T.C.
İSTANBUL YENİ YÜZYIL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇOK KOLAY ALEVLENEBİLİR DİMETİL ETERİN YANGIN VE PATLAMA ETKİLERİNİN İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ AÇISINDAN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zümrüt TERCAN

TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Gönül KUNT KANDEMİR

İSTANBUL, 2021

T.C.

İSTANBUL YENİ YÜZYIL ÜNİVERSİTESİ

SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

TEZ ONAY BELGESİ

İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı 18111101007 numaralı yüksek lisans öğrencisi Zümrüt TERCAN'ın "Çok Kolay Alevlenebilir Dimetil Eterin Yangın ve Patlama Etkilerinin İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından İncelenmesi" adlı tez çalışması, Enstitümüz Yönetim Kurulunun 09/12/2021 tarih ve 2021/19 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 27/12/2021

Öğretim Üyesi Ünvanı - Adı ve Soyadı		**İmzası**
Tez Danışmanı	Prof. Dr. Gönül KUNT KANDEMİR	
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Kadir DAŞTAN	
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Beyrul CANBAZ	

ETİK BEYAN

İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu projede;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,

- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,

- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,

- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

28/12/2021

Zümrüt TERCAN

ÖNSÖZ

Dünya nüfusundaki artış ve yaşam standartlarının gelişmesi enerjiye olan ihtiyacı da artırmaktadır. Alkoller ve eterler, iyi yanma ve çevre dostu olma özellikleri nedeniyle alternatif yakıtlar olarak kabul edilmektedir. 1963'te aerosol itici olarak piyasaya sürülen DME'in yıllar geçtikçe enerji kaynağı olarak kullanımı araştırılmış olup enerji kaynağı ve LPG ye alternatif yakıt olarak; rüzgar tribünlerinde, evlerde (%70 Propan %30 DME), dizel motorlarda kullanılmaya başlanmıştır. Tüketici ürünlerinde itici gaz olarak; kişisel bakım, ev ürünleri, otomotiv, boya ve cilalar, gıda ürünleri, böcek kontrolü, hayvan ürünleri ve diğer ilgili tüketici uygulamalarında da kullanılmaktadır. Dolayısıyla gün geçtikçe DME endüstrisinde çalışanların sayısı da artmaktadır. Yönetmeliklerde ve standartlara göre işveren işçisine karşı yükümlülükleri doğrultusunda işveren işyerinde yaşanabilecek kazalardan korumak ve bu kazaları önleyici önlemler almakla yükümlüdür. DME'in çok kolay alevlenebilir özellikte bir madde olması üretimi, tüketimi ve depolanması olan bir iş yerinde can, mal ve çevre güvenliğini tehlikeye atacak risklerin mevcut olabileceğini gösterir ve iş sağlığı ve güvenliği açısından önem teşkil etmektedir. Tezde; ALOHA programı kullanılarak DME tankında oluşabilecek bir sızıntı olduğunda oluşacak, zehirli alan, yanma alan ve patlama alanları, jet yangını, BLEVE olayı sonuçlarını iş sağlığı ve güvenliği açısından incelemek, termal radyasyon, aşırı basınç etki alanları belirlemek, olası tehlike ve hasarı ortaya çıkarmak, yaşanabilecek yangın ve patlama olaylarını öngörmek ve kazaları önlemeye yönelik önerilerde bulunmak amaçlanmaktadır.

Tez çalışması süresince desteklerinden dolayı danışmanım Prof. Dr. Gönül KUNT KANDEMİR'e; İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü'ne ve hocalarına; bu alana yönlenmemdeki çok değerli katkılarından dolayı Dr. Yalçın KARAGÖZLER'e, yolumu aydınlatan ve yön veren Dr. Cevat ÖZARPA'ya, mühendislik öğrencisi anılarımın bir çoğunda var olan ve hayatıma değer katan Prof. Dr. Veli DENİZ'e; küçük bir kardelen iken ağaç olma hayalini kurdurup, bu uğurda yetiştiren ilkokul öğretmenim Mustafa ŞAHİN'e ve hayatımın her aşamasında bana sağladıkları destek, verdikleri emek, gösterdikleri hoşgörü ve anlayış ile beni bu günlere getiren aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN iii

