ortamların Sınıflandırılması

Patlayıcı ortamın oluşma sıklığı ve süresine bağlı olarak Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik ile IEC 60079-10-1 Patlayıcı Gaz Atmosferleri için hazırlanan standartta yer alan sınıflandırma Tablo 5'te yer almaktadır (URL-3, 2024; IEC, 2020).

Tablo 3.5. Patlayıcı gaz ortamların sınıflandırılması (URL-3, 2024; IEC, 2020)

| Bölge (Zone)     | Bölge (Zone) Tanımı                                                                                                                                     |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bölge 0 (Zone 0) | Patlayıcı gaz atmosferinin sürekli şekilde ya da uzun süreler boyunca ya da sık sık bulunduğu alanlar                                                   |
| Bölge 1 (Zone 1) | Rutin çalışma esnasında zaman zaman patlayıcı gaz atmosferinin oluşması muhtemel olan alanlar                                                           |
| Bölge 2 (Zone 2) | Rutin çalışma esnasında patlayıcı gaz atmosferinin oluşmasının muhtemel olmadığı, ancak oluşması durumunda sadece kısa süreler için var olacağı alanlar |

### 3.3.2. Boşalma Kaynakları

Boşalma kaynağı, patlayıcı gaz ortamı oluşturacak şekilde atmosfere yanıcı toz, gaz, buhar veya sıvının boşalmaya başladığı nokta veya yer şeklinde tanımlanmaktadır. Patlayıcı ortam oluşturabilecek maddeler genellikle boşalma kaynaklarından sızıntı veya salınım yoluyla çevreye yayılmaktadır (IEC, 2020).

Boşalma derecesi, kaynaktan yayılan tehlikeli kimyasal maddenin atmosfere yayılma sıklığı ile ifade edilmektedir ve boşalma derecesine açısından üç tip boşalma kaynağı bulunmaktadır (IEC, 2020). Bunlar:

- **Sürekli Boşalma:** Kesintisiz olarak sürekli boşalma yaşanan ya da boşalmanın sık sık yaşandığı ya da uzun sürmesi beklenen noktalar şeklinde tanımlanmaktadır (IEC, 2020). Örneğin, ağzı açık kaplarda ya da dökülmüş ve kimyasal havuzlarının yüzeyleri sürekli boşalma kaynaklarıdır.
- **Ana (Birincil) Boşalma:** Rutin çalışma sırasında tesadüfen ya da zaman zaman boşalma meydana gelmesi beklenen yerler şeklinde tanımlanmaktadır (IEC, 2020). Örneğin, normal çalışma esnasında yanıcı madde yayması beklenen vana keçeleri ya da tahliye vanaları ile havalandırma vanaları, kompresör ve pompa ana (birincil) boşalma kaynaklarıdır.
- **Tali (İkincil) Boşalma:** Rutin çalışma sırasında boşalma beklenmeyen ancak boşalma meydana geldiğinde kısa süren ve yine kısa aralıklarla arada bir oluşması beklenen yer şeklinde tanımlanmaktadır (IEC, 2020). Örneğin, boru bağlantı parçaları, flanşlar ve bağlantı elemanları tali boşalma kaynaklarıdır.

### 3.3.3. Patlayıcı Ortam Hesaplamaları ve Formülleri

Patlayıcı ortam hesaplamalarının doğru ve güvenilir bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için, hesaplanacak olan kimyasallara ilişkin ayrıntılı Malzeme Güvenlik Bilgi Formu (MGBF)'na ihtiyaç vardır. Kimyasalın boşalma kaynağından nasıl salınacağı ve yayılım mesafesinin doğru şekilde hesaplanması için detaylı gözlem ve inceleme gerekmektedir. Patlayıcı ortamların hesaplanması sırasında kullanılacak parametreler ve formüller şu şekildedir (IEC, 2020):

- **Politropik İndeks:**  $\gamma$  sembolü ile gösterilmektedir. Politropik indeks değeri kimyasallar için  $1 < \gamma \leq 1,8$  arasındadır. Bu değer kimyasala ait malzeme güvenlik Bilgi Formunda yer almaktadır. Eğer yer almıyor ise ideal gazlar için aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

$$\gamma = \frac{MC_p}{MC_p - R}$$

$\gamma$ : Politropik İndeks

$M$ : Gazın molar kütlesi (kg/kmol)

$C_p$ : Sabit basınçtaki öz ısı (J/kg.k)

$R$ : Evrensel gaz sabiti ( 8314 J.k/mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>)

- **Kabın İç Basıncı:**  $P$  şeklinde gösterilmektedir. İç basınç birimi Pascal'dır. Bazı durumlarda iç basınç bar cinsinden gösterilmektedir. Dolayısıyla verilen bar değerinin pascal değerine dönüştürülmesi gerekmektedir.
- **Boşalma Faktörü (Deşarj Katsayısı):** Boşalma faktörü  $C_d$  sembolü ile ifade edilmektedir. Deşarj katsayısı da denilmektedir ve boşalmanın meydana geldiği açıklığı ifade etmekte kullanılmaktadır.  $C_d$ , 0,50-0,99 arasında seçilmelidir (IEC, 2020). Keskin şekilde oluşmuş yarıklar için 0,50 – 0,75 değerleri, yuvarlağa yakın şekilde oluşan yarıklar için ise 0,95-0,99 arasında değerler alınmalıdır. Deşarj katsayısı deneysel bir değer olmakla birlikte farklı yayılım türleri için farklı bir değer alabilir. Düzgün şekilli delikler için 0,99 (ya da 1) olarak alınmalıdır. Yapısı tam belli olmayan ve yeterli bilginin bulunmadığı açıklıklarda ise  $C_d$  değeri 0,75 olarak alınmalıdır (IEC, 2020).
- **Kesit Alanı:** Kesit alanı  $S$  sembolü şeklinde gösterilmektedir. Kesit alanı; pompa, hava tankı, vana, kompresörlere ve flanş göre değişiklik gösterebilir. Kesit alanına karar verilirken ekipmanın cinsi ve patlama sonucunda ortaya çıkabilecek etkiye bakılmalıdır. Kesit alanları ile ilgili aşağıda verilen ayrıntılı tablo IEC 60079-10-1 standardında yer almaktadır. Hesaplamalarda kesit alanı m<sup>2</sup> cinsinden kullanılmaktadır. Bu yüzden üretici bilgisinde mm<sup>2</sup> olarak belirtildiyse bile hesaplama yapılırken mutlaka m<sup>2</sup> cinsine dönüştürülmelidir.

Tablo 3.6. Açıklık durumuna göre önerilen kesit alanları (IEC, 2020)

| Ekipman Tipi                                                       | Ekipman Parçası                                | Sızıntı Deliğinin Genişliği                |                                                |                                                      |
|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
|                                                                    |                                                | Açıklık Genişlemez<br>S (mm <sup>2</sup> ) | Açıklık Genişleyebilir<br>S (mm <sup>2</sup> ) | Açıklık Patlayabilir<br>S (mm <sup>2</sup> )         |
| Sabit Parçalar Üzerindeki Sızdırmazlık Elemanları                  | Sıkıştırılmış fiber Conta                      | $0,025 \leq S \leq 0,25$                   | $0,25 \leq S \leq 2,5$                         | $S \geq 1 \times$<br>İki cıvata arasındaki açıklık   |
|                                                                    | Spiral Sarımlı Conta                           | $S = 0,025$                                | $S = 0,25$                                     | $S \geq 0,5 \times$<br>İki cıvata arasındaki açıklık |
|                                                                    | Halka (ring, yüzük) Tipi Birleşme Bağlantıları | $S = 0,1$                                  | $S = 0,25$                                     | $S = 0,5$                                            |
|                                                                    | 50 mm'ye Kadar Küçük Delikli Bağlantılar       | $0,025 \leq S \leq 0,1$                    | $0,1 \leq S \leq 0,25$                         | $S = 1$                                              |
| Düşük Hızda Hareketli Parçalar Üzerindeki Sızdırmazlık Elemanları  | Valf Gövdesi Keçeleri                          | $S = 0,25$                                 | $S = 2,5$                                      | $S \geq 2,5$                                         |
|                                                                    | Basınç Tahliye Valfleri                        | $S = 0,1$                                  | Uygulanabilir<br>Değil                         | Uygulanabilir<br>Değil                               |
| Yüksek Hızda Hareketli Parçalar Üzerindeki Sızdırmazlık Elemanları | Pompa ve Kompresörler                          | Uygulanabilir<br>Değil                     | $1 \leq S \leq 5$                              | $S \geq 5$                                           |

- **Sıkışma Faktörü:** Sıkışma faktörü Z harfi ile sembolize edilmektedir. Gazların ideal davranıştan ne kadar uzaklaştığını gösteren değerdir. İdeal gaz denkleminde sıkışma faktörü (Z) denilen bir faktör konularak gazın uzaklaşma derecesi hesaba katılır. İdeal gazlar için Z değeri 1'dir. Gazlar ideallikten uzaklaştıkça Z değeri 1'den sapar.

### 3.3.3.1. Sıvıların Kütlesel Boşalma Miktarı Hesaplanması

$W = Cd.S.\sqrt{2p\Delta\rho} \left(\frac{kg}{sn}\right)$  formülü kullanılarak sıvılarda kütlesel boşalma miktarı hesaplanmaktadır (IEC, 2020).

$W$ : Sıvılarda kütlesel boşalma miktarı (kg/sn)

$Cd$ : Boşalma Faktörü ( 0,75 – 0,99 )

$S$ : Sıvının salındığı açıklığın kesiti (m<sup>2</sup>)

$p$ : Yoğunluk (kg/m<sup>3</sup>)

$\Delta\rho$ : Açıklıktaki sızıntının basınç farkı

$\Delta\rho$  bilinmiyor ise  $\Delta\rho : p.g.\Delta h$  formülünden hesaplanabilir.

$p$ : Yoğunluk (kg/m<sup>3</sup>)

$g$ : Yer çekimi ivmesi (9,18 m/s<sup>2</sup>)

$\Delta h$ : Sıvının yüksekliği (m)

Sıvılar bir açıklıktan boşalırken farklı davranışlar sergileyebilirler. Bu davranışlar, açıklığın şekli, konsantrasyon, sıvının uçuculuğu ve sıvının sıcaklığı gibi parametrelere bağlıdır. Dolayısıyla hesaplamalarda bu parametrelere dikkat edilmelidir.

### 3.3.3.2. Sıvı Dökülmelerinde (Havuz) Buharlaşma Hızının Hesaplanması

$$We = \frac{6,55 \times 10^{-3} \cdot U_w^{0,78} \cdot Ap \cdot Pv \cdot M^{0,667}}{RT} \left( \frac{kg}{sn} \right)$$

$We$ : Sıvının buharlaşma hızı (kg/sn)

$U_w$ : Dökülmüş sıvı yüzeyi üzerindeki rüzgâr hızı (m/sn)

$Ap$ : Dökülmüş sıvı yüzey alanı (m<sup>2</sup>)

$P_v$ : T sıcaklığında sıvının buhar basıncı (Pa)

$M$ : Gazın molar kütlesi (kg/kmol)

$T$ : Kabin iç sıcaklığı (K)

$R$ : Evrensel gaz sabiti (8314 j.k/mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>)

### 3.3.3.3. Sıvıların Hacimsel Buharlaşma Miktarı Hesaplanması

$$Q_g = \frac{6,5 \cdot U_w^{0,78} \cdot Ap \cdot Pv}{10^5 \cdot M^{0,333}} \times \frac{Ta}{T} \left( \frac{m^3}{sn} \right)$$

$Q_g$ : Kaynaktan çıkan parlayıcı gazın hacimsel buharlaşma miktarı (m<sup>3</sup>/sn)

$U_w$ : Dökülmüş sıvı yüzeyi üzerindeki rüzgâr hızı (m/s)

$Ap$ : Dökülmüş sıvı yüzey alanı (m<sup>2</sup>)

$P_v$ : T sıcaklığında sıvının buhar basıncı (Pa)

$M$ : Gazın molar kütlesi (kg/kmol)

$T$ : Kabin iç sıcaklığı (K)

$T_a$ : Atmosfer (ortam) sıcaklığı (K)

### 3.3.3.4. Kritik Basıncın Hesaplanması

$$P_c = P_a \left( \frac{\gamma+1}{2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

$P_c$ : Kritik basınç

$P_a$ : Kabın dışındaki basınç (Atmosferik Basınç)

$\gamma$ : Politropik indeks

- Sonik ( $P > P_c$ ): Ses Üstü Boşalma da denilmektedir. Eğer kapta bulunan gazın basıncı kritik  $P_c$  basıncından büyük ise, boşalan gazın boşalma hızı kısıktır yani ses hızının üzerindedir.
- Subonik ( $P < P_c$ ): Ses Altı Boşalma da denilmektedir. Eğer kapta bulunan gazın basıncı kritik  $P_c$  basıncından küçük ise, sızan gazın boşalma hızı kısılmaz yani ses hızının altındadır.

$P$ : İşletme basıncı (Pa)

### 3.3.3.5. Sonik Gaz Boşalma Hızının Hesaplanması

Kapalı bir kapta kısıtlanmamış (bloklanmış, basınç altında olan) gazların boşalma hızı şu formüle göre yapılır (IEC, 2020):

$$Wg = CdSP \sqrt{\gamma \frac{M}{ZRT} \left( \frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{(\gamma+1)}{(\gamma-1)}}} \left( \frac{kg}{s} \right)$$

$Wg$ : Yanıcı maddenin açığa çıkan kütlesi

$Cd$ : Boşalma Faktörü ( 0,50 – 0,75 )

$S$ : Sıvının salındığı açıklığın kesiti ( $m^2$ )

$P$ : İşletme basıncı (Pa)

$M$ : Gazın molar kütlesi (kg/kmol)

$T$ : Kabın iç sıcaklığı (K)

$R$ : Evrensel gaz sabiti ( 8314 j.k/mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>)

$\gamma$ : Politropik indeks

$Z$ : Sıkıştırma Faktörü

### 3.3.3.6. Subonik Gaz Boşalma Hızının Hesaplanması

Kapalı bir kapta kısıtlanmamış (bloklanmamış, basınç altında olmayan) gazların boşalma hızı şu formüle göre yapılır (IEC, 2020):

$$Wg = CdSP \sqrt{\frac{M}{ZRT} \frac{2\gamma}{\gamma-1} \left[ 1 - \left( \frac{P_a}{P} \right)^{\frac{(\gamma-1)}{\gamma}} \right]} \cdot \left( \frac{P_a}{P} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \left( \frac{kg}{s} \right)$$

$Wg$ : Yanıcı maddenin açığa çıkan kütlesi

$Cd$ : Boşalma Faktörü ( 0,50 – 0,75 )

$S$ : Sıvının salındığı açıklığın kesiti (m<sup>2</sup>)

$P$ : İşletme basıncı (Pa)

$M$ : Gazın molar kütlesi (kg/kmol)

$T$ : Kabin iç sıcaklığı (K)

$R$ : Evrensel gaz sabiti ( 8314 j.k/mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>)

$\gamma$ : Politropik indeks

$Z$ : Sıkıştırma Faktörü

### 3.3.3.7. Gaz / Buhar Yoğunluğunun Hesaplanması

$$P_g = \frac{Pa M}{RTa}$$

$P_g$ : Gaz / buhar yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)

$Pa$ : Kabin dışındaki basınç (Atmosferik Basınç)

$M$ : Gazın molar kütlesi (kg/kmol)

$R$ : Evrensel gaz sabiti ( 8314 j.k/mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>)

$Ta$ : Atmosfer (ortam) sıcaklığı (K)

### 3.3.3.8. Boşalma Karakteristiğinin Hesaplanması

$$Rc = \frac{Wg}{PgkLFL}$$

$Wg$ : Yanıcı maddenin açığa çıkan kütlesi (kg/s)

$P_g$ : Gaz yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)

$k$ : Güvenlik faktörü ( 0,5-1 arasında)

$LFL$ : Alt yanabilme limiti (vol/vol)

### 3.3.3.9. Seyrelmenin Etkisinin Hesaplanması

Yanıcı kimyasal buharları ya da gazın zamanla havayla karıştırılarak alevlenme olasılığının düşürülmesine seyrelme adı verilmektedir. Seyrelme dereceleri üç grupta incelenmektedir (IEC, 2020):

- **Yüksek Seyrelme:** Yanıcı kimyasal buharları ya da gazların, yüksek seviyede havayla karışmasından hemen sonra yoğunluğu azalan seyrelmelerdir.

- **Orta Seyrelme:** Yanıcı kimyasal buharları ya da gazların, orta seviyede havayla karışmasından sonra ortamda kısa süre kalan seyrelmelerdir.
- **Düşük Seyrelme:** Yanıcı kimyasal buharları ya da gazların, orta seviyede havayla karışmasından sonra ortamda uzun süre kalan seyrelmelerdir

Tüm boşalma tipleri için seyrelme durumu havalandırma hızı ve gazın boşalma miktarı olmak üzere iki değere bağlıdır. Havalandırma hızı açık ve kapalı tesisler olmak üzere iki yaklaşım ile ele alınmaktadır

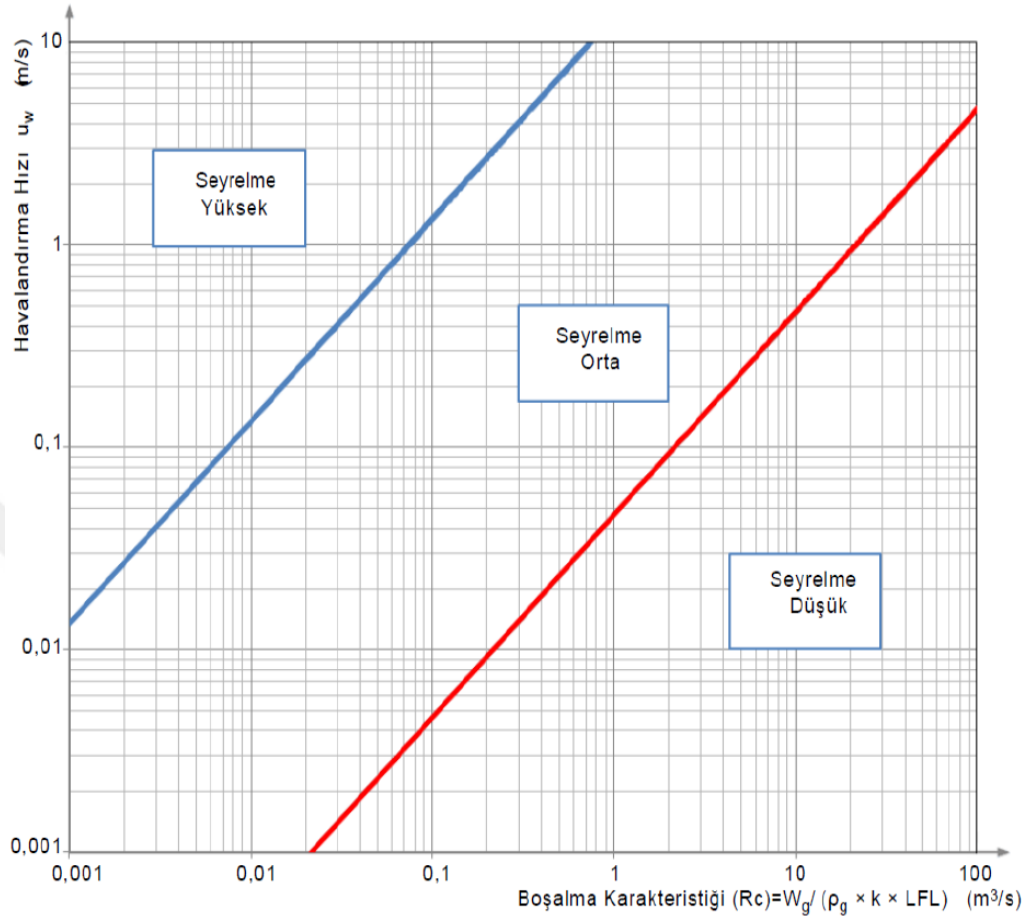
- **Açık Tesislerde Havalandırma Hızı:** Açık ortamda yer alan işletmelerde havalandırma hızı değeri meteorolojinin yayınladığı ortalama rüzgâr hızı değeri kullanılmalıdır. Bu değer tesisin şekli, binaların konumu, bitki örtüsü, çevredeki ağaçların yükseklikleri, topografik yapısı ve diğer engeller dikkate alınarak belirlenmesi gerekmektedir. Ancak hava ölçüm değerleri bulunmayan ya da doğru bir şekilde elde edilemeyen işletmelerde, pratik bir yaklaşımla hava hızı için Tablo 7'deki değerler kullanılmalıdır (IEC, 2020).

Tablo 3.7. Açık alanlarda önerilen havalandırma hızları (IEC, 2020)

|                                                                                                              | Havalandırma Hızları ( $U_w$ )              |               |          |                                         |               |          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------|----------|-----------------------------------------|---------------|----------|
|                                                                                                              | Sıkışık Olmayan Geniş Alanlar<br>(Engelsiz) |               |          | Sıkışık ve Dar Alanlar<br>(Engellenmiş) |               |          |
| Zemin seviyesinden Yükseklik                                                                                 | $h \leq 2m$                                 | $2m < h < 5m$ | $5m < h$ | $h \leq 2m$                             | $2m < h < 5m$ | $5m < h$ |
| Havadan hafif gaz/buhar boşalmalarının seyrelme hesabında kullanılacak hava hızları                          | 0,5 m/s                                     | 1,0 m/s       | 2,0 m/s  | 0,5 m/s                                 | 0,5 m/s       | 1,0 m/s  |
| Havadan ağır gaz/buhar boşalmalarının seyrelme hesabında kullanılacak hava hızları                           | 0,3 m/s                                     | 0,6 m/s       | 1,0 m/s  | 0,15 m/s                                | 0,3 m/s       | 1,0 m/s  |
| Her hangi bir yükseklikte bulunan sıvı havuzlarındaki buharlaşma miktarı hesabında kullanılacak hava hızları | $U_w > 0,25 \text{ m/s}$                    |               |          | $U_w > 0,1 \text{ m/s}$                 |               |          |

Bir patlayıcı ortamın seyrelme derecesini hesaplariken, ilk önce havalandırma hızı ( $U_w$ ) değeri bulunmalıdır.  $U_w$  değeri açık tesis ise Tablo 7'den belirlenir. Eğer kapalı tesis ise 0,005 m/s olarak kabul edilir.  $U_w$  değeri bulunduktan sonra kısım 3.3.4.8'de hesaplanan  $R_c$  değeri ile Şekil 7'te yer alan koordinat düzleminde

karşılaştırılır. Bu karşılaştırma ile birlikte seyrelme derecesinin belirlenmektedir (IEC, 2020).



Şekil 3.1. Seyrelme derecesi değerlendirme grafiği (IEC, 2020)

- **Kapalı Tesislerde Havalandırma Hızı:** Kapalı işletme ve işletmeye dâhil olan sahalarda yapılacak olan havalandırma hızı değerlendirmeleri için, her ortamda fiilen var olduğu kabul edilen 0,05 m/s'lik minimum bir değer kullanılmaktadır.

Seyrelme derecesini belirlemek için arka plan konsantrasyon değeriyle kritik konsantrasyon değerini karşılaştırmak gereklidir. Arka plan konsantrasyonu ( $Xb$ ) ortamda gaz fazında bulunan kimyasal hacmi şeklinde ifade edilirken, kritik konsantrasyon ( $X_{crt}$ ) ise alt parlama sınırı ( $LFL$ ) değerinin %25 şeklinde ifade edilir. Bu değer aynı zamanda işletmelerde bulunan gaz detektörünün çalışma sınır değeridir.

$$Xb = \frac{f+Qg}{Qg+Q_1} = \frac{f \times Qg}{Q_2} \left( \frac{vol}{vol} \right)$$

$Xb$ : Arka plan konsantrasyonu

$Q_1$ : Kapalı ortama giren havanın debisi ( $m^3/sn$ )

$Qg$ : Sızan gazın debisi ( $m^3/sn$ )

$Q_2 = Q_1 + Qg$ : Kapalı ortamdan çıkan patlayıcı hava/gaz karışımı debisi

$f$ : Havalandırmanın verimliliği (1-5).

$f = 1$  ideal hava akışı ile  $f = 5$  engellenmiş hava akışı arasında değişmektedir.

$$X_{crt} = \%25 \times LFL \left( \frac{vol}{vol} \right)$$

- $Xb > X_{crt}$  düşük seyrelme
- $Xb < X_{crt}$  şeklinde ise yüksek seyrelme olarak kabul edilir.

### 3.3.3.10. Havalandırmanın Kullanılabilirliği

Havalandırmanın kullanılabilirliği değerlendirilirken patlayıcı ortam oluşabilecek ortamın doğal ve yapay havalandırılması üzerinden bir değerlendirme yapılmaktadır.

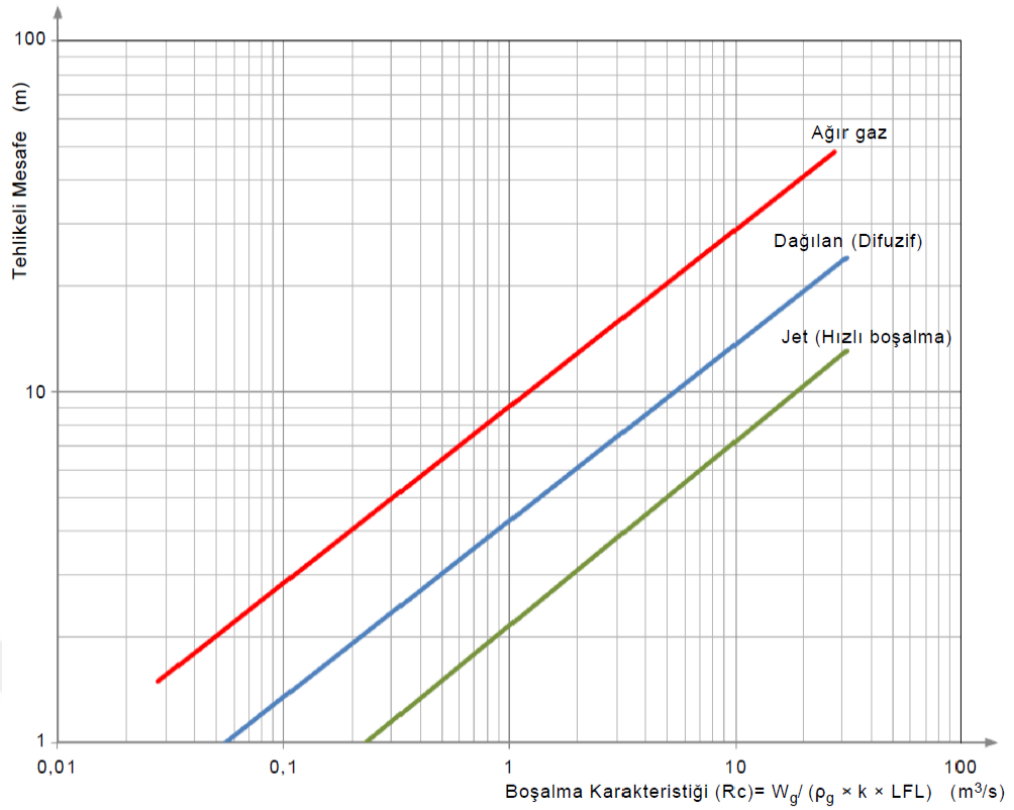
Doğal ve yapay havalandırmanın kullanılabilirliği şu şekilde yapılmaktadır (IEC, 2020).

- **İyi:** Ortamın sürekli olarak havalandırıldığı durumdur
- **Orta:** Rutin çalışma sırasında havalandırmanın sürekli var olması beklenir ancak zaman zaman kısa aralıklarla kesintiler olabilmektedir.
- **Kötü:** Rutin çalışma sırasında havalandırma olmaktadır ancak orta seviye havalandırmaya göre kesintiler biraz daha uzun sürmektedir

Örneğin, kimyasal reaktörün bulunduğu bir çalışma ortamında egzoz havalandırması, reaktörün kapağı açıldığında otomatik olarak devreye giriyorsa havalandırma kullanılabilirliği açısından iyi, sadece yetkili amir tarafından manüel olarak açılıyorsa havalandırma kullanılabilirliği açısından orta ve herhangi bir çalışan tarafından manüel olarak açılıyorsa zayıf olarak kabul edilebilir (Mevlecioğlu, 2019: 17).

### 3.3.3.11. Tehlikeli Bölge ve Tehlike Mesafesinin Belirlenmesi

Patlayıcı ortamlar için bölge tespiti Şekil 8'deki grafik üzerinden söz konusu gazın boşalma karakteristiği ile boşalma şekli kesiştirilerek yapılmaktadır.



Şekil 3.2. Tehlikeli Bölge Mesafesi Tespit Grafiği (IEC, 2020)

- **Jet (Hızlı) Boşalma:** İç basınç yeterince yüksek olduğunda gazın boşalması yüksek bir hızda yani jet tipi olacaktır. Boşalma düzgün ve doğrusal şekilde oluşmaktadır.
- **Dağılan (Difüzif) Boşalma:** Düşük hızda yayılan veya yakındaki engellere çarpma şeklinde oluşan bir boşalma tipidir. Boşalma engelli ve kısa şekilde oluşmaktadır.
- **Ağır Gaz Boşalması:** Havadan daha yüksek yoğunluğa sahip, yüzeyler üzerinde yatay olarak yayılan gazlar veya buharlar. Havadan ağır gazlar olduğundan çalışma ortamının ya da deponun zemininde yayılım göstermektedirler.

Tablo 3.8. Tehlikeli bölge belirleme tablosu (IEC, 2020)

| Boşalma<br>Derecesi | Havalandırmanın Etkisi             |                            |                         |               |                         |                         |                            |
|---------------------|------------------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
|                     | Yüksek Seyrelme                    |                            |                         | Orta Seyrelme |                         |                         | Düşük<br>Seyrelme          |
|                     | Havalandırmanın Kullanılabilirliği |                            |                         |               |                         |                         |                            |
|                     | İyi                                | Orta                       | Kötü                    | İyi           | Orta                    | Kötü                    | İyi<br>Orta<br>Kötü        |
| Sürekli             | (Bölge 0 İE)<br>Tehlikesiz         | (Bölge 0 İE)<br>Bölge 2    | (Bölge 0 İE)<br>Bölge 1 | Bölge 0       | Bölge 0<br>+<br>Bölge 2 | Bölge 0<br>+<br>Bölge 1 | Bölge 0                    |
| Ana<br>(1. Derece)  | (Bölge 1 İE)<br>Tehlikesiz         | (Bölge 1 İE)<br>Bölge 2    | (Bölge 1 İE)<br>Bölge 2 | Bölge 1       | Bölge 1<br>+<br>Bölge 2 | Bölge 1<br>+<br>Bölge 2 | Bölge 1<br>veya<br>Bölge 2 |
| Tali<br>(2. Derece) | (Bölge 2 İE)<br>Tehlikesiz         | (Bölge 2 İE)<br>Tehlikesiz | Bölge 2                 | Bölge 2       | Bölge 2                 | Bölge 2                 | Bölge 1<br>veya<br>Bölge 2 |

- Bölge 0 İE (İhmal Edilebilir), Bölge 1 İE (İhmal Edilebilir), ve Bölge 2 İE (İhmal Edilebilir) normal koşullarda ihmal edilebilecek şekilde salınımın olduğu bölgeleri göstermektedir
- Bölge 0 + Bölge 1, Bölge 0 + Bölge 2 veya Bölge 1 + Bölge 2 şeklinde yer alan ifadelerde + işareti çevrili anlamını ifade etmektedir. Örneğin; Bölge 0 + Bölge 2 yapılan hesaplamalarda Tehlike mesafesi 1 metre olarak bulunsun. Tehlike kaynağında 1 metrelik uzaklıkta yer alan bütün kısımlar Bölge 0, 1 metreden daha uzakta yer alan kısımlar Bölge 2 olarak değerlendirilmektedir.

Tehlikeli bölge tespit tablosu üzerinde patlayıcı ortam için belirlenen Boşalma Derecesi ile Havalandırmanın Etkisi ve Havalandırmanın Kullanılabilirliği özellikleri ortak kesişimi alınarak değerlendirme yapılmaktadır (IEC, 2020).

### 3.4. Toz Patlayıcı Ortamların İncelenmesi

TS EN 60079-10-2 standardında yer alan yanıcı tozların tehlikeli bölge sınıflandırması açıklanmaktadır. IEC 60079-10-2 standardında herhangi bir formül veya hesaplama bulunmamaktadır ancak tehlikeli bölge sınıflandırmaları yapılırken çalışma ortamında bulunan yanıcı toza ait bazı parametrelerin ölçümünün yapılması gerekmektedir (IEC, 2015). Bu parametreler:

- Toz bulutlarının (havada asılı kalan) tutuşma sıcaklıkları

- Biriken toz tabakalarının tutuşma sıcaklıkları
- Toz bulutlarının tutuşma enerjisi
- Yanıcı tozun türü
- Patlama limitleri
- Elektriksel direnç
- Yanıcı tozun nem içeriği
- Partikül boyutu (IEC, 2015)

Bu parametrelerden ilk bakılması gerekenler yanıcı tozun türü ve partikül boyutudur. Ortamda bulut oluşturan ve biriken tozun türü yanıcı özelliğe sahip değil ise patlayıcı ortam oluşturmaz. Yanıcı özeliğine sahip olup olmadığı toza ait MGBF'ye bakılmalıdır. Eğer MGBF'ye ulaşılamıyor ise standartlardan (NFPA 484, NFPA 652 vb.), rehberlerden ya da literatürden yardım alınabilir. Partikül boyutları da ayrıca önemlidir, çünkü Avrupa Birliği standartlarında 500 mikrondan büyük ve Amerika'nın Ulusal Yangından Korunma Kurumu (NFPA) standartlarında 420 mikrondan büyük tozlar patlayıcı ortam oluşturmaz (IEC, 2015; URL-9; 2024). Dolayısıyla çalışma ortamındaki tozların karakteristiği detaylı şekilde incelenmelidir.

Amerika'nın İş Sağlığı ve Güvenliği Kurumunun hazırlamış olduğu patlayıcı tozlara karşı hazırlamış olduğu rehber ve posterde yanıcı tozları tarımsal ürünlerin tozları, tarımsal tozlar, karbonlu tozlar, kimyasal tozlar, plastik tozları ve metal tozları olarak sınıflandırmıştır (IEC, 2015; URL-9; 2024).

### 3.4.1. Toz Patlamaları ile ilgili Tanımlar

Toz patlamaları ile ilgili tehlikeli bölgelerin belirlenebilmesi için bazı tanımların bilinmesi önemlidir. Bu tanımlar (IEC, 2015):

- **Yanıcı Toz:** Büyüklüğü 500  $\mu\text{m}$  veya 500  $\mu\text{m}$ 'dan daha düşük olan ve hava ile karıştığında patlayıcı ortam oluşturabilen katı parçacıklara denilmektedir.
- **İletken Toz:** 103  $\Omega\text{m}$  veya 103  $\Omega\text{m}$ 'den daha düşük elektriksel özdirence sahip olan yanıcı tozlara denilmektedir.
- **İletken Olmayan Toz:** 103  $\Omega\text{m}$ 'den daha büyük elektriksel özdirence sahip olan yanıcı tozlara denilmektedir.