ÖNSÖZ iv

TABLOLAR LİSTESİ viii

ŞEKİLLER LİSTESİ ix

KISALTMALAR LİSTESİ xiii

ÖZET xiv

ABSTRACT xv

1. GİRİŞ 1

2. GENEL BİLGİLER 5

2.1 Yangın 5

2.1.1 Yangının Yayılması 5

2.1.2 Yangın Evreleri 7

2.1.3 Isı Transferleri 12

2.1.4 Yangın Sınıfları 15

2.2 Patlama 16

2.2.1 Temel Kavramlar 17

2.2.2 Tutuşma Kaynakları 18

2.3 DME Yangın ve Patlama Türleri 19

2.3.1 Flaş yangını 19

2.3.2 Jet yangını 19

2.3.3 BLEVE (Kaynayan Sıvı, Genleşen Buhar Patlaması) 20

2.3.4 VCE -Buhar bulutu patlaması 20

2.4 Yangın ve Patlama Etkileri 21

2.4.1 Patlamanın Basınç Etkisi 22

2.4.2 Yüksek Sıcaklık Tehlikesi 24

2.5 Dünya'dan ve Türkiye'den Kazalar 25

2.6 İş Sağlığı ve Güvenliği 28

2.6.1 6331 İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu 28

2.6.2 İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmelik 28

2.6.3 Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik 29

2.6.4 60079-Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik 30

2.7 Dimetil Eter 32

2.7.1 Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri 32

2.7.2 Yakıt Olarak Kullanımı ve Diğer Yakıtlarla Karşılaştırma 33

2.7.3 DME Üretimi ve Ekonomisi 37

2.7.4 Kullanım Alanlar 42

3. ARAÇ VE YÖNTEM 44

3.1 ALOHA 44

3.1.1 ALOHA Program Özellikleri ve Çalışma Biçimi 45

3.1.2 ALOHA Programı İçin Gerekli Parametreler 50

3.1.3 Kimyasal Salınım Kaynakları 51

3.1.4 ALOHA Modellemeleri 52

4. BULGULAR 54

4.1 DME Tankı Senaryoları ve Analizi 54

4.2 DME Tankı 55

4.2.1 Doluluk Oranı 59

4.2.2 Sıcaklık 63

4.2.3 Rüzgar Hızı 67

4.2.4 Açıklık 70

4.2.5 Açıklık Yeri 74

4.3 DME – LPG Tankı Karşılaştırma 77

5. TARTIŞMA VE SONUÇ 81

6. KAYNAKÇA 87

7. ÖZGEÇMİŞ 92

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1: Yangın Sınıfları (TS EN 13501-2) 16

Tablo 2.2: Patlayıcıların Basınç Etkileri (Olgun, 2019) 23

Tablo 2.3 : Yüksek Basınç Etkisinde Meydana Gelen Hasar Durumları (Olgun, 2019) 23

Tablo 2.4: Dünya'da Yaşanan Yangın ve Patlama Kazaları ve Sonuçları (Özkılıç, 2012) 26

Tablo 2.5: Türkiye'de Yaşanan Yangın ve Patlama Kazaları ve Sonuçları (Doğan, 2021) 27

Tablo 2.6: DME'nin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri (OtoTeknik, 2020) (MESA Specialty Gases & Equipment, 2018) 33

Tablo 2.7: DME'nin Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Diğer Yakıtlarla Karşılaştırılması (Klomp, 2015) (OtoTeknik, 2020) (Japan DME Accociation, 2020) (Ohno, 2011) 35

Tablo 2.8: Belli Oranlarda Karıştırılan LPG/DME Karışımı Testi Sonuçları (Klomp, 2015). 36

Tablo 2.9: Yakıt olarak kullanılan DME'in, Dizel Yakıt ile Karşılaştırılması (Makoś, 2019) 36