- **Uçuşan Yanıcı Parçacıklar:** Normal koşullarda büyüklüğü 500 µm'den daha fazla olan ve hava ile karıştığında patlayıcı ortam oluşturabilen elyaf içeren katı parçacıklar şeklinde tanımlanmaktadır.
- **Toz salım Kaynağı:** Yanıcı tozların makinelerden, ekipmanlardan ya da proses gereği ortama salınabileceği yerler şeklinde tanımlanmaktadır.

### 3.4.2. Toz Boşalma Kaynakları

Tozlarda boşalma kaynakları incelendiğinde salınım süresine ve periyoduna göre üç tür boşalma kaynağı belirlenmiştir. Bunlar (IEC, 2015):

- **Sürekli Boşalma Kaynağı:** Devamlı şekilde veya uzun sürelerde oluşması beklenen salım şeklinde tanımlanmaktadır.
- **Birincil Boşalma Kaynağı:** Rutin yapılan çalışmalarda periyotlar şeklinde ya da arada sırada meydana gelmesi beklenebilen salım şeklinde tanımlanmaktadır.
- **İkincil Boşalma Kaynağı:** Rutin yapılan çalışmalarda oluşması beklenmeyen ancak oluşa bile sadece kısa periyotlar şeklinde ortaya çıkan salım şeklinde tanımlanmaktadır.

### 3.4.3. Patlayıcı Toz Ortamlarının Sınıflandırılması

Patlayıcı toz ortamının oluşma sıklığı ve süresine bağlı olarak Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik ile IEC 60079-10-2 Patlayıcı Toz Atmosferleri için hazırlanan standartta yer alan sınıflandırma Tablo 9'da yer almaktadır (URL-3, 2024; IEC, 2015).

Tablo 3.9. Patlayıcı toz ortamların sınıflandırılması (URL-3, 2024; IEC, 2015)

| Bölge (Zone)       | Bölge (Zone) Tanımı                                                                                                                                         |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bölge 20 (Zone 20) | Patlayıcı toz atmosferinin havada toz bulutu olarak sürekli veya uzun süreler boyunca mevcut olduğu alanlar                                                 |
| Bölge 21 (Zone 21) | Normal çalışma esnasında zaman zaman havada toz bulutu şeklinde patlayıcı bir toz atmosferinin oluşmasının muhtemel olduğu alanlar                          |
| Bölge 22 (Zone 22) | Rutin çalışma esnasında patlayıcı tozların havada toz bulutu olarak oluşmasının olası olmadığı, ancak oluşması halinde kısa bir süre devam edeceği alanlar. |

#### **3.4.4. Patlayıcı Toz Ortamlarında Bölge Belirleme Aşamaları**

- İlk aşama, ortamda biriken toz malzemenin yanıcı olup olmadığını belirlemektir. Parçacık büyüklüğü, nem muhtevası, bulut ve katmanın asgari tutuşma sıcaklığı, elektriksel öz direnç gibi parametreler göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca ortamda biriken tozun tutuşturma kaynakları ile birlikte değerlendirilmesi önemlidir.
- İkinci aşama, patlayıcı tozların veya bu tozlara ait salım kaynaklarının bulunabildiği ekipman ve makine öğelerini tanımlamaktır. Bu aşamada işletmede yer alan proseslerin iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu yüzden proses hat şemalarını, işletmenin yerleşim planı çizimlerini ve tüm makineler ile ekipmanların bulunduğu noktaları incelemek önemlidir.
- Üçüncü aşama, ise toz salınımının olduğu makine ve ekipmanların tespit edilir. Dolayısıyla prosesin çeşitli bölümlerindeki patlayıcı tozlu ortamların bulunma ihtimalinin olduğu yerler de belirlenmiş olur.
- Dördüncü aşama, işletmede bulunan havalandırma sistemlerinin etkisi ve temizlik ile ilgili prosedürlerin belirlenmesidir. Çünkü patlayıcı ortamların oluşmasına alınacak önlemler açısından da önemlidir
- Beşinci aşama, ise dokümantasyondur. İlgili yönetmelik ve standartlardan gelen tavsiyeler, tüm boşalma kaynaklarından salınan tozlarla ilgili değerlendirme, toz katmanlarının oluşmasını etkileyen proses parametreleri, toz azaltma tedbirleri, işletme ve bakım parametreleri ve temizlik programları ile ilgili bilgiler dokümante edilir (IEC, 2015).

#### **3.5. Ekipman Seçimi ve Etiketlenmesi**

Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından olası patlayıcı ortam içerisinde kullanılması gereken teçhizatın ve koruyucu sistemlerin güvenli olarak piyasaya arz edilmesi amacıyla Muhtemel Patlayıcı Ortamda Kullanılan Teçhizat ve Koruyucu Sistemler ile İlgili Yönetmelik (2014/34/AB) yayınlanmıştır. Bu yönetmelik kapsamında olası patlayıcı ortam içerisinde ekipmanlar için gerekli sağlık ve güvenlik donanımlarına, uygunluk denetimlerine ve piyasalara ait gözetimine ve denetimine ilişkin gereklilikler belirlenmiştir (URL-7, 2024).

### 3.5.1. Ekipman Grupları

Muhtemel patlayıcı ortamlarda kullanılacak ekipmanlar madenler ve sanayi kuruluşları olmak üzere iki ana grupta toplanmıştır ve alt kategorilere ayrılmıştır (URL-7, 2024).

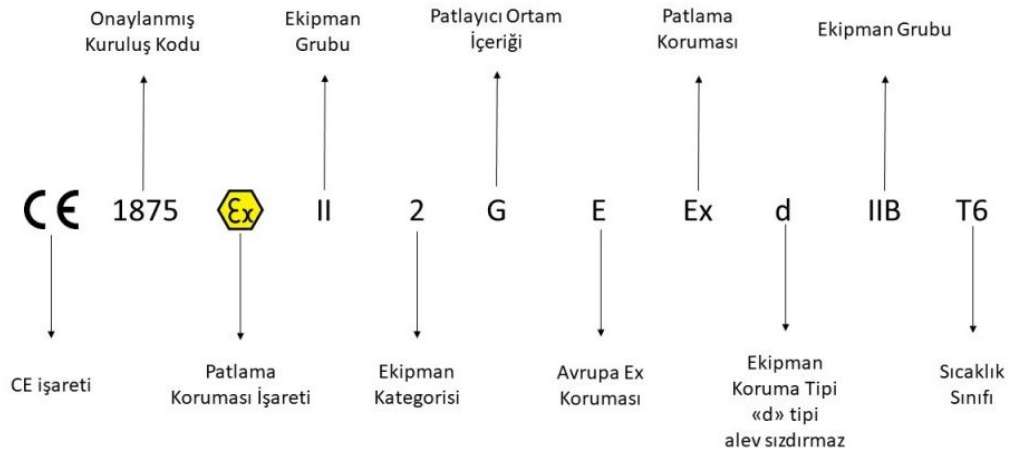
- **Grup I:** Madenlerde kullanılacak ekipman sınıfları için hazırlanan gerekliliklerdir. M1 ve M2 teçhizat kategorilerini içermektedir.
- **Grup II:** Sanayi tesislerinde kullanılacak ekipman sınıfları için hazırlanan gerekliliklerdir. 1, 2 ve 3 teçhizat kategorilerini içermektedir.

Tablo 3.10. Sanayi tesislerinde kullanılan ekipman kategorileri (URL-7, 2024)

| Bölge (Zone) |          | Teçhizat Kategorisi                 |
|--------------|----------|-------------------------------------|
| Gaz          | Toz      |                                     |
| Bölge 0      | Bölge 20 | Kategori 1                          |
| Bölge 1      | Bölge 21 | Kategori 1 ve Kategori 2            |
| Bölge 2      | Bölge 22 | Kategori 1 Kategori 2 ve Kategori 3 |

Exproof (patlamaya karşı korunmuş) ekipmanların koruma tipleri buhar ve gazlar için ingilizce gas (gaz) kelimesinin baş harfi olan G ve tozlar için yine ingilizce dust (toz) kelimesinin baş harfi D ile sembolize edilmektedir.

### 3.5.2. Ekipmanların Etiketlenmesi



Şekil 3.3. Ekipman etiketi (URL-8, 2024)

Exproof ekipmanların etiketlenmesinde kullanılan sembollerin anlamları şu şekilde ifade edilmektedir (URL-7, 2024; URL-8, 2024):

- **CE İşareti:** CE İşaret Yönetmeliği kapsamında standartlara uygun şekilde exproof ekipmanlar üzerinde işlenmektedir. Bu işaret üzerinde bulunmayan ekipmanlar exproof sertifikası alamazlar.
- **Onaylanmış Kuruluş Kodu:** Avrupa Birliği tarafından yetkilendirilen ve exproof ekipman üreten firmalara ait koddur.
- **Patlama Koruması İşareti:** Exproof ekipmanların üzerine işlenen ve ekipmanın patlamayı karşı koruma özelliği olduğunu belirten işarettir.
- **Ekipman Grubu:** Ekipmanların madenlerde (Grup I) ya da sanayi kuruluşlarında (Grup II) kullanılması gerektiğini belirten semboldür.
- **Ekipman Kategorisi:** Ekipmanların ait oldukları ekipman grubuna göre bulunduğu kategoriyi ifade eder. Grup I için kategori M1 ve M2, Grup II için kategori 1, 2 ve 3'tür
- **Patlayıcı Ortam İçeriği:** Buhar ve gaz patlayıcı ortamlar için G, toz patlayıcı ortamlar için D ve gaz ile tozun bir arada bulunduğu patlayıcı ortamlar için GD ifadesi kullanılmaktadır.
- **Avrupa Ex Koruması ve Patlama Koruması:** Ekipmanların patlama korumasının hangi standarda göre yapıldığını belirtmektedir. Avrupa standartlarına göre ise EEx şeklinde gösterilirken Amerika standartlarına göre ise AEx şekilde gösterilmektedir.
- **Ekipman Koruma Tipi:** Exproof ekipmanlar farklı tipte patlayıcı ortamlar için özelleşmiş koruma özelliklerine sahip olabilmektedir. İhtiyaca göre sekiz farklı tipte exproof ekipman üretilmektedir. Bunlar:

Tablo 3.11. Ekipman koruma tipleri (URL-7, 2024; URL-8, 2024)

| Ekipman Tipi | Koruma Özelliği                       |
|--------------|---------------------------------------|
| d            | Aleve dayanıklı muhafaza ile koruma   |
| p            | Basınçlı mahfaza ile koruma           |
| q            | Toz doldurma ile koruma               |
| o            | Yağa daldırma ile koruma              |
| e            | Arttırılmış güvenlik ile koruma       |
| i            | Kendinden güvenli devreler ile koruma |
| n            | Ark önleyici ekipman ile koruma       |
| m            | Kapsül içine alma yöntemi ile koruma  |

- **Ekipman Grubu (Muhteviyatı):** Patlayıcı ortamın oluşmasına neden olan gaz ve toz grubu kimyasalları ifade etmekte kullanılmaktadır. Bu kimyasallar sahip oldukları en düşük tutuşma enerjilerine göre sınıflandırılmaktadır.

Tablo 3.12. Ekipman grubuna ait kimyasal sınıflandırması (URL-7, 8, 2024)

| Grubu   | Sınıflandırma | Kimyasal                                          |
|---------|---------------|---------------------------------------------------|
| Grup I  | I             | Maden gazları (Metan gibi)                        |
|         | IIA           | Genel olarak hidrokarbon türevleri                |
|         | IIB           | Alkollerin büyük bir kısmı ve bazı hidrokarbonlar |
|         | IIC           | Hidrojen, asetilen, karbondisülfid                |
| Grup II | IIIA          | Yanıcı uçucu maddeler                             |
|         | IIIB          | İletken olmayan tozlar                            |
|         | IIIC          | İletken tozlar                                    |

- **Sıcaklık Sınıfı:** IEC 60079-20-1 Gaz ve buhar sınıflandırması için malzeme özellikleri standardına yer alan altı sıcaklık sınıfı bulunmaktadır. Patlayıcı ortamın oluşmasına neden olan gaz ve toz grubu kimyasalların sahip oldukları kendiliğinden tutuşma sıcaklıklarına göre sınıflandırılmaktadır.

Tablo 3.13. Ekipman grubuna ait sıcaklık sınıflandırması (IEC, 2010)

| Sınıfı | Kendiliğinden Tutuşma Sıcaklık (KTS) Aralığı (°C) |
|--------|---------------------------------------------------|
| T1     | > 450                                             |
| T2     | 300 < KTS ≤ 450                                   |
| T3     | 200 < KTS ≤ 300                                   |
| T4     | 135 < KTS ≤ 200                                   |
| T5     | 100 < KTS ≤ 135                                   |
| T6     | 85 < KTS ≤ 100                                    |

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma Kocaeli ili Darıca Küçük Sanayi Sitesinde yer alan küçük ölçekli bir kaplama firmasında gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda, ilgili işletmede saha çalışmaları gerçekleştirilmiş, sahadan elde edilen veriler kullanılarak potansiyel patlayıcı ortamların ve tutuşma kaynaklarının belirlenmesine yönelik bir risk analizi yapılmıştır. Son aşamada, olası patlayıcı ortamlar için gerekli hesaplamalar tamamlanmış ve tehlike bölgeleri tespit edilmiştir.

### 4.1. İşletme Bilgileri

Araştırmanın yapıldığı firma Darıca Küçük Sanayi Sitesinde yer almakta olup iki farklı birimde toplamda 1050 m<sup>2</sup> kapalı alana sahiptir. Yapılan saha gezisinde firma adına kayıtlı iki ayrı lokasyonda iki farklı nace kodu ile üretim yaptığı anlaşılmıştır. Kaplama işlemlerinin yapıldığı 450 m<sup>2</sup>'lik birimin yanında yaklaşık 600 m<sup>2</sup>'lik metal işleme birimi mevcuttur.

Kaplama biriminde nikel ve sert krom kaplama ve sökme işlemleri yapılmaktadır. Kalıp, mil, merdane ve rod gibi makine parçaları üzerine çalışılmaktadır. 4000 mm Boy, 1000 mm Çap ve 9 ton'a kadar kalıplar ile 600 mm Çap ve 4000 mm boya kadar tüm silindirik iş parçalarının bakımını, kaplamasını ve kaplama söküm işlemlerini sahip oldukları iki kaplama banyosunda yapılmaktadır.



Şekil 4.1. Kaplama banyosu

Metal işleme biriminde ise derin delik delme, CNC (Computer Numerical Control), torna, taşlama, honlama vb. metal işlemleri yapılmaktadır. Farklı ebat ve kapasiteye sahip toplamda 12 adet metal işleme makinesi bulunmaktadır. Müşterilerin ihtiyaçları dâhilinde hem kaplama hem de metal işleme proseslerinin bir arada yürütüldüğü işlemler de yapılmaktadır.



Şekil 4.2. Metal işleme birimi

İşletmede toplamda 28 personel istihdam edilmektedir. İşletme sahiplerinin stratejik hedefleri arasında, iki ayrı lokasyonda faaliyet gösteren kaplama ve metal işleme birimlerini tek bir lokasyonda birleştirerek üretim kapasitesini artırmak yer almaktadır.

#### **4.2. Tesiste Kullanılan Kimyasallar**

Tesiste kullanılan kimyasallar saha denetiminde tespit edilmiştir. Tesisin çalışma politikasına göre uzun süreli kimyasal depolaması yapılmamaktadır. Kısa süreli ihtiyaçlar dâhilinde az miktarlarda temin edilerek kullanılmaktadır. Örneğin selülozik tiner makine, araç gereç ve işlenen metal iş parçalarını temizleme amaçlı kullanılmaktadır. Dolayısıyla aylık 3 teneke olmak üzere toplam 54 litre temin edilerek kullanılmaktadır.

Tesiste yakıt ile çalışan forklift ve jeneratör gibi ekipmanlar kullanılmadığı için herhangi bir yakıt deposu da bulunmamaktadır. Tesise işlenmek üzere getirilen külçe metal, silindir, mil ve kalıp gibi malzemeler 5 ve 10 ton taşıma kapasiteli köprülü

vinçler yardımıyla taşınmaktadır. Söz konusu köprülü vinçler elektrik ile çalışmaktadır.

İşletmede yapılan saha çalışmasında kullanılan kimyasallar kullanım yerine göre dağınık şekilde durduğu görülmüştür. İşletmede kullanılan kimyasallara ait materyal güvenlik bilgi formları incelenmiş ve özelliklerine göre Tablo 4.1’de yer alan kimyasal listesi hazırlanmıştır.

Tablo 4.1. Tesiste Kullanılan Kimyasallar ve özellikleri

| Kimyasal                                                                      | Yanıcı-<br>Patlayıcı | Yanıcı-<br>Patlayıcı<br>Olmayan | Kullanım Amacı                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Molykote TP42 Pasta                                                           |                      | √                               | Korozyonu önleme                                            |
| Hayat Selülozik Tiner                                                         | √                    |                                 | Metal parçalarının temizliği                                |
| Mobel Selülozik Tiner                                                         | √                    |                                 | Metal parçalarının temizliği                                |
| Coldex Kesme ve Soğutma Sıvısı                                                |                      | √                               | Metal ısınmasını önleme                                     |
| Hexon Kızak Yağı                                                              |                      | √                               | Takım tezgâhının yatay ve dikey kızaklarının yağlanması     |
| Petroviskol Hidrolik Yağı                                                     |                      | √                               | Tezgâhların hidrolik sistemlerinin yağlanması               |
| Petroviskol Bor Yağı                                                          |                      | √                               | Talaşlı imalatlarda metalin ve kesme takımlarının korunması |
| Tess-San Eurolub TE 280                                                       |                      | √                               | Aşınma ve korozyonu önleme                                  |
| Şişecam Kromik Asit                                                           |                      | √                               | Kaplama banyolarını temizleme                               |
| Nitrik Asit                                                                   |                      | √                               | Kaplama işleminin uygulanması                               |
| Petrotime Yeşil Gres Yağı                                                     |                      | √                               | Korozyon ve ısıya karşı koruma                              |
| Petrotime Sarı Gres Yağı                                                      |                      | √                               | Korozyonu önleme ve sızdırmazlık sağlama                    |
| Oksijen Gazı                                                                  |                      | √                               | Metal parçalarını ısıtmak                                   |
| LPG                                                                           | √                    |                                 | Metal parçalarını ısıtmak                                   |
| Gaz Karışımı<br>(%80 Argon, %18-20 CO <sub>2</sub> ,<br>%1-2 O <sub>2</sub> ) |                      | √                               | Gazaltı kaynağında koruyucu gaz                             |
| Doğalgaz                                                                      | √                    |                                 | Genel kullanım                                              |
| Kaplama Banyosu Atığı                                                         |                      | √                               | -                                                           |
| Metal Talaş Atığı                                                             |                      | √                               | -                                                           |

#### 4.3. Risk Değerlendirmesi

Tesiste yapılan saha denetimleri sonucunda elde edilen veriler ışığında risk değerlendirmesi yapılmıştır ve metod olarak Fine-Kinney risk analiz yöntemi

kullanılmıştır. Bu yöntem kullanılmasıdaki amaç tek başına yapılabiliyor oluşu ve çok tecrübe gerektirmemesidir.

Risk değerlendirmesi işletmenin geneli için değil patlayıcı ortam oluşturabilecek kimyasallar, tozlar, tutuşma kaynakları ve sıcak yüzeyler üzerine odaklanılmıştır.

Yapılan risk değerlendirmesi sonucunda üç adet patlayıcı ortam oluşturabilecek durum tespit edilmiştir. Oluşabilecek patlayıcı ortamlar LPG tüpü, doğalgaz tesisatı ve tinerden kaynaklanabileceği görülmüştür.

İşletmede bulunan basınçlı gazlardan biri olan oksijen ( $O_2$ ) gazı kendisi yanıcı bir gaz olmamakla birlikte oksitleyici niteliktedir. Bu yüzden olası bir yangın ya da alevli patlama yaşanması durumunda körükleyici bir etki yapmaktadır. Öte yandan oksijen gazı sağlık kuruluşlarında tıbbi amaçlı gaz olarak kullanılmasından dolayı medikal gazlar kategorisinde değerlendirilmektedir. Bu yüzden IEC 60079-10-1 Patlayıcı Gaz Atmosferleri standardına göre kapsam dışı kabul edilmektedir.

Gazaltı kaynak makinesinde kullanılan gaz karışımı (%80 Ar, %18-20  $CO_2$ , %1-2  $O_2$ ) koruyucu gaz olarak kullanılmaktadır. Ayrıca malzeme güvenlik bilgi formlarından da anlaşıldığı üzere karışımın büyük çoğunluğu argon gibi inert bir gazın oluşturmasından dolayı yanıcı ve patlayıcı özellik göstermemektedir.



Şekil 4.3. Metal işleme proseslerinde kullanılan torna tezgâhı

İşletmede yapılan saha denetimlerinde metal işleme tezgâhlarında bütün çelik sınıfları işlenmektedir. Metaller külçe olarak ya da bakım amaçlı gelmektedir. Dolayısıyla MGBF'leri bulunmamaktadır. NFPA 484 Yanıcı Metaller Standardına ve NFPA 652 Yanıcı Tozların Temellerine İlişkin Standarda göre metallerden kaynaklı bütün tozların az veya çok yanıcı olarak düşünülmektedir ancak standartlar daha çok alkali metaller, demir, alüminyum, magnezyum, niyobyum, tantal, titanyum, zirkonyum gibi metal tozları üzerine yoğunlaşmıştır. Kaplama firmasının çalışma ortamında metal tozu birikmemesi, düzenli temizlik yapılması, ortamın havalandırılması ve bor yağı ile çıkan metal tozlarının toplanması sebebiyle patlayıcı toz ortamı beşgeninin oluşmayacağı düşünülmüştür.

İşletme içerisinde patlayıcı ortamların tespiti ve patlayıcı ortamların oluşumuna etki edebilecek, tutuşma kaynakları, sıcak yüzeyler, kimyasallar, makine ve ekipmanlara ait risk değerlendirmesi bulguları Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'de yer almaktadır.

Tablo 4.2. Fine-Kinney Risk Değerlendirme Tablosu

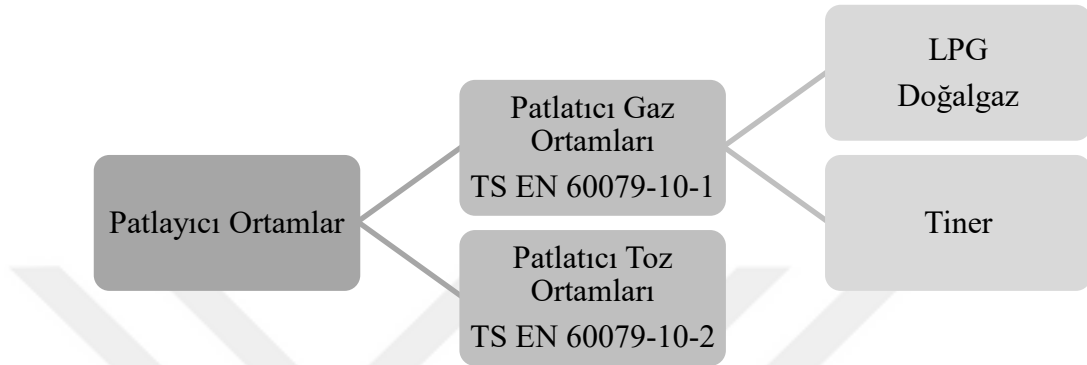
| No | Tehlike Modülü/ Faaliyet Alanı   | Tehlike              | Risk                                                                                                                                       | Sonuç/ Olası Etki Zarar | Mevcut Durum (Tespit edilen riske ilişkin mevcut önlemler)                                                                         | MEVCUT DURUM |         |        |            |               | İYİLEŞTİRME          |                                                                                                                     | İYİLEŞTİRME SONRASI |         |        |            |               |
|----|----------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------|--------|------------|---------------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------|--------|------------|---------------|
|    |                                  |                      |                                                                                                                                            |                         |                                                                                                                                    | Olasılık     | Frekans | Şiddet | Risk Puanı | Risk Seviyesi | Risk Kontrolü        | Alınacak Önlemler                                                                                                   | Olasılık            | Frekans | Şiddet | Risk Puanı | Risk Seviyesi |
| 1  | Metal İşleme                     | Kıvılcım             | CNC, Torna vb. tezgahlarda metallerin işlenmesi esnasında kıvılcım çıkması sonucu patlayıcı ortamın ateşlenmesi                            | Patlama Yaralanma Ölüm  | Metalin işlenmesi esnasında bor yağı kullanılmaktadır                                                                              | 0,5          | 6       | 40     | 120        | ÖNEMLİ RİSK   | Mühendislik kontrolü | Patlayıcı ortamı oluşturan kimyasalların çalışma ortamında izole şekilde yerleştirilmesi                            | 0,2                 | 0,5     | 40     | 4          | ÖNEMSİZ RİSK  |
| 2  | Metal İşleme                     | Patlayıcı Ortam      | CNC, Torna vb. tezgahlarda metallerin işlenmesi esnasında oluşan metal tozlarının patlayıcı ortam oluşturmaması                            | Patlama Yaralanma Ölüm  | Metalin işlenmesi esnasında çıkan tozlar bor yağı ile toplanmaktadır. Ortamda havalandırılmakta ve düzenli temizlik yapılmaktadır. | 0,5          | 0,5     | 40     | 10         | ÖNEMSİZ RİSK  | İdari Kontrol        | İşlenen metallerle ait MSDSler temin edilmeli ve oluşan metal tozları için partikül boyutu analizi yapılmalıdır     | 0,5                 | 0,5     | 40     | 10         | ÖNEMSİZ RİSK  |
| 3  | Metal İşleme                     | Elektrik Kaçağı      | Metal işleme tezgahlarının bazılarında elektrik kaçaklarına karşı gövde topraklamalarının bulunmaması sonucu patlayıcı ortamın ateşlenmesi | Patlama Yaralanma Ölüm  | -                                                                                                                                  | 3            | 3       | 40     | 360        | ESASLI RİSK   | Mühendislik kontrolü | Gövde topraklaması olmayan tezgahlara topraklama bağlantıları yapılmalıdır                                          | 0,5                 | 1       | 40     | 20         | ÖNEMSİZ RİSK  |
| 4  | Elektrik ile İlgili Faaliyetler  | Su ile temas         | CNC tezgahının elektrik kabloları su ile temas etmektedir olası bir kaçakta veya kıvılcımda patlama yaşanması                              | Patlama Yaralanma Ölüm  | -                                                                                                                                  | 1            | 3       | 40     | 120        | ÖNEMLİ RİSK   | Mühendislik kontrolü | Su tesisatının yeri değiştirilmelidir                                                                               | 0,2                 | 1       | 40     | 8          | ÖNEMSİZ RİSK  |
| 5  | Elektrik ile İlgili Faaliyetler  | Topraklama           | Elektrik tesisatı ve panoların periyodik kontrolünün yapılmaması                                                                           | Patlama Yaralanma Ölüm  | -                                                                                                                                  | 3            | 1       | 40     | 120        | ÖNEMLİ RİSK   | Mühendislik kontrolü | Akredite olmuş bir firma tarafından periyodik kontrollerin yaptırılmalıdır                                          | 0,2                 | 1       | 40     | 8          | ÖNEMSİZ RİSK  |
| 6  | Elektrik ile İlgili Faaliyetler  | Paratoner            | Binanın çatısında paratoner bulunmamaktadır                                                                                                | Yangın                  | -                                                                                                                                  | 3            | 1       | 40     | 120        | ÖNEMLİ RİSK   | Mühendislik kontrolü | Olası yıldırım düşmelerine karşı paratoner ve topraklama tesisatı yerleştirilmelidir                                | 0,2                 | 1       | 40     | 8          | ÖNEMSİZ RİSK  |
| 7  | Acil Durum Faaliyetleri          | Yangına Müdahale     | Otomatik yangın algılama sistemi olmadığı için çıkabilecek yangınlara müdahale edilememesi                                                 | Yaralanma Ölüm          | -                                                                                                                                  | 3            | 3       | 40     | 360        | ESASLI RİSK   | Mühendislik kontrolü | Çalışma ortamına uygun otomatik algılama sistemi ve yangın detektörleri yerleştirilmelidir                          | 0,2                 | 3       | 15     | 9          | ÖNEMSİZ RİSK  |
| 8  | Kimyasallarla Yapılan Çalışmalar | Düzensiz Kimyasallar | Kimyasalların üretim alanında düzensiz şekilde bulunması sonucu yangın, iş kazası vb. durumların yaşanması                                 | Yangın Yaralanma        | -                                                                                                                                  | 1            | 3       | 15     | 45         | OLASI RİSK    | İdari Kontrol        | Kimyasallar düzenli şekilde yerleştirilmeli ve düzen sürdürülebilir hale getirilmelidir                             | 0,5                 | 2       | 15     | 15         | ÖNEMSİZ RİSK  |
| 9  | Kimyasallarla Yapılan Çalışmalar | Kimyasal Kullanımı   | Kimyasallara ait Türkçe MSDSlerin üretim alanında yer almaması sonucu yanlış kullanım                                                      | Yaralanma İş Kazası     | -                                                                                                                                  | 1            | 3       | 7      | 21         | OLASI RİSK    | İdari Kontrol        | Kimyasalların düzenli olarak depolandığı noktaya Türkçe MSDS'ler yerleştirilmeli ve çalışanlara eğitim verilmelidir | 0,5                 | 3       | 7      | 10,5       | ÖNEMSİZ RİSK  |
| 10 | Kimyasallarla Yapılan Çalışmalar | Basınçlı Gazlar      | Basınçlı gaz tüplerinin tüp standına sahiplenmemiş olması sonucu devrilme                                                                  | Yaralanma İş Kazası     | -                                                                                                                                  | 1            | 2       | 40     | 80         | ÖNEMLİ RİSK   | Mühendislik kontrolü | Basınçlı gaz tüpleri standa sabitlenmelidir                                                                         | 0,2                 | 2       | 40     | 16         | ÖNEMSİZ RİSK  |

Tablo 4.3. (devam)

| No | Tehlike Modülü/ Faaliyet Alanı   | Tehlike                 | Risk                                                                                                                               | Sonuç/ Olası Etki Zarar | Mevcut Durum (Tespit edilen riske ilişkin mevcut önlemler) | MEVCUT DURUM |         |        |            |               | İYİLEŞTİRME          |                                                                                                                    | İYİLEŞTİRME SONRASI |         |        |            |               |
|----|----------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------|--------------|---------|--------|------------|---------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------|--------|------------|---------------|
|    |                                  |                         |                                                                                                                                    |                         |                                                            | Olasılık     | Frekans | Şiddet | Risk Puanı | Risk Seviyesi | Risk Kontrolü        | Alınacak Önlemler                                                                                                  | Olasılık            | Frekans | Şiddet | Risk Puanı | Risk Seviyesi |
| 11 | Kimyasallarla Yapılan Çalışmalar | Basınçlı Gazlar         | Basınçlı gaz tüplerinde kullanılan hortumların deforme olmuş olması                                                                | Yangın Yaralanma Ölüm   | -                                                          | 3            | 2       | 40     | 240        | ESASLI RİSK   | Mühendislik kontrolü | Gaz tüpleri ile ilgili standarda uygun şekilde üretilen hortumlar ikame edilmelidir                                | 0,2                 | 2       | 40     | 16         | ÖNEMSİZ RİSK  |
| 12 | Kimyasallarla Yapılan Çalışmalar | Basınçlı Gazlar         | Basınçlı gaz tüplerinde kullanılan hortumlarında geri tepme ventili bulunmaması sonucu yangın ve patlama riski                     | Yangın Yaralanma Ölüm   | -                                                          | 3            | 2       | 40     | 240        | ESASLI RİSK   | Mühendislik kontrolü | hortumlara stanarda uygun geri tepme ventili (tek yönlü valf) yerleştirilmelidir                                   | 0,2                 | 2       | 40     | 16         | ÖNEMSİZ RİSK  |
| 13 | Kimyasallarla Yapılan Çalışmalar | Patlayıcı Ortam         | LPG tüpünün yanıcı bir gaz olması sonucu patlayıcı ortam oluşturması                                                               | Patlama Yanagın Ölüm    | -                                                          | 3            | 2       | 40     | 240        | ESASLI RİSK   | Mühendislik kontrolü | LPG tüpüne ait PKD hazırlanmalı ve gerekli önlemler alınmalıdır                                                    | 0,2                 | 2       | 40     | 16         | ÖNEMSİZ RİSK  |
| 14 | Kimyasallarla Yapılan Çalışmalar | Basınçlı Gazlar         | Oksijen tüpünün LPG tüpüyle birlikte depolanması sonucu olası bir yangın ya da patlamada körükleyici etki yapma olasılığı          | Patlama Yanagın Ölüm    | -                                                          | 3            | 2       | 40     | 240        | ESASLI RİSK   | Mühendislik kontrolü | Kullanılmadığı zamanlarda oksijen tüpü ayrı alanlarda depolanmalıdır                                               | 0,2                 | 2       | 40     | 16         | ÖNEMSİZ RİSK  |
| 15 | Kimyasallarla Yapılan Çalışmalar | Basınçlı Gazlar         | Oksijen tüpünün bakımının yapılmaması olması patlama riski                                                                         | Patlama Yanagın Ölüm    | -                                                          | 1            | 2       | 40     | 80         | ÖNEMLİ RİSK   | Mühendislik kontrolü | Mevzuatta yer alan usul ve esaslar dikkate alınarak İSG Kurulu oluşturulmalıdır                                    | 0,2                 | 2       | 40     | 16         | ÖNEMSİZ RİSK  |
| 16 | Kimyasallarla Yapılan Çalışmalar | Oksitleyici Kimyasallar | Formik asit ve oksijen gibi oksitleyici kimyasalların patlayıcı ortamlara yakın şekilde depolanması sonucu yangın ve patlama riski | Patlama Yanagın Ölüm    | -                                                          | 3            | 2       | 40     | 240        | ESASLI RİSK   | Mühendislik kontrolü | Yoksitleyici kimyasallarla yapılan çalışmalar patlayıcı ortamlardan izole şekilde yapılmalı ve ayrı depolanmalıdır | 0,2                 | 2       | 40     | 16         | ÖNEMSİZ RİSK  |
| 17 | Kimyasallarla Yapılan Çalışmalar | Patlayıcı Ortam         | Tinerin yanıcı bir kimyasal olması neticesinde patlayıcı ortam oluşturması                                                         | Patlama Yanagın Ölüm    | -                                                          | 3            | 2       | 40     | 240        | ESASLI RİSK   | Mühendislik kontrolü | Tinere ait PKD hazırlanmalı ve gerekli önlemler alınmalıdır                                                        | 0,2                 | 2       | 40     | 16         | ÖNEMSİZ RİSK  |
| 18 | Kaynak İşleri                    | Gaz Altı Kaynağı        | Patlayıcı Ortamın bulunduğu alanlarda kaynak yapılması sonucu patlama riski                                                        | Patlama Yanagın Ölüm    | -                                                          | 3            | 2       | 40     | 240        | ESASLI RİSK   | İdari Kontrol        | Kaynak işlerinin dış ortamda ve havalandırma iyi olacak şekilde yapılmalıdır                                       | 0,2                 | 2       | 40     | 16         | ÖNEMSİZ RİSK  |
| 19 | Doğalgaz Kullanımı               | Patlayıcı Ortam         | Doğalgaz sızıntısı sonucu patlayıcı ortam oluşması                                                                                 | Patlama Yanagın Ölüm    | -                                                          | 1            | 2       | 40     | 80         | ÖNEMLİ RİSK   | İdari Kontrol        | Doğalgaza ait PKD hazırlanmalı ve gerekli önlemler alınmalıdır                                                     | 0,2                 | 2       | 40     | 16         | ÖNEMSİZ RİSK  |