Tablo 2.10: ABD DME Üretim Raporu (Pulidindi & Pande, 2019) 41

Tablo 3.1: ALOHA'da Modellenen Tehlike Kategorileri (Slil, 2019) (Jones R., 2013) 48

Tablo 4.1: DME Tankı Senaryo Verileri (Terzioğlu, 2007) 55

Tablo 4.2: Çeşitli Tank Doluluk Oranı Parametresi Senaryo Verileri 60

Tablo 4.3: Sıcaklık Parametresi Değişkenli Senaryo Verileri 63

Tablo 4.4: Rüzgar Hızı Parametresi Değişkenli Senaryo Verileri 67

Tablo 4.5: Açıklık Parametresi Değişkenli Senaryo Verileri 70

Tablo 4.6: Açıklık Yeri Parametresi Değişkenli Senaryo Verileri 74

Tablo 4.7: LPG ve DME Karşılaştırma Senaryo Verileri (Terzioğlu, Industrial Explosions Modelling: Special Case an LPG Explosion, 2007) 77

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1: Yangın Üçgeni (Doğan, 2021) 5

Şekil 2.2: Yangın Evreleri (Kaya, 2019) 11

Şekil 2.3: Taşınım ile Isı Transferi (İBB İtfaiye Daire Başkanlığı, 2019)..... 13

Şekil 2.4:Işınım ilr Isı Transferi (İBB İtfaiye Daire Başkanlığı, 2019) 14

Şekil 2.5: İletim ile Isı Transferi (İBB İtfaiye Daire Başkanlığı, 2019)..... 15

Şekil 2.6: Patlama Oluşumu (Biberci, 2019)..... 17

Şekil 2.7: Jet Yangını (Kepekli, Yangınlarda Oluşan Termal Radyasyon Etkisinin Modellenmesi, 2019)..... 19

Şekil 2.8: BLEVE Olayı Aşaması (Çalışkan, 2019) 20

Şekil 2.9: Sınırlandırılamayan Buhar Bulutu Patlaması (Altıncı, 2015) 21

Şekil 2.10: Dimetil Eter Kullanımı (Çiftçi, 2009)..... 38

Şekil 2.11: Metanol Dehidrasyonu İle DME Sentezi (Öztürk, 2015) 39

Şekil 2.12: DME'in Doğrudan Sentezi (C. & N., 2020)..... 39

Şekil 2.13: DME Sektörü Gelişim Dönüm Noktaları (Internationa DME Association, 2010) 40

Şekil 2.14: Dimetil Eterin Kullanım Alanları (Çiftçi, 2009) 42

Şekil 3.1: NOAA ve EPA Logoları (EPA(United States Environmental Protection Agency), 2020) 45

Şekil 3.2: Senaryolar (Kepekli, Yangınlarda Oluşan Termal Radyasyon Etkisinin Modellenmesi, 2019)..... 47

Şekil 4.1:DME Tankı Tehlike Senaryoları (Uslu, 2019) 54

Şekil 4.2:Toksik Alan 56

Şekil 4.3: Buhar Bulutunun Yanıcı Alanı..... 57

Şekil 4.4: Buhar Bulutu Patlamasından Kaynaklanan Aşırı Basınç (Patlama Kuvveti) 57

Şekil 4.5: Jet Yangınından Kaynaklanan Termal Radyasyon..... 58

Şekil 4.6:Ateş Topundan Kaynaklanan Termal Radyasyon 59

Şekil 4.7:%90, %60, %35 Tank Doluluk Oranı Senaryolarının Toksik Alanları..... 60

Şekil 4.8: %90, %60, %35 Tank Doluluk Oranı Senaryolarının Buhar Bulutunun Yanıcı Alanları..... 61

Şekil 4.9: %90, %60, %35 Tank Doluluk Oranı Senaryolarının Buhar Bulutu Patlamasından Kaynaklanan Aşırı Basınç (Patlama Kuvveti)..... 61

Şekil 4.10: %90, %60, %35 Tank Doluluk Oranı Senaryolarının Jet Ateşinden Kaynaklanan Termal Radyasyon..... 62

Şekil 4.11: %90, %60, %35 Tank Doluluk Oranı Senaryolarının Ateş Topundan Gelen Termal Radyasyon..... 62