#### 4.4. Patlayıcı Ortamlar ve Hesaplamalar

Yapılan Risk Değerlendirmesi sonucunda elde ettiğimiz veriler ışığında kaplama firması tesislerinde patlayıcı ortam oluşturabilecek üç farklı kimyasal tespit edilmiştir. Firmada tespit edilen patlayıcı ortamlara ait şema Şekil 4.4’de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Firmada tespit edilen patlayıcı ortamlara ait kimyasallar

##### 4.4.1. LPG Tüpü Oluşturabileceği Patlayıcı Ortam Hesaplamaları

Tablo 4.4. LPG tüpüne ait parametreler

| Parametre                       | Değer                  | Parametre                         | Değer                     |
|---------------------------------|------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| Mol Kütlesi                     | 54 kg/kmol             | Boşalma Faktörü ( $C_d$ )         | 1                         |
| Yoğunluk                        | 1,86 kg/m <sup>3</sup> | Politropik İndeks ( $\gamma$ )    | 1,07                      |
| Buhar Basıncı                   | 2,50 bar (15 °C’de)    | Kabın İç Basıncı (P)              | 400000 Pa                 |
| Kendiliğinden Tutuşma Sıcaklığı | 400 °C                 | Kesit Alanı (S)                   | 0.00000025 m <sup>2</sup> |
| LEL                             | % 1,9                  | Sıkışma Faktörü (Z)               | 1                         |
| UEL                             | % 9                    | Atmosferik basınç ( $P_a$ )       | 101325 Pa                 |
| Parlama Noktası                 | - 74 °C                | Yer çekimi ivmesi (g)             | 9,81 m/sn <sup>2</sup>    |
| Alan Tipi                       | Dar ve Sıkışık Yerler  | Havalandırmanın Uygulanabilirliği | Orta                      |
| Boşalma Kaynağı                 | LPG tüp vanası         | Hacim ( $V_0$ )                   | 3300 m <sup>3</sup>       |
| Boşalma Derecesi                | Tali                   | Güvenlik Faktörü (k)              | 0,5                       |

##### • Kritik Basıncın Hesaplanması

$$P_c = P_a \left( \frac{\gamma+1}{2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = 101325 \left( \frac{1,07+1}{2} \right)^{\frac{1,07}{1,07-1}} = 171431,46270 \text{ Pa}$$

**Sonik Boşalma ( $P > P_c$ ):** Ses Üstü Boşalma da denilmektedir.

**Subonik Boşalma ( $P < P_c$ ):** Ses Altı Boşalma da denilmektedir.

$$P = 400000 \text{ Pa ve } P_c = 171431,46270 \text{ Pa ise}$$

400000 Pa > 171431,46270 Pa yani  $P > P_c$  'dir. Gaz sonik boşalma gerçekleşir.

- **Sonik Boşalma Hesaplaması (Kütleli)**

$$W_g = C_d S P \sqrt{\gamma \frac{M}{ZRT} \left( \frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{(\gamma+1)}{(\gamma-1)}}} =$$

$$1,0,00000025.400000 \sqrt{1,07 \frac{54}{1.8314.293} \left( \frac{2}{1,07+1} \right)^{\frac{(1,07+1)}{(1,07-1)}}}$$

$$W_g = 0,000293 \text{ kg/sn}$$

- **Gaz / Buhar Yoğunluğunun Hesaplaması**

$$P_g = \frac{P_a M}{RT_a} = \frac{101325.54}{8314.293} = 2,246 \text{ kg/m}^3$$

- **Sonik Boşalma Hesaplaması (Hacimsel)**

$$Q_g = \frac{W_g}{P_g} = \frac{0,000293}{2,246} = 0,00013 \text{ m}^3/\text{sn}$$

- **Boşalma (Salım) Karakteristiğinin Hesaplaması**

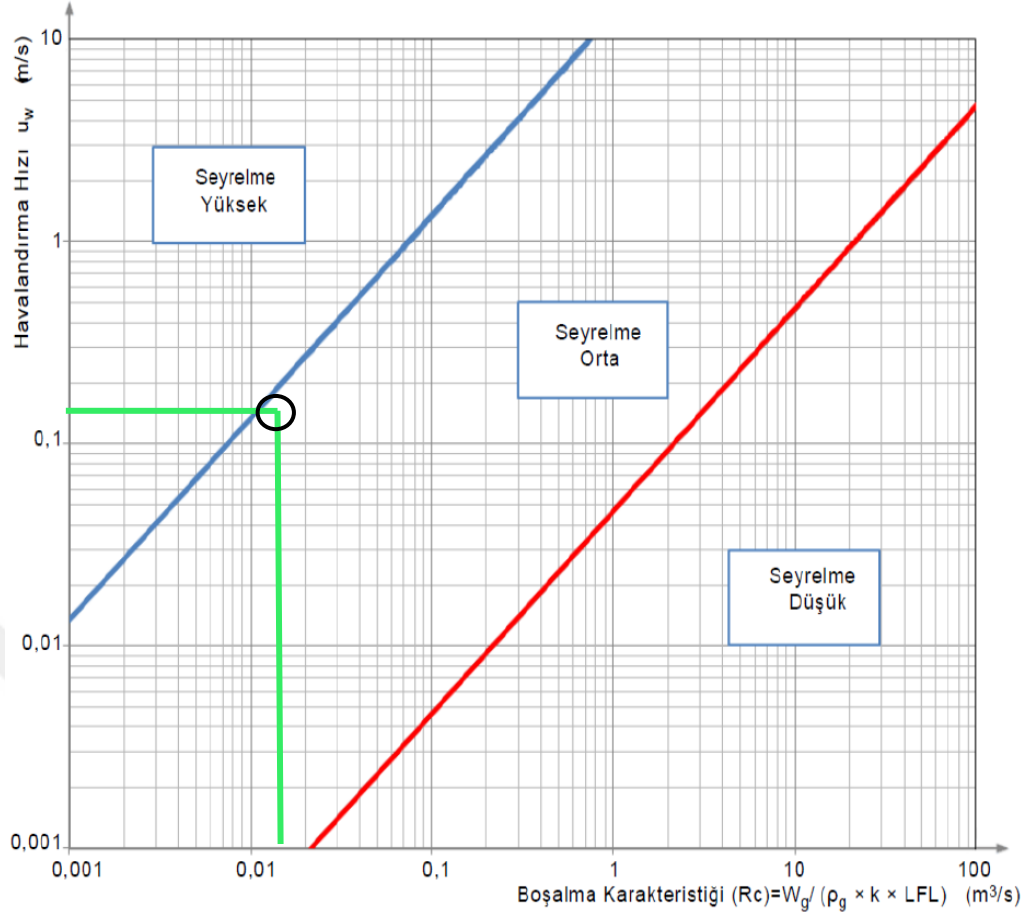
$$R_c = \frac{W_g}{P_g k_{LFL}} = \frac{0,000293}{2,246.0,5.0,019} = 0,014 \text{ m}^3/\text{sn}$$

- **Seyrelme Derecesinin Belirlenmesi**

$U_w$  değeri Tablo 3.7'den belirlenmektedir (IEC, 2020). Tablo 3.7'ye göre dar ve sıkışık alanlarda ve 2 metrenin altındaki yüksekliklerde havadan ağır gazlar için 0,15 m/sn olarak belirlenmiştir. Buna göre;

$$R_c = 0,014 \text{ m}^3/\text{sn}$$

$$U_w = 0,15 \text{ m/sn}$$



Şekil 4.5. LPG'ye ait seyrelme derecesinin belirlenmesi

Seyrelme Derecesi: Orta Seyrelme

Şekil 4.5'te yer alan grafik üzerinde havalandırma hızı ve boşalma karakteristiği değerleri kesiştirildiğinde seyrelme derecesinin orta olduğu görülmektedir.

- **Tehlike Bölgesinin ve Emniyet Mesafesinin Belirlenmesi**

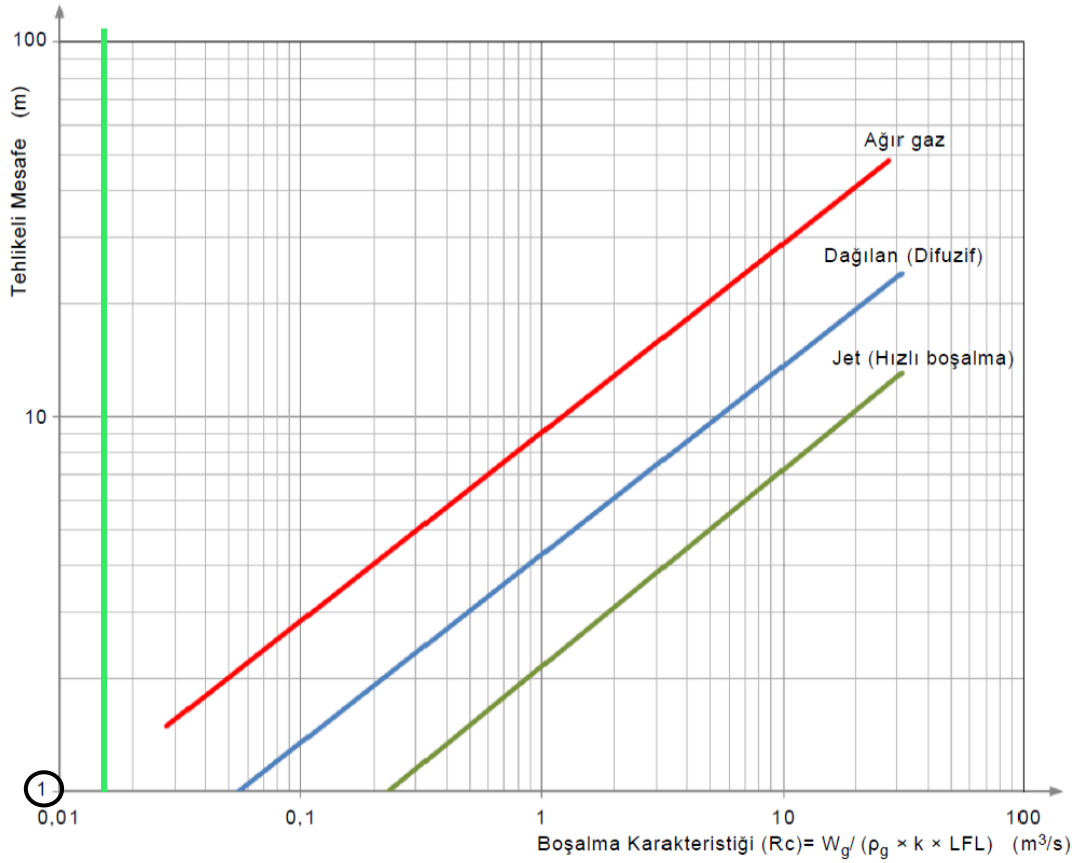
Tehlike bölgesinin belirlenmesi Tablo 4.5. üzerinden yapılmaktadır.

Tablo 4.5. LPG'ye ait tehlikeli bölge belirleme tablosu (IEC, 2020)

| Boşalma<br>Derecesi    | Havalandırmanın Etkisi             |                               |                            |               |                         |                         | Düşük<br>Seyrelme          |
|------------------------|------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
|                        | Yüksek Seyrelme                    |                               |                            | Orta Seyrelme |                         |                         |                            |
|                        | Havalandırmanın Kullanılabilirliği |                               |                            |               |                         |                         | İyi<br>Orta<br>Kötü        |
|                        | İyi                                | Orta                          | Kötü                       | İyi           | Orta                    | Kötü                    |                            |
| Sürekli                | (Bölge 0<br>İE)<br>Tehlikesiz      | (Bölge 0<br>İE)<br>Bölge 2    | (Bölge 0<br>İE)<br>Bölge 1 | Bölge 0       | Bölge 0<br>+<br>Bölge 2 | Bölge 0<br>+<br>Bölge 1 | Bölge 0                    |
| Ana<br>(1.<br>Derece)  | (Bölge 1<br>İE)<br>Tehlikesiz      | (Bölge 1<br>İE)<br>Bölge 2    | (Bölge 1<br>İE)<br>Bölge 2 | Bölge 1       | Bölge 1<br>+<br>Bölge 2 | Bölge 1<br>+<br>Bölge 2 | Bölge 1<br>veya<br>Bölge 2 |
| Tali<br>(2.<br>Derece) | (Bölge 2<br>İE)<br>Tehlikesiz      | (Bölge 2<br>İE)<br>Tehlikesiz | Bölge 2                    | Bölge 2       | Bölge 2                 | Bölge 2                 | Bölge 1<br>veya<br>Bölge 2 |

Havalandırmanın etkisi Şekil 4.5.'te orta seyrelme olarak belirlendi ve havalandırmanın kullanılabilirliği ise işletmenin kapılarından doğal havalandırma yapıldığı için orta seviye olarak belirlendi. Boşalma derecesi ise normal çalışma esnasında beklenmeyen ancak tüp vanasından oluşabilecek bir gaz kaçağı senaryosunda tali boşalma olarak belirlendi. Dolayısıyla orta seyrelme ve orta seviye havalandırma kullanılabilirliği ile tali boşalma derecesi tablo üzerinde kesiştirildiğinde tehlike bölgesi Bölge 2 olarak tespit edilmiştir.

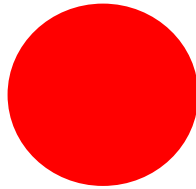
LPG tüpüne ait emniyet mesafesi belirlenmesi Şekil 4.6'da gösterilmiştir. LPG'ye ait boşalma karakteristiği  $0,014 \text{ m}^3/\text{sn}$  hesaplanmıştır. Gaz yoğunluğu LPG'ye ait  $1,86 \text{ kg/m}^3$  olarak verildiği ve havanın yoğunluğu  $1 \text{ kg/m}^3$  olarak kabul edildiği için LPG havadan ağır bir gazdır. LPG havadan ağır bir gaz olsa da basınç altında olduğu için Jet tipi boşalma meydana gelecektir.



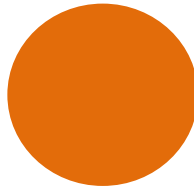
Şekil 4.6. LPG'ye ait emniyet mesafesinin belirlenmesi

Şekil 4,6.'da yer alan grafikte boşalma karakteristiği değerinde jet boşalma doğrusuna bir doğru çekilmiş ancak bu doğru jet boşalma doğrusunu kesmemiştir. Bu gibi durumlarda grafikten de anlaşıldığı üzere en düşük Tehlike Mesafesi 1 metre olarak kabul edilmektedir. Dolayısıyla tüpün vanasından itibaren 1 metrelik mesafe Bölge 2 olarak işaretlenmelidir.

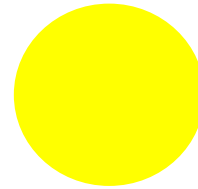
Tehlikeli Bölge emniyet mesafelerine ait renk kodlamaları aşağıdaki gibidir.



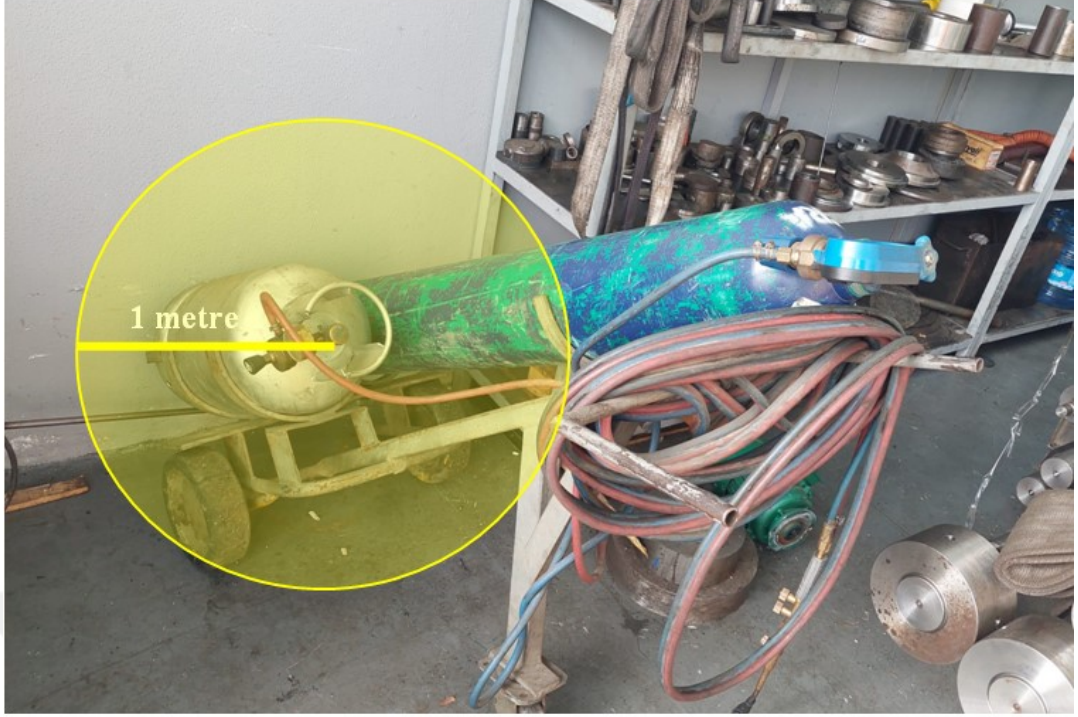
Bölge 0



Bölge 1



Bölge 2



Şekil 4.7. LPG tüpüne ait bölge 2 kabul edilen emniyet mesafesi

1 metrelik Bölge içerisinde kullanılacak olarak elektrikli ekipmanların aşağıda yer alan etiketleme şeklinde exproof sertifikası almış olması gerekmektedir.