Şekil 4.12:10.5ºC, 20ºC, 30ºC Sıcaklık Senaryoları Toksik Alanları..... 63

Şekil 4.13: 10.5ºC, 20ºC, 30ºC Sıcaklık Senaryoları Buhar Bulutunun Yanıcı Alanları 64

Şekil 4.14: 10.5ºC, 20ºC, 30ºC Sıcaklık Senaryoları Buhar Bulutu Patlamasından Kaynaklanan Aşırı Basınç (Patlama Kuvveti)..... 64

Şekil 4.15: 10.5ºC, 20ºC, 30ºC Sıcaklık Senaryoları Jet Ateşinden Kaynaklanan Termal Radyasyonları..... 65

Şekil 4.16: 10.5ºC, 20ºC, 30ºC Sıcaklık Senaryoları Ateş Topu Termal Radyasyonu..... 66

Şekil 4.17: 10.8 m/s, 7 m/s, 3m/s Rüzgar Senaryoları Toksik Alanları..... 67

Şekil 4.18: 10.8 m/s, 7 m/s, 3m/s Rüzgar Senaryoları Buhar Bulutunun Yanıcı Alanları 68

Şekil 4.19: 10.8 m/s, 7 m/s, 3m/s Rüzgar Senaryoları Buhar Bulutu Patlamasından Kaynaklanan Aşırı Basınç (Patlama Kuvveti)..... 68

Şekil 4.20: 10.8 m/s, 7 m/s, 3m/s Rüzgar Senaryoları Jet Ateşinden Kaynaklanan Termal Radyasyon 69

Şekil 4.21: 10.8 m/s, 7 m/s, 3m/s Rüzgar Senaryoları Ateş Topu Termal Radyasyonu 70

Şekil 4.22:2 inç,4 inç Açıklık Senaryoları Toksik Alanlar 71

Şekil 4.23: 2 inç,4 inç Açıklık Senaryoları Buhar Bulutunun Yanıcı Alanı 71

Şekil 4.24: 2 inç,4 inç Açıklık Senaryoları Buhar Bulutu Patlamasından Kaynaklanan Aşırı Basınç (Patlama Kuvveti) 72

Şekil 4.25: 2 inç,4 inç Açıklık Senaryoları Jet Ateşinden Kaynaklanan Termal Radyasyon ... 72

Şekil 4.26: 2 inç,4 inç Açıklık Senaryoları Ateş Topundan Kaynaklanan Termal Radyasyon 73

Şekil 4.27: Tank Altı ve Tank Üstü Senaryoları Toksik Yayılım Tehlikeli Alanları 74

Şekil 4.28: Tank Altı ve Tank Üstü Senaryoları Buhar Bulutunun Yanıcı Alanı 75

Şekil 4.29: Tank Altı ve Tank Üstü Senaryoları Buhar Bulutu Patlamasından Kaynaklanan Aşırı Basınç (Patlama Kuvveti 75

Şekil 4.30: Tank Altı ve Tank Üstü Senaryoları Jet Ateşinden Kaynaklanan Termal Radyasyon 76

Şekil 4.31: Tank Altı ve Tank Üstü Senaryoları Ateş Topundan Gelen Termal Radyasyon ... 76

Şekil 4.32: DME Tankı ve LPG Tankı Senaryoları Buhar Bulutunun Zehirli Alanının Sonuçları 78

Şekil 4.33: DME Tankı ve LPG Tankı Senaryoları Yanıcı Bir Buhar Bulutu Alanları 78

Şekil 4.34: DME Tankı ve LPG Tankı Senaryoları Aşırı Başınçtan Kaynaklanan Tehlikeli Alanlar 79

Şekil 4.35: DME Tankı ve LPG Tankı Senaryoları Jet Yangınından Kaynaklanan Termal Radyasyon Tehlikeli Alanlar 79

Şekil 4.36: DME Tankı ve LPG Tankı Senaryoları Ateş Topundan Kaynaklanan Termal Radyasyon Tehlikeli Alanlar 80