CE XXXX  II 3 G E Ex d IIA T3

#### 4.4.2. Doğalgaz Hattının Oluşturabileceği Patlayıcı Ortam Hesaplamaları

Firmada doğalgaz proses amaçlı kullanılmamaktadır. Daha çok mutfak, banyo ve lavabolarda ocak ve sıcak su için kullanılmaktadır. Doğalgaz ana istasyonundan çıkan regülatörler yardımıyla basıncı kullanıma uygun hale gelecek şekilde düşürmektedirler. Dolayısıyla firmanın doğalgaz sayacından 4 bar basınca düşürülmüş gaz geçmektedir.

Doğalgaz % 90-98 civarında metan ( $CH_4$ ) ihtiva etmektedir. Bu yüzden doğalgaza ait MGBF bilgileri metanın bilgilerini içermektedir. Tablo 4.6. bu bilgiler ışığında hazırlanmıştır.

Tablo 4.6. Doğalgaza ait parametreler

| Parametre                       | Değer                            | Parametre                         | Değer                     |
|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| Mol Kütlesi                     | 16,04 kg/kmol                    | Boşalma Faktörü ( $C_d$ )         | 1                         |
| Yoğunluk                        | 0,66 kg/m <sup>3</sup>           | Politropik İndeks ( $\gamma$ )    | 1,31                      |
| Buhar Basıncı                   | -                                | Kabın İç Basıncı (P)              | 400000 Pa                 |
| Kendiliğinden Tutuşma Sıcaklığı | 595 °C                           | Kesit Alanı (S)                   | 0.00000025 m <sup>2</sup> |
| LEL                             | % 5                              | Sıkışma Faktörü (Z)               | 1                         |
| UEL                             | % 15                             | Atmosferik basınç ( $P_a$ )       | 101325 Pa                 |
| Parlama Noktası                 | - 82,5 °C                        | Yer çekimi ivmesi (g)             | 9,81 m/sn <sup>2</sup>    |
| Alan Tipi                       | Açık ve Geniş Yerler             | Havalandırmanın Uygulanabilirliği | İyi                       |
| Boşalma Kaynağı                 | Doğalgaz Sayacı Bağlantı elemanı | Hacim ( $V_0$ )                   | Dış Ortam                 |
| Boşalma Derecesi                | Tali                             | Güvenlik Faktörü (k)              | 0,5                       |

- Kritik Basıncın Hesaplanması**

$$P_c = P_a \left( \frac{\gamma+1}{2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = 101325 \left( \frac{1,31+1}{2} \right)^{\frac{1,31}{1,31-1}} = 186284,176 \text{ Pa}$$

**Sonik Boşalma ( $P > P_c$ ):** Ses Üstü Boşalma da denilmektedir.

**Subonik Boşalma ( $P < P_c$ ):** Ses Altı Boşalma da denilmektedir.

$$P = 2000000 \text{ Pa ve } P_c = 186284,176 \text{ Pa ise}$$

2000000 Pa > 186284,176 Pa yani  $P > P_c$  'dir. Gaz sonik boşalma gerçekleşir.

- Sonik Boşalma Hesaplaması (Kütleli)**

$$W_g = C_d S P \sqrt{\gamma \frac{M}{ZRT} \left( \frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{(\gamma+1)}{(\gamma-1)}}} =$$

$$1,0,00000025 \cdot 400000 \sqrt{1,31 \frac{16,04}{1,8314 \cdot 293} \left( \frac{2}{1,31+1} \right)^{\frac{(1,31+1)}{(1,31-1)}}}$$

$$W_g = 0,000172 \text{ kg/sn}$$

- Gaz / Buhar Yoğunluğunun Hesaplaması**

$$P_g = \frac{P_a M}{RT a} = \frac{101325 \cdot 16,04}{8314 \cdot 293} = 0,667 \text{ kg/m}^3$$

- **Sonik Boşalma Hesaplaması (Hacimsel)**

$$Q_g = \frac{Wg}{Pg} = \frac{0,000172}{0,667} = 0,00026 \text{ m}^3/\text{sn}$$

- **Boşalma (Salm) Karakteristiğinin Hesaplaması**

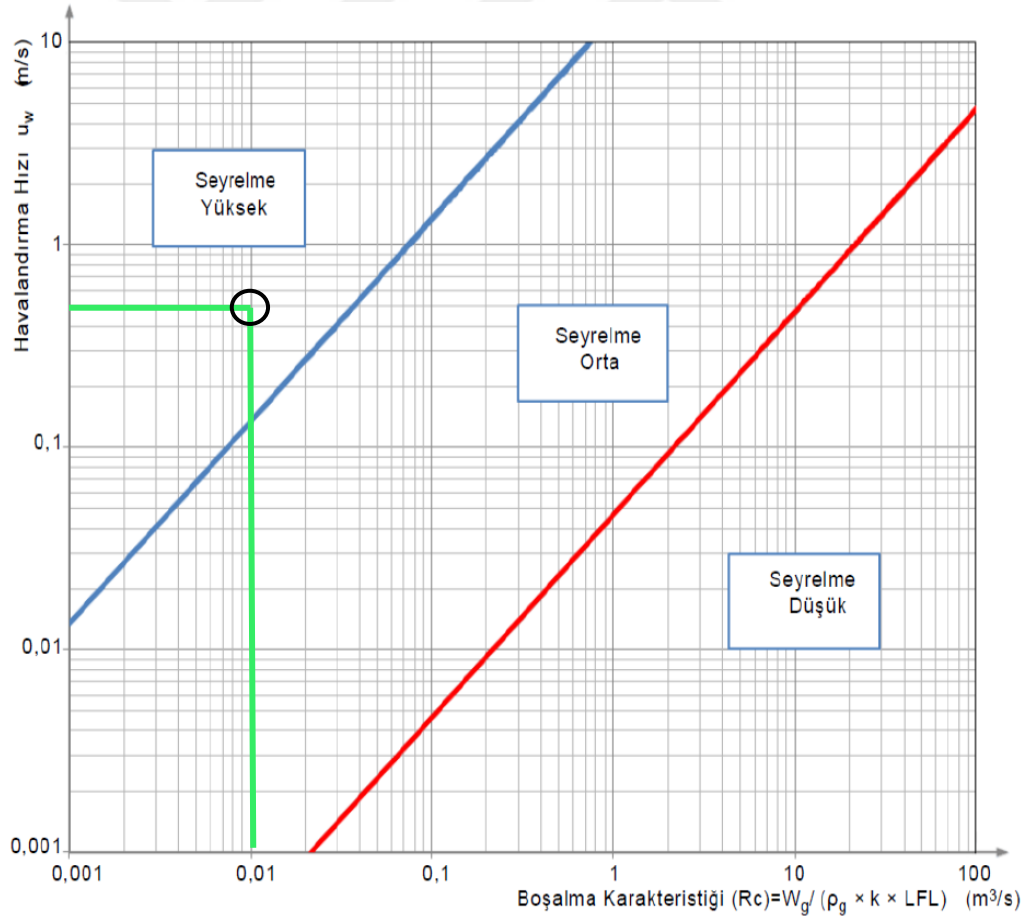
$$Rc = \frac{Wg}{PgkLFL} = \frac{0,000172}{0,667 \cdot 0,5 \cdot 0,05} = 0,010 \text{ m}^3/\text{sn}$$

- **Seyrelme Derecesinin Belirlenmesi**

$U_w$  değeri Tablo 3.7’den belirlenmektedir (IEC, 2020). Tablo 3.7’ye göre açık ve geniş alanlarda ve 2 metrenin altındaki yüksekliklerde havadan hafif gazlar için 0,5 m/sn olarak belirlenmiştir. Buna göre;

$$R_c = 0,010 \text{ m}^3/\text{sn}$$

$$U_w = 0,5 \text{ m/sn}$$



Şekil 4.8. Doğalgaza ait seyrelme derecesinin belirlenmesi

Seyrelme Derecesi: Yüksek Seyrelme

Şekil 4.8.'de yer alan grafik üzerinde havalandırma hızı ve boşalma karakteristiği değerleri kesiştirildiğinde seyrelme derecesinin yüksek olduğu görülmektedir.

- Tehlike Bölgesinin ve Emniyet Mesafesinin Belirlenmesi**

Tehlike bölgesinin belirlenmesi Tablo 4.7 üzerinde gösterilmiştir.

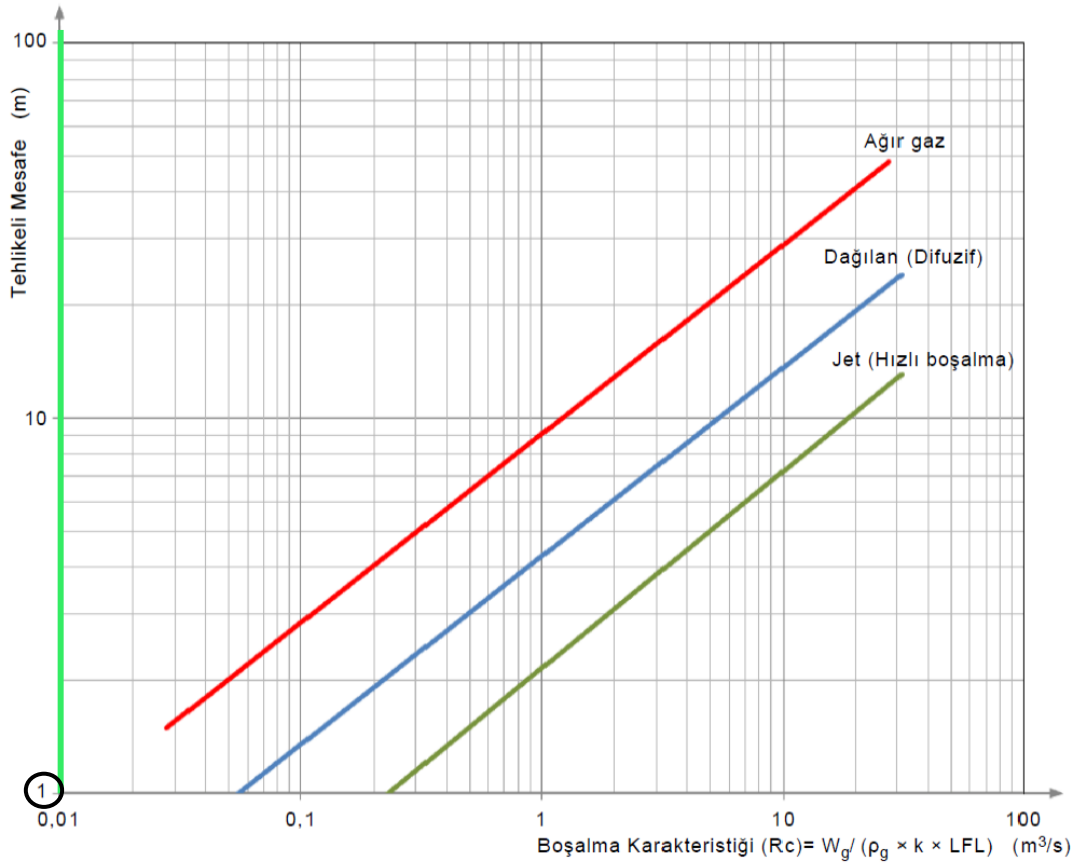
Tablo 4.7. Doğalgaza ait tehlikeli bölge belirleme tablosu (IEC, 2020)

| Boşalma<br>Derecesi |                            | Havalandırmanın Etkisi             |                         |               |                         |                         |                            |
|---------------------|----------------------------|------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
|                     |                            | Yüksek Seyrelme                    |                         | Orta Seyrelme |                         |                         | Düşük<br>Seyrelme          |
|                     |                            | Havalandırmanın Kullanılabilirliği |                         |               |                         |                         |                            |
|                     | İyi                        | Orta                               | Kötü                    | İyi           | Orta                    | Kötü                    | İyi<br>Orta<br>Kötü        |
| Sürekli             | (Bölge 0 İE)<br>Tehlikesiz | (Bölge 0 İE)<br>Bölge 2            | (Bölge 0 İE)<br>Bölge 1 | Bölge 0       | Bölge 0<br>+<br>Bölge 2 | Bölge 0<br>+<br>Bölge 1 | Bölge 0                    |
| Ana<br>(1. Derece)  | (Bölge 1 İE)<br>Tehlikesiz | (Bölge 1 İE)<br>Bölge 2            | (Bölge 1 İE)<br>Bölge 2 | Bölge 1       | Bölge 1<br>+<br>Bölge 2 | Bölge 1<br>+<br>Bölge 2 | Bölge 1<br>veya<br>Bölge 2 |
| Tali<br>(2. Derece) | (Bölge 2 İE)<br>Tehlikesiz | (Bölge 2 İE)<br>Tehlikesiz         | Bölge 2                 | Bölge 2       | Bölge 2                 | Bölge 2                 | Bölge 1<br>veya<br>Bölge 2 |

Havalandırmanın etkisi Şekil 4.8.'de yüksek seyrelme olarak belirlenmişti ve havalandırmanın kullanılabilirliği ise doğalgaz sayacı işletmenin dış kısmında olduğu için iyi seviye olarak belirlendi. Boşalma derecesi ise normal çalışma esnasında beklenmeyen ancak sayaç bağlantı elemanında oluşabilecek bir gaz kaçağı senaryosunda tali boşalma olarak belirlendi. Dolayısıyla yüksek seyrelme ve yüksek seviye havalandırma kullanılabilirliği ile tali boşalma derecesi tablo üzerinde kesiştirildiğinde tehlike bölgesi ihmal edilebilir Bölge 2 (Tehlikesiz) olarak tespit edildi.

Doğalgaz sayacına ait bağlantı elemanının emniyet mesafesinin belirlenmesi, Şekil 4.9.'da gösterilmiştir. Doğalgaza ait boşalma karakteristiği  $0,010 \text{ m}^3/\text{sn}$  hesaplanmıştır. Doğalgaza ait gaz yoğunluğu  $0,66 \text{ kg/m}^3$  (MGBF) olarak verildiği ve havanın yoğunluğu  $1 \text{ kg/m}^3$  olarak kabul edildiği için doğalgaz havadan hafif bir

gazdır. Ancak doğalgaz havadan hafif bir gaz olsa da basınç altında olduğu için Jet tipi boşalma meydana gelecektir.

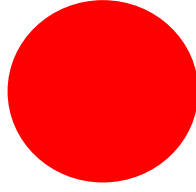


Şekil 4.9. Doğalgaza ait emniyet mesafesinin belirlenmesi

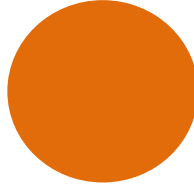
Şekil 4.9.'da yer alan grafikte boşalma karakteristiği değerinde jet boşalma doğrusuna bir doğru çekilmiş ancak bu doğru jet boşalma doğrusunu kesmemiştir. Bu gibi durumlarda grafikten de anlaşıldığı üzere en düşük Tehlike Mesafesi 1 metre olarak kabul edilmektedir. Dolayısıyla tüpün vanasından itibaren 1 metrelik mesafe ihmal edilebilir Bölge 2 (Tehlikesiz) olarak işaretlenmelidir.

İhmal edilebilir denilmesinden de anlaşılacağı üzere işveren bu bölgeyi tehlikesiz kabul edip işaretleme yapmayabilir. Ancak Bölge 2 olarak kabul edilecek ise renk kodlamalarına uygun şekilde işaretle yapılmalıdır.

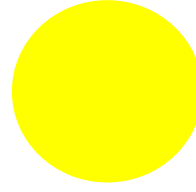
Tehlikeli Bölge emniyet mesafelerine ait renk kodlamaları aşağıdaki gibidir.



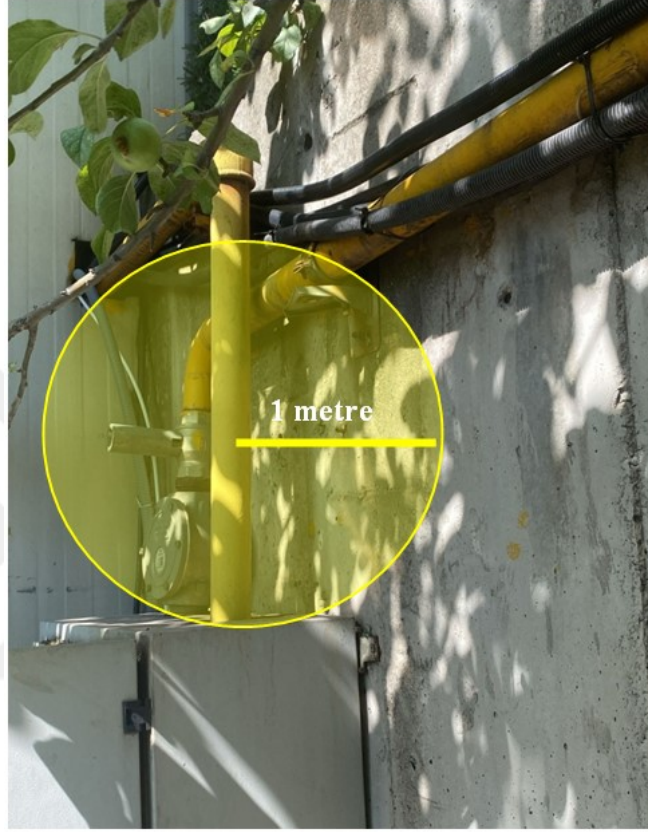
Bölge 0



Bölge 1



Bölge 2



Şekil 4.10. Doğalgaz hattına ait İE bölge 2 kabul edilen emniyet mesafesi

1 metrelik Bölge içerisinde kullanılacak olarak elektrikli ekipmanların aşağıda yer alan etiketleme şeklinde exproof sertifikası almış olması gerekmektedir.

CE XXXX  II 3 G E Ex d IIA T1

#### 4.4.3. Selülozik Tinerin Oluşturabileceği Patlayıcı Ortam Hesaplamaları

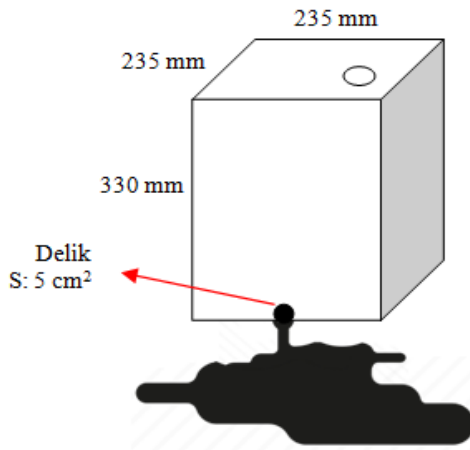
Firmada selülozik tiner proses amaçlı değil daha çok işlenecek metal parçalarının, kalıpların ve makinelerin yağ ile temas eden kısımlarının temizliği için kullanılmaktadır. Ayda 3 adet 18 litrelik tiner firmanın farklı noktalarında uygulanan işlemlerde kullanılmaktadır. Dolayısıyla tek noktada en fazla 18 litre saç teneke içersinde muhafaza edilmektedir, ayrı bir kimyasal deposu bulunmamaktadır. Bu

yüzden patlayıcı ortam hesaplamaları 18 litre tiner dolu bir tenekenin tabanında oluşan bir delikten sızıp ortama yayılması senaryosu üzerinden yapılmıştır.

Selülozik tiner bir tür çözücü karışımıdır. MGBF’na göre selülozik tiner % 56 Toluen, % 20 izobütil asetat, % 10 aseton, % 5 2-etoksibütanol, % 5 izopropil alkol ve % 4 izobütanol ihtiva etmektedir. Tablo 20 bu bilgiler ışığında hazırlanmıştır. Tabloda yer alan mol kütlesi ve buhar basıncı MGBF’da yer almadığı için karışımı oluşturan bileşenlere göre hesaplanmıştır. Mol kütlesi için kütlece % hesabından ve buhar basıncı hesabı için Raoult yasasından yararlanılmıştır.

Tablo 4.8. Selülozik tinere ait parametreler

| Parametre                       | Değer                  | Parametre                         | Değer                  |
|---------------------------------|------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| Mol Kütlesi                     | 92,59 kg/kmol          | Boşalma Faktörü ( $C_d$ )         | 1                      |
| Yoğunluk                        | 0,85 kg/m <sup>3</sup> | Politropik İndeks ( $\gamma$ )    | -                      |
| Buhar Basıncı                   | 6096 Pa                | Kabın İç Basıncı (P)              | 2,50 Pa                |
| Kendiliğinden Tutuşma Sıcaklığı | > 200 °C               | Kesit Alanı (S)                   | 0.0005 m <sup>2</sup>  |
| LEL                             | % 0,9                  | Sıkışma Faktörü (Z)               | -                      |
| UEL                             | % 7                    | Atmosferik basınç ( $P_a$ )       | 101325 Pa              |
| Parlama Noktası                 | 41 °C                  | Yer çekimi ivmesi (g)             | 9,81 m/sn <sup>2</sup> |
| Alan Tipi                       | Dar ve Sıkışık Yerler  | Havalandırmanın Uygulanabilirliği | Orta                   |
| Boşalma Kaynağı                 | Tabanda açılan delik   | Hacim ( $V_0$ )                   | 3300 m <sup>3</sup>    |
| Boşalma Derecesi                | Tali                   | Güvenlik Faktörü (k)              | 0,5                    |



$$\Delta p = p.g.\Delta h = 0,85.9,81.0,326$$

$$= 2,72 \text{ Pa}$$

Şekil 4.11. Tiner kapladığı hacmin ebatları

- **Sıvıların Boşalma Hızının Hesaplanması**

$$W = C_d \cdot S \cdot \sqrt{2p\Delta\rho} = 1.0,0005 \sqrt{2.0,85.2,72} = 0,001 \text{ kg/sn}$$

- **Sıvı Dökülmelerinde (Havuz) Kütlesel Buharlaşma Hızının Hesaplanması**

Dökülen sıvının tamamının buharlaştığı varsayılmıştır

$$We = \frac{6,55 \times 10^{-3} \cdot U_w^{0,78} \cdot Ap \cdot Pv \cdot M^{0,667}}{RT} = \frac{6,55 \times 10^{-3} \cdot 0,1^{0,78} \cdot 1,8.6096.92,59^{0,667}}{8314.293} = 0,0001 \text{ kg/sn}$$

- **Sıvıların Dökülmelerinde (Havuz) Hacimsel Buharlaşma Hızının Hesaplanması**

$$Q_g = \frac{6,5 \cdot U_w^{0,78} \cdot Ap \cdot Pv}{10^5 \cdot M^{0,333}} \times \frac{Ta}{T} = \frac{6,5 \cdot 0,1^{0,78} \cdot 1,8.6096}{10^5 \cdot 92,59^{0,333}} \times \frac{293}{293} = 0,026 \text{ (m}^3\text{/sn)}$$

- **Gaz / Buhar Yoğunluğunun Hesaplanması**

$$P_g = \frac{Pa \cdot M}{RTa} = \frac{101325.92,59}{8314.293} = 3,851 \text{ kg/m}^3$$

- **Boşalma (Salım) Karakteristiğinin Hesaplanması**

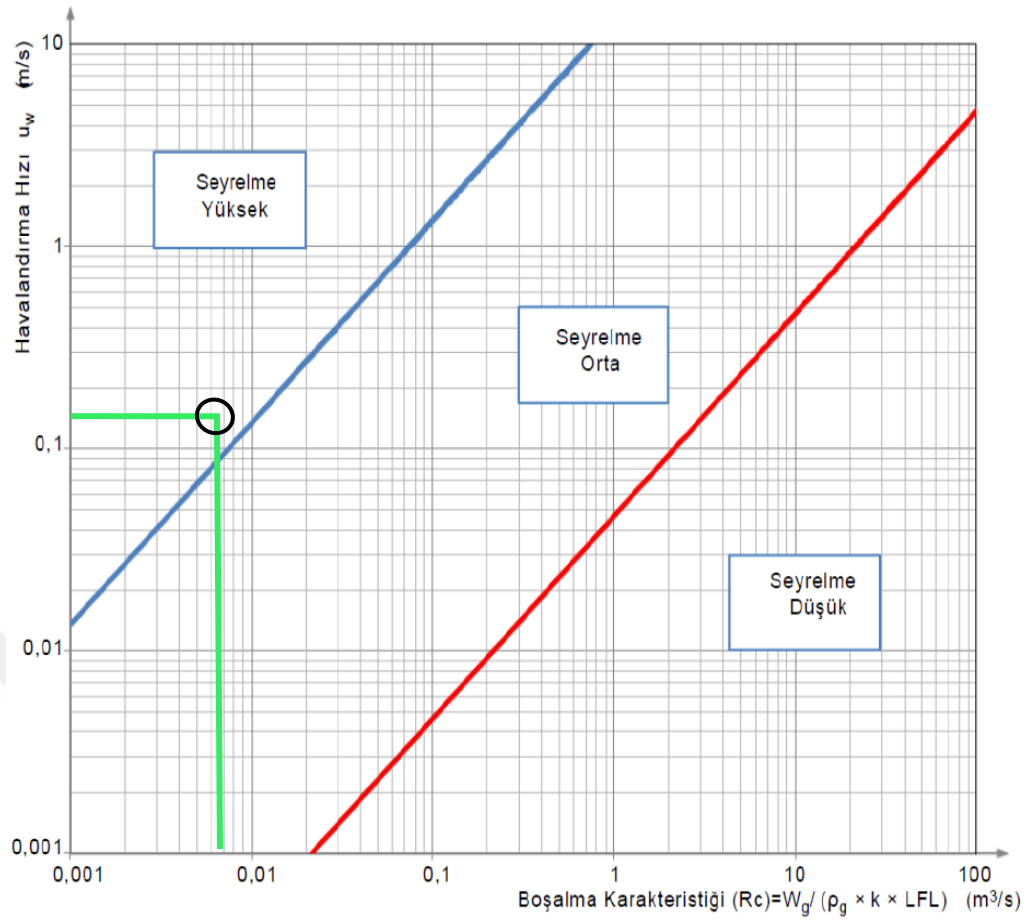
$$Rc = \frac{We}{PgkLFL} = \frac{0,0001}{3,851 \cdot 0,5 \cdot 0,009} = 0,006 \text{ m}^3\text{/sn}$$

- **Seyrelme Derecesinin Belirlenmesi**

$U_w$  değeri Tablo 3.7.'den belirlenmektedir (IEC, 2020). Tablo 3.7.'ye göre dar ve sıkışık alanlarda ve herhangi bir yüksekliklerde havuz dökülmeleri için  $U_w > 0,1$  olacak şekilde belirlenmiştir. Selülozik tiner, patlayıcı ortam hesaplamasını yaptığımız LPG tüpü ile aynı çalışma alanında bulunduğu için  $U_w = 0,15 \text{ m/sn}$  olarak belirlenmiştir. Buna göre;

$$R_c = 0,006 \text{ m}^3\text{/sn}$$

$$U_w = 0,15 \text{ m/sn}$$



Şekil 4.12. Tinere ait seyrelme derecesinin belirlenmesi

Seyrelme Derecesi: Yüksek Seyrelme

Şekil 4.12.'de yer alan grafik üzerinde havalandırma hızı ve boşalma karakteristiği değerleri kesiştirildiğinde seyrelme derecesinin yüksek olduğu görülmektedir.

- **Tehlike Bölgesinin ve Emniyet Mesafesinin Belirlenmesi**

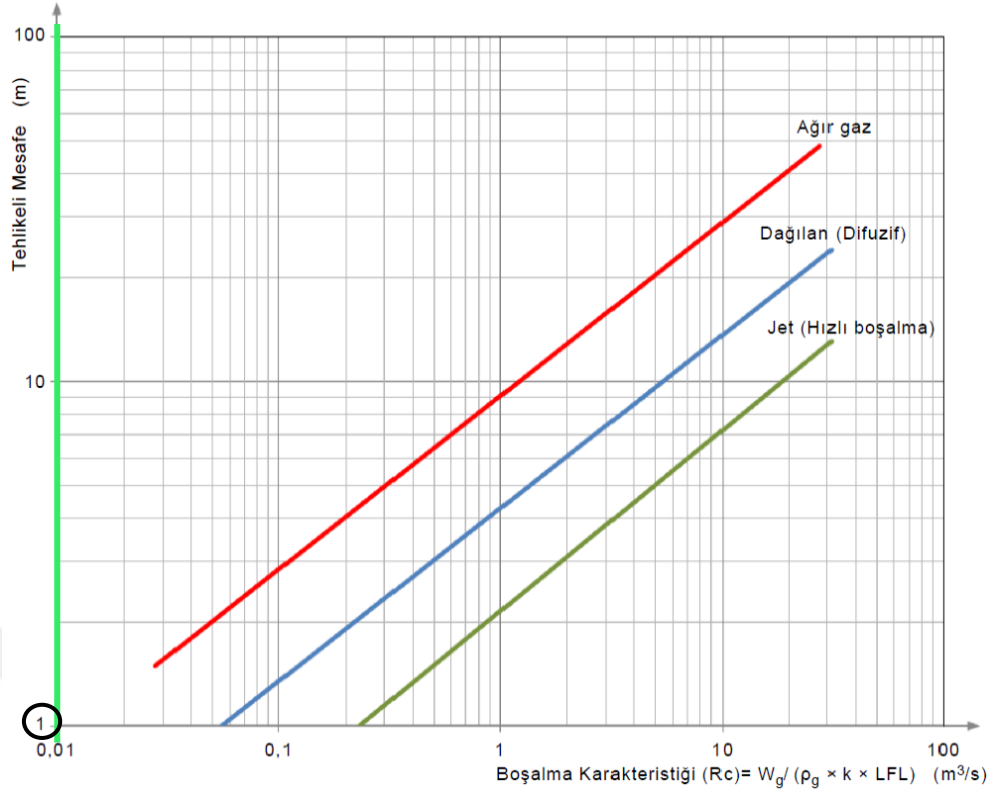
Tehlike bölgesinin belirlenmesi Tablo 4.9. üzerinden yapılmaktadır.

Tablo 4.9. Tinere ait tehlikeli bölge belirleme tablosu (IEC, 2020)

|                     |                                    |                            | Havalandırmanın Etkisi  |         |                         |                         |                            |
|---------------------|------------------------------------|----------------------------|-------------------------|---------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Boşalma<br>Derecesi | Yüksek Seyrelme                    |                            | Orta Seyrelme           |         |                         |                         | Düşük<br>Seyrelme          |
|                     | Havalandırmanın Kullanılabilirliği |                            |                         |         |                         |                         |                            |
|                     | İyi                                | Orta                       | Kötü                    | İyi     | Orta                    | Kötü                    | İyi<br>Orta<br>Kötü        |
| Sürekli             | (Bölge 0 İE)<br>Tehlikesiz         | (Bölge 0 İE)<br>Bölge 2    | (Bölge 0 İE)<br>Bölge 1 | Bölge 0 | Bölge 0<br>+<br>Bölge 2 | Bölge 0<br>+<br>Bölge 1 | Bölge 0                    |
| Ana<br>(1. Derece)  | (Bölge 1 İE)<br>Tehlikesiz         | (Bölge 1 İE)<br>Bölge 2    | (Bölge 1 İE)<br>Bölge 2 | Bölge 1 | Bölge 1<br>+<br>Bölge 2 | Bölge 1<br>+<br>Bölge 2 | Bölge 1<br>veya<br>Bölge 2 |
| Tali<br>(2. Derece) | (Bölge 2 İE)<br>Tehlikesiz         | (Bölge 2 İE)<br>Tehlikesiz | Bölge 2                 | Bölge 2 | Bölge 2                 | Bölge 2                 | Bölge 1<br>veya<br>Bölge 2 |

Havalandırmanın etkisi Şekil 4.12.'de yüksek seyrelme olarak belirlenmişti ve havalandırmanın kullanılabilirliği ise tiner tenekesi işletmenin iç kısmında olduğu için orta seviye olarak belirlendi. Boşalma derecesi ise normal çalışma esnasında beklenmeyen ancak tenekenin tabanında oluşabilecek delik senaryosunda tali boşalma olarak belirlendi. Dolayısıyla yüksek seyrelme ve orta seviye havalandırma kullanılabilirliği ile tali boşalma derecesi tablo üzerinde kesiştirildiğinde tehlike bölgesi ihmal edilebilir Bölge 2 (Tehlikesiz) olarak tespit edildi.

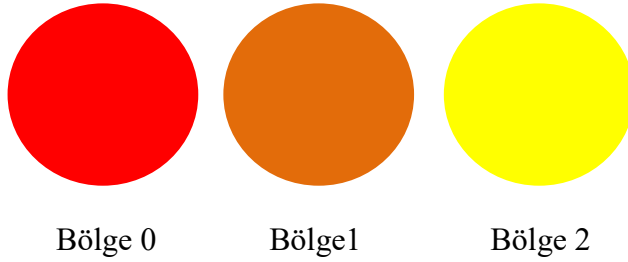
Tinere ait emniyet mesafesi belirlenmesi Şekil 4.13'de gösterilmiştir. Boşalma karakteristiği  $0,006 \text{ m}^3/\text{sn}$  hesaplanmıştır. Doğalgaza ait gaz yoğunluğu  $0,85 \text{ kg/m}^3$  (MGBF) olarak verildiği ve havanın yoğunluğu  $1 \text{ kg/m}^3$  olarak kabul edildiği için doğalgaz havadan hafif bir gazdır. Dolayısıyla dağılan (difüzif) boşalma meydana gelecektir.



Şekil 4.13. Tinere ait emniyet mesafesinin belirlenmesi

Şekil 4.13’de yer alan grafikte boşalma karakteristiği değerinde dağılan boşalma doğrusuna bir doğru çekilmiş ancak bu doğru dağılan boşalma doğrusunu kesmemiştir. Bu gibi durumlarda grafikten de anlaşıldığı üzere en düşük Tehlike Mesafesi 1 metre olarak kabul edilmektedir. Dolayısıyla tiner tenekesinden itibaren 1 metrelik mesafe ihmal edilebilir Bölge 2 (Tehlikesiz) olarak işaretlenmelidir. İhmal edilebilir denilmesinden de anlaşılabileceği üzere işveren bu bölgeyi tehlikesiz kabul edip işaretleme yapmayabilir. Ancak Bölge 2 olarak kabul edilecek ise renk kodlamalarına uygun şekilde işaretle yapılmalıdır.

Tehlikeli Bölge emniyet mesafelerine ait renk kodlamaları aşağıdaki gibidir.



Bölge 0

Bölge 1

Bölge 2



Şekil 4.14. Tinere ait İE bölge 2 kabul edilen emniyet mesafesi

1 metrelik Bölge içerisinde kullanılacak olarak elektrikli ekipmanların aşağıda yer alan etiketleme şeklinde exproof sertifikası almış olması gerekmektedir.