KISALTMALAR LİSTESİ

DME: Dimetil Eter

İSG: İş sağlığı ve Güvenliği

LPG: Sıvılaştırılmış Petrol Gazı

BLEVE: Kaynayan Sıvı Genleşen Buhar Patlaması

ALOHA: Tehlikeli Atmosferlerin Bölgesel Konumları

EPA: ABD Çevre Koruma Kurumu

EPA: Çevre Koruma Ajansı Acil Durum Yönetimi Ofisi

m/s: metre/saniye

ÖZET

ÇOK KOLAY ALEVLENEBİLİR DİMETİL ETERİN YANGIN VE PATLAMA ETKİLERİNİN İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ AÇISINDAN İNCELENMESİ

DME çevreci bir gaz olması, alternatif yakıt olarak da gündeme gelmesi, LPG'ye eş değer görülmesi sebebiyle giderek hayatımızın birçok alanında yer almaktadır. Çok kolay alevlenebilir olması yangın ve patlama risklerini artırmakta iken, DME patlamaları da LPG patlamaları kadar tehlikeli midir, sorusunu akla getirmektedir. Tezin konusu; dimetil eterin yangın ve patlama riski, etkisi ve şiddetinin iş sağlığı ve güvenliği açısından incelemesi ve değerlendirmesidir. Patlamayı ve ardından gelen etkileri anlamak, önlem alabilmek için önemli bir basamaktır. Bu sebeple, tezin ilk bölümünde 'patlamanın önlenmesi ve patlamadan korunma, patlama riskinin değerlendirilmesi, işyerinin güvenli hale getirilmesi' gerekliliğine ve tezin kapsamına yer verilmiştir. İkinci bölümde; patlama ve yangınla ilgili bilgilere, tanımlamalara, yangın ve patlama, etkilerine, kaza örneklerine, ilgili mevzuatlara, yanıcı ve patlayıcı özellikte olan Dimetil eter ile ilgili bilgilere, üçüncü bölümde; ALOHA programına yer verilmiştir. Dördüncü bölümde; DME tankından bir sızıntı olduğu ve gazın alev almadığı kabul edilerek, zehirli alan, yanma alan ve patlama alanları modellenmiştir. Ardından tankta sızıntı olduğu ve alev aldığı kabul edilerek jet yanması ve BLEVE olayı ALOHA 5.4.1.7 programı ile modellenmiştir. Sonrasında çeşitli tank doluluk oranı, rüzgâr hızı ve sıcaklık parametrelerine göre yeni senaryolar belirlenip her senaryo için toksik etki alan, yanıcı buhar bulutu alanı, patlama kuvveti, jet yangını ve BLEVE olayı modellenip kaza etki alanları belirlenmiştir. Ek olarak aynı koşullardaki DME ve LPG tankının modelleme sonuçları karşılaştırma bulgularına yer verildi. Son bölüm olan tartışma ve sonuç bölümünde ise; tüm bu sonuçlar tartışıldı. İSG açısından incelenmiştir. Yaşanabilecek yangın ve patlama olaylarını öngörmeye ve kazaları önlemeye yönelik önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Dimetil Eter, Yangın, Patlama, ALOHA, Modelleme, İSG

Zümrüt TERCAN,2021

ABSTRACT

INVESTIGATION OF FIRE AND EXPLOSION EFFECTS OF VERY FLAMMABLE DIMETHYL ETHER IN TERMS OF OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY

DME is increasingly taking place in many areas of our lives, as it is an environmentally friendly gas, is also on the agenda as an alternative fuel, and is considered equivalent to LPG. While being very easily flammable increases the risks of fire and explosion, it raises the question of whether DME explosions are as dangerous as LPG explosions. The subject of the thesis is the examination and evaluation of fire and explosion risk, effect, and severity of dimethyl ether in terms of occupational health and safety. Understanding the explosion and its aftermath is an important step in taking action. For this reason, in the first part of the thesis, the necessity of 'explosion prevention and protection from an explosion, evaluation of explosion risk, making the workplace safe' and the scope of the thesis is included. In the second part; information about explosion and fire, definitions, examples of accidents, regulations, information about DME, in the third section; the ALOHA program is included. In the fourth chapter; Assuming that there is a leak from the DME tank and the gas does not ignite, the toxic area, combustion area, and explosion areas are modeled. Then, the jet combustion and BLEVE event were modeled with the ALOHA 5.4.1.7 program, assuming that the tank was leaking and igniting. Afterward, new scenarios were determined according to various tank occupancy rates, wind speed, and temperature parameters, and the toxic effect area, flammable vapor cloud area, explosion force, jet fire, and BLEVE event were modeled and accident impact areas were determined for each scenario. Comparison results of modeling results of DME and LPG tank are included. In the discussion and conclusion section, which is the last section; All these results are discussed. Suggestions have been made to predict possible fire and explosion events and to prevent accidents.

Keywords: Dimethyl Ether, Fire, Explosion, ALOHA, Modeling, BLEVE, OHS

Zümrüt TERCAN,2021

1. GİRİŞ

Petrolün bir yan ürünü olan sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), temizlik, güvenlik, yüksek kalori değeri, kolay depolama ve nakliye avantajları nedeniyle hayatın her alanında kullanılmaktadır. Her geçen yıl artan LPG talebi ile birlikte, LPG'yi LPG ile aynı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip maddelerle karıştırma uygulaması yaygınlaşmakta ve Dimetil eter; düşük gürültüsü, düşük emisyonu, dumansız yanması, yüksek setan sayısı ve düşük fiyatı nedeniyle LPG'nin tercih edilen karışım yakıtı olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. DME'i LPG'ye karıştırmak birçok ülkedeki LPG Endüstrisinde yaygın hale gelmiştir. LPG/DME (<%30) karışımlı gaz, evde yemek pişirme ve endüstriyel yakmada kullanılmaktadır. Ancak, DME'nin eklenmesi, orijinal LPG yakıtının reaksiyon yolunu ve patlama mekanizmasını değiştirerek, LPG yakıtının güvenlik özelliklerinde bir dizi değişikliğe neden olur. Bu da yangın ve patlama riskini beraberinde getirir. Bugüne kadar DME ve LPG/DME karışımlı gazın patlama mekanizması hakkında bilgi ve önlem araştırmalarının olmaması nedeniyle bu tür maddelerin patlama kazaları sıklıkla meydana gelmektedir. Yaşanan LPG kazalarına bir de DME kazaları eklenmektedir. 2019 yılında Pekin'de iki LPG/DME karışımı gaz patlaması yaşanmış ve 7 Aralık 2019 tarihinde Çin'in Pekin şehri, Shunyi Bölgesinde gerçekleşen kazada 4 kişi hayatını kaybetmiş 10 kişi yaralanmış ve 2,02 milyon Dolar ekonomik kayıp meydana gelmiştir. (Xinming Qian, 2021)

Dimetil eterin çok kolay alevlenebilir özellikte bir madde olması ve birçok işkolunda bulunması sebebiyle üretimi, tüketimi ve depolanması olan bir iş yerinde can, mal ve çevre güvenliğini tehlikeye atacak risklerin mevcut olabileceğini gösterir ve iş sağlığı ve güvenliği açısından önem teşkil etmektedir.

Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmeliğinin 5, 6 ve 7. Maddesi gereğince "Patlamanın önlenmesi ve patlamadan korunma", ''Patlama riskinin değerlendirilmesi'', ''İşyerinin güvenli hale getirilmesi'' gerekmektedir. Yönetmelikte; (T.C.Resmi Gazete, 2013)

“**Patlamaların önlenmesi ve patlamadan korunma**

MADDE 5 – (1) İşveren, patlamaların önlenmesi ve bunlardan korunmayı sağlamak amacıyla, yapılan işlemlerin doğasına uygun olan teknik ve organizasyona yönelik önlemleri alır. Bu önlemler alınırken aşağıda belirtilen temel ilkelere ve verilen öncelik sırasına uyulur;

a) Patlayıcı ortam oluşmasını önlemek,

b) Yapılan işlemlerin doğası gereği patlayıcı ortam oluşmasının önlenmesi mümkün değilse patlayıcı ortamın tutuşmasını önlemek,

c) Çalışanların sağlık ve güvenliklerini sağlayacak şekilde patlamanın zararlı etkilerini azaltacak önlemleri almak.