CE XXXX Ex II 3 G E Ex d IIA T1

#### 4.5. Tartışma

Bu çalışma Kocaeli Darıca Sanayi Bölgesinde yer alan ve toplamda 28 personeli bulunan küçük ölçekli bir işletmede gerçekleştirilmiştir. İşletme kuruluş aşamasında faaliyet kolu olarak metal kaplama sektörünü seçmiş ancak zaman içerisinde müşteri talebi doğrultusunda metal işleme ve bakımı gibi prosesleri de bünyesine dâhil etmiştir. Yapılan literatür taramasında, benzer proseslere sahip işletmelerde risk analizi ve makine emniyeti gibi çeşitli araştırmaların gerçekleştirildiği tespit edilmiş, ancak patlayıcı ortamların incelendiği herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır (Aziz, 2019; Ersöz, 2019).

İşletme içerisinde oluşabilecek patlayıcı ortamların belirlenmesi, patlayıcı ortamlarda parlamayı sağlayacak tutuşturucu kaynakların tespiti, kullanılan kimyasalların tespiti ve oluşan risklere karşı alınabilecek önlemler için risk analizi yapılmıştır. Dolayısıyla öncelikli olarak hem işletme hakkında bilgi almak hem de risk analizinde kullanılacak verilerin tespiti için saha denetimi yapıldı. Risk analizi yöntemi olarak Fine-Kinney Risk Analiz Yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin seçilmesinin nedeni çok tecrübe gerektirmemesinin yanında bireysel olarak da

uygulanabilecek bir yöntem olmasıdır. Literatüre bakıldığında Fine-Kinney Risk Analiz Yönteminin kullanıldığı birçok çalışma olduğu görülmüştür. Trabzon Limanında yapılan bir risk analizi çalışmasında Fine-Kinney Yönetimi kullanılmıştır (Bayram & Çelenk Kaya, 2022). Yine benzer şekilde bir çay fabrikasında yer alan riskler Fine-Kinney ve Hata Türleri ve Etkileri (FMEA) risk analiz yöntemleri kullanılarak kıyaslanmıştır (Durmuş vd, 2021).

Saha denetiminden ve işletmenin içinde bulunduğu mevcut durumu baz alınarak yapılan risk değerlendirmesi sonucunda birçok tutuşturucu kaynak ve patlayıcı ortam tespit edilmiştir. TS EN 60079-10-1 Patlayıcı Gaz Ortamları ve TS EN 60079-10-2 Patlayıcı Toz Ortamları standartlarına göre bir patlayıcı ortamın oluşabilmesi için yanıcı sıvı ve gaz ile yanıcı tozların varlığı gerekmektedir. İşletme içerisinde ise bütün kimyasallar listelenmiş, kimyasallara ait MGBF'ler incelenmiş ve yanıcı-patlayıcı kimyasallar tespit edilmiştir. Bu tanıma uyan ve patlayıcı ortam oluşturabileceği düşünülen üç kimyasal belirlenmiştir. Bu kimyasallar LPG tüpü, doğalgaz hattı ve tinerden oluşmaktadır.

Patlayıcı ortam oluşturan kimyasallara ait hesaplamalar, ilgili standartlarda yer alan kriterler ve formüller üzerinden yapılmıştır. LPG tüpünün oluşturduğu gaz patlayıcı ortama ait hesaplar yapıldığında orta seviye seyrelme ve 1 metre emniyet mesafesinde Bölge 2 olarak tespit edilmiştir. Literatürde de LPG üzerine benzer çalışmalar bulunmaktadır. Tersanelerde kullanılan LPG tüplerinin oluşturduğu patlayıcı ortam çalışmalarından orta seviye seyrelme ve 1,4 metre emniyet mesafesinde Bölge 2 tespiti yapılmıştır (Çolak, 2019: 56).

Doğalgaz hattı bağlantı elemanlarında oluşabilecek gaz sızıntısına ait yapılan hesaplamalarda yüksek seyrelme seviyesi hesaplanmıştır. Bunun yanında tehlike bölgesi olarak 1 metrelik emniyet mesafesi olan ihmal edilebilir Bölge 2 belirlenmiştir. Doğalgazın oluşturduğu patlayıcı ortamlar için yayınlanan çalışmalar mevcuttur. Bir alüminyum döküm fabrikasında yapılan çalışmada doğalgaz hattında 1,28 metrelik emniyet mesafesinin ve orta seviye seyrelmenin olduğu Bölge 2 tespiti yapılmıştır (Ortaç, 2018: 55). Tersanelerde yapılan diğer bir çalışmada ise doğalgaz tesisatı için 1 metrelik emniyet mesafesi ve orta seviye seyrelme olan Bölge 2 belirlenmiştir (Çolak, 2019: 51).

Üretim alanında temizleme amaçlı kullanılan tinerin oluşturduğu patlayıcı ortam değerlendirilmiştir. Yapılan hesaplamalara göre yüksek seviye seyrelme görülmüş olup 1 metrelik mesafe ihmal edilebilir Bölge 2 olarak belirlenmiştir. Benzer çalışmalara bakıldığında ise bir çelik dorse imalat tesisinin boyahanesinde yapılan çalışmada selülozik tiner tankına ait hesaplamalarda orta seviye seyrelme tespit edilmiş olup 1,8 metrelik tehlike bölgesi Bölge 0 şeklinde belirlenmiştir (Çalışkan, 2019: 96). Aynı şekilde bir diğer boyahane yapılan çalışmada selülozik tiner varili için 1,93 metre emniyet mesafesi ve Bölge 1 + Bölge 2 tehlike bölgesi belirlenmiştir (Oğuz Erdoğan & Duman, 2022: 1021).

Patlayıcı ortamın olduğu bölgelerde kullanılması gereken ekipmanlar için önerilen etiketlemeler Tablo 4.10.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.10. Ekipman etiketlemelerinin karşılaştırılması (Ortaç, 2018)

| Kaplama Firması |                                 | Alüminyum Döküm Firması |                                                                      |
|-----------------|---------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Kimyasal        | Etiketleme                      | Kimyasal                | Etiketleme                                                           |
| LPG             | CE XXXX Ex II 3 G E Ex d IIA T3 | Propan                  | CE XXXX Ex II 2 G EX D IIA T5 GB<br>CE XXXX Ex II 1 G EX D IIA T5 GA |
| Doğalgaz        | CE XXXX Ex II 3 G E Ex d IIA T1 | Doğalgaz                | CE XXXX Ex II 3 G EX D IIA T5 GC<br>CE XXXX Ex II 1 G EX D IIA T5 GA |
| Selülozik Tiner | CE XXXX Ex II 3 G E Ex d IIA T1 | Aseton                  | CE XXXX Ex II 2 G EX D IIA T5 GB<br>CE XXXX Ex II 1 G EX D IIA T5 GA |

## 5. SONUÇ

Ülkemizde ve dünyada işyerlerinde en çok karşılaşılan acil durumlardan biri yangın ve patlamalardır. Bu tip acil durumların en büyük sebebi ise yanıcı parlayıcı kimyasalların önlem alınmadan bilinçsiz şekilde kullanılmasıdır.

Yasal mevzuat, direktifler ve standartlar yayımlanmış olsa da bu düzenlemelerin sahaya yansıtılamamaktadır. Özellikle ülkemizde patlayıcı ortamlar ile ilgili bir bilincin oluşmadığını saha uygulamalarında görmekteyiz. Mevcut yasalarda işverenler patlama konusunda önlem almak ile yükümlü olsa da işverene rehberlik ve ATEX dokümanlarını hazırlayacak kalifiye bir personel bulmak da zor, zira Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik kapsamında Patlamadan Korunma Dokümanının kimin tarafından hazırlanacağı ve hangi yetkinliklere sahip olması konusunda belirsizlik bulunmaktadır. İşverenler tarafından iş güvenliği uzmanları bu konuda sorumlu olduğu düşünülse de uzmanların bu konudaki yetkinlikleri tartışma konusudur, çünkü uzmanlık eğitiminde PKD kapsam dışıdır. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğünün yetkinlikler konusunda çalıştaylar düzenlediğini biliyoruz.

Patlayıcı ortamların belirlenmesi oldukça titiz çalışma gerektiren bir konudur. Çalışma alanında kullanılan kimyasalların tek tek incelenmesi, bu kimyasallar ile çalışma şartlarının tespiti, proseslerin kontrolü, tutuşturucu kaynakların belirlenmesi, risk analizlerinin yapılması, risklere karşı gerekli önlemlerin alınması, işyerinde temizlik ve düzenin sağlanması, makine ve ekipman bakımlarının yapılması, periyodik kontrollerin takibi ve çalışanların eğitilmesi gibi çok çeşitli konuda fazlaca emek harcanması gerekmektedir. Bu yüzden ki patlayıcı ortamların oluşumunun engellenmesi tüm personelin katılımıyla gerçekleşecek bir süreçtir. Sonuç olarak hazırladığımız bu çalışmanın sektörde görev yapan iş güvenliği uzmanlarına ya da çalışma ekiplerine bir yol gösterici bir kaynak olmasını umuyoruz.

## 6. KAYNAKLAR

Aksoy, E. (2019). Bir Mermer İşletmesinin Risk Değerlendirmesinin 3T ve L Tipi Matris Risk Değerlendirme Yöntemleri ile Yapılması ve Sonuçların Risk Değerlendirme Metodolojisi Temelinde Karşılaştırılması, Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Uşak.

Aziz, z. (2019). Bir Metal İşleme İşletmesinde İş Güvenliği ve Risk Analizi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale.

Bakırcı, E., Karatop, B. & Bayındır, S. (2019). Yangın Stratejilerinin Oluşturulması İçin İstatistik Veri Türlerinin Türkiye (İstanbul İli Örneğinde) ve Seçilmiş Ülkeler ile Karşılaştırılması, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 5(2): 272-280.

Bayram, H. & Çelenk Kaya, E. (2022). The Fine-Kinney Metodu İle Risk Analizi: Trabzon Liman Örneği, Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 11(2), 760-783.

Bengtsson, L-G. (2001). Enclosure Fires, NRS Tryckeri, Huskvarna, 11-15.

Bulguru, A. (2014). Akrilonitril Butadien Stiren (ABS) Yüzey Aktivasyon Teknikleri ve Elektrokimyasal Metal Kaplama, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Osmaniye.

Çalışkan, H. (2019) Bir Çelik Dorse İmalat Tesisinde Boyahanedeki Patlayıcı Ortam Risklerinin Değerlendirilmesi, İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Çalışkan, N.S. (2017). Bir Metal Kaplama Tesisinde İşyeri Hava Kalitesinin Araştırılması, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Çebi, A. (2014). Şantiyelerde İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Risk Değerlendirmesinde Bulanık Çıkarım Tekniğinin Kullanımı, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.

Çolak, F. (2019). Tersanelerde Meydana Gelen Atmosfer Patlamalarının Teorik ve Uygulamalı Olarak İncelenmesi ve Patlamadan Korunma Önlemlerinin Alınması, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya.

Durmuş, H., Yurtsever, Ö & Yalçın, B. E. (2021). Bir Çay Fabrikasında Fine-Kinney ve FMEA Yöntemleri ile Risk Değerlendirmesi, International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences, 33(2), 287-298.

Ersöz, Y. (2019). Bir Metal İşleme Atölyesindeki Tezgâhların, Mevcut Standartlara Göre Makine Emniyeti Yönünden Değerlendirilmesi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.

Eşiyok, S. & Demircioğlu, M. (2022). OECD Ülkelerinin Endüstri 4.0 Düzeylerinin Critic ve Coda Yöntemleri ile Değerlendirilmesi. İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 21(43), 377-398.

Hilal, C., Varış, S., Mert, M.E., Önal, M. & Sarıkaya, Y. (2022). The Effects of BTTN, TMETN and DEGDN Molecules on the Explosion Properties of PETN Molecule, Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences, 26(3), 366-371.

IEC (2010). Material characteristics for gas and vapour classification – Test methods and data, IEC 60079-20-1, Ceneva: IEC.

IEC (2015). Explosive atmospheres – Part 10-2: Classification of areas – Explosive dust atmospheres, IEC 60079-10-2, Ceneva: IEC.

IEC (2020). Explosive atmospheres – Part 10-1: Classification of areas – Explosive gas atmospheres, IEC 60079-10-1, Ceneva: IEC.

İnce, A. (2011). Patlayıcı Atmosferlerin (ATEX) Patlama Davranışları, ATEX Sempozyumu, Ankara, 22-24 Eylül 2011, EMO Yayınları 57-60

Kinney, G.F. (1976). Practical Risk Analysis For Safety Management. Naval Weapons Center, California.

Mevlevioğlu, U. (2019). Dust Explosions and Factors Affecting Explosibility Properties Of Dusts, Master Thesis, Marmara University Institute of Pure and Applied Sciences, İstanbul.

Mevlevioğlu, U., Kadirgan, M.A.N. & Çiftçioğlu, G.A. (2019). Kimya Endüstrilerinde Patlama ve Yangınların Önlenmesi ve İlgili Vaka Çalışması, Int. J. Adv. Eng. Pure Sci, 1, 36-46.

Oğuz Erdoğan, F., & Duman, O. (2022). Bir boyahanede patlayıcı ortam oluşumunun standartlara göre incelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 28(7), 1014-1022.

Ortaç, M. (2018). Patlamadan Korunma Risk Değerlendirmesi ve Bir Alüminyum Döküm Fabrikasında Patlayıcı Ortam Risk Değerlendirmesi, İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Özkul, F. (2019). Elektroliz Yöntemi ile Metal Kaplama Teknolojisinde İş Sağlığı ve Güvenliği, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Reding, N. & Shiflett, M. B. (2018). Metal Dust Explosion Hazards: A Technical Review, Industrial & Engineering Chemistry Research, 57(34), 11473–11482.

Sigman, R., Hilderink (PBL), H., Delrue, N., Braathen, N-A. & Leflaive, X. (2012). Health and Environment, OECD Environmental Outlook to 2050, Paris, OECD Publishing, 275-326.

Sönmez, S. (2006). Metal Kaplama Sanayi Atık Sularından Perlit Minerali ile Toplam Krom Gideriminin İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.

URL-1. (2024, Temmuz 18). İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/06/20120630-1.htm> adresinden alınmıştır.

URL-2. (2024, Temmuz 18) Yangın Güvenli Yapı Tasarımı – Genel Bilgiler: <https://www.izoder.org.tr/dosyalar/egitimfaaliyetleri/yanigin-genel-faruk-bilal.pdf> adresinden alınmıştır.

URL-3. (2024, Temmuz 20) Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/04/20130430-6.htm> adresinden alınmıştır.

URL-4. (2024, Temmuz 21) PKD (Patlamadan Korunma Dokümanı) Nedir?: <https://www.extec.com.tr/pkd-patlamadan-korunma-dokumani-nedir/> adresinden alınmıştır.

URL-5. (2024, Temmuz 21) İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/12/20121229-13.htm> adresinden alınmıştır.

URL-6. (2024, Temmuz 21) Metal Kaplama Nedir?: <https://malzemebilimi.net/metal-kaplama-nedir.html> adresinden alınmıştır.

URL-7. (2024, Ağustos 21) Muhtemel Patlayıcı Ortamda Kullanılan Teçhizat ve Koruyucu Sistemler ile İlgili Yönetmelik (2014/34/AB): <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2016/06/20160630-13.htm> adresinden alınmıştır.

URL-8. (2024, Ağustos 21) Ex-proof Ekipman Etiketi Nasıl Olmalı?: <http://www.proscon.com.tr/ex-proof-ekipman-etiketi-nasil-olmali/> adresinden alınmıştır.

URL-9. (2024, Ekim 30) Combustible Dusts Explosions Poster: <https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/combustibledustposter.pdf> adresinden alınmıştır.

URL-10 (2024, Ekim 30) Combustible Dust in Industry: Preventing and Mitigating the Effects of Fire and Explosions: <https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/shib073105.pdf> adresinden alınmıştır.

Yılmaz, S. (2008). Metal Kaplama Endüstrisi Atıksularının Fenton Oksidasyonu ile Arıtımı, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.

## 7. EKLER

(Ek 1)



T.C.  
AVRASYA ÜNİVERSİTESİ  
Etik Kurulu



Sayı : E-69268593-050.04-24862  
Konu : Etik Kurul Sonucunuz Hk.

28.05.2024

### DAĞITIM YERLERİNE

Avrasya Üniversitesi Etik Kurulunun 23.05.2024 tarih 09 sayılı toplantısında 2024-169 "Bir Endüstriyel Kaplama Tesisinde Patlayıcı Ortamların Araştırılması: Gebze Örneği" adlı başvurunuzda etik kurul izin onayı almıştır.  
Bilgilerinize rica ederim.

e-imzalıdır

Prof. Dr. Yavuz ÖZORAN  
Etik Kurul Başkanı

Dağıtım:

Sayın Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahman ATALAY  
Sayın Mehmet Ali TEKCANLI

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Doğrulama Kodu : E86J-6289-8D5S Belge Doğrulama Adresi : <https://ebysorgu.avrasya.edu.tr/>



## ÖZ GEÇMİŞ

Mehmet Ali Tekincanlı, Manisa Mehmet Akif Ersoy Lisesi’ni bitirdikten sonra Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Fakültesi, Kimya bölümünden 2011 yılında mezun oldu. Aynı bölümde Yüksek Lisansını 2013 tamamladı. 2022 yılında AVÜ LEE İş Sağlığı ve Güvenliği Yüksek Lisans programına girdi, 2024 yılında bitirdi. Mezuniyetinden bu yana Kimyager ve İş Güvenliği Uzmanı olarak görev yapmaktadır. İyi derecede İngilizce bilmektedir. Temel ilgi alanları, Kimya, Biyokimya, İş Sağlığı ve Güvenliğidir. (20/12/2024).