(2) Birinci fıkrada belirtilen önlemler, gerektiğinde patlamanın yayılmasını önleyecek tedbirlerle birlikte alınır. Alınan bu tedbirler düzenli aralıklarla ve işyerindeki önemli değişikliklerden sonra yeniden gözden geçirilir.

Patlama riskinin değerlendirilmesi

MADDE 6 – (1) İşveren, 29/12/2012 tarihli ve 28512 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliğine uygun risk değerlendirmesi çalışmalarını yaparken, patlayıcı ortamdan kaynaklanan özel risklerin değerlendirmesinde aşağıdaki hususları da dikkate alır:

a) Patlayıcı ortam oluşma ihtimali ve bu ortamın kalıcılığı,

b) Statik elektrik de dahil tutuşturucu kaynakların bulunma, aktif ve etkili hale gelme ihtimalleri,

c) İşyerinde bulunan tesis, kullanılan maddeler, prosesler ile bunların muhtemel karşılıklı etkileşimleri,

ç) Olabilecek patlama etkisinin büyüklüğü.

(2) Parlama veya patlama riski değerlendirilirken patlayıcı ortamların oluşabileceği yerlere açık olan veya açılabilen yerler de dikkate alınarak bir bütün olarak değerlendirilir.

İşyerinin güvenli hale getirilmesi

MADDE 7 – (1) Kanunun 5 inci maddesinde yer alan risklerden korunma ilkelerine ve bu Yönetmeliğin 5 inci maddesinde belirtilen hususlara uygun olarak çalışanların sağlık ve güvenliğini korumak için işveren:

a) Çalışanların ve diğer kişilerin sağlık ve güvenliği için tehlike arz eden patlayıcı ortam oluşma ihtimali olan yerlerde güvenli çalışma şartlarını sağlar.

b) Yapılan risk değerlendirmesi sonucuna göre, çalışanların sağlık ve güvenliği için tehlike arz eden patlayıcı ortam oluşma ihtimali bulunan yerlerde, çalışma süresince uygun teknik önlemleri aldırarak, bu kısımların gözetim altında tutulmasını sağlar." denilmektedir. Dimetil eterin yangın ve patlama riski bulunmasından dolayı yönetmelikteki her madde için muhatap hale gelmektedir ve bu alanda çalışmanın yapılması önem arzetmektedir.

Bu tezde; ALOHA programı kullanılarak DME tankında oluşabilecek bir sızıntı olduğunda oluşacak, zehirli alan, yanma alan ve patlama alanları, jet yangını, BLEVE olayı sonuçlarını iş sağlığı ve güvenliği açısından incelemek, termal radyasyon, aşırı basınç etki alanları belirlemek, olası tehlike ve hasarı ortaya çıkarmak, yaşanabilecek yangın ve patlama olaylarını öngörmek ve kazaları önlemeye yönelik önerilerde bulunmak amaçlanmaktadır.

Ve bu tez kapsamında; yangın ve patlama ile ilgili genel bilgiler, yangın ve patlama etkileri ve alanları, iş sağlığı ve güvenliğine ilişkin yangın ve patlama ile ilgili mevzuatlar, Türkiye ve Dünya'dan yangın ve patlama kaza örnekleri, DME ile ilgili bilgiler, ALOHA araştırılacaktır. Devamında literatürden belirlenen tahmini parametre değerlerine göre DME tankı sızıntı senaryosu modellenecektir. Çeşitli parametre

değerlerine göre yeniden senaryolar belirlenip sonuçları incelenecektir. Son olarak da literatürde var olan LPG tankı patlama senaryosu verilerine göre DME tankı patlaması sonuçları modellenecek ve iki kimyasalın patlama sonuçları karşılaştırılacaktır. Tüm bu senaryo sonuçları iş sağlığı ve güvenliği açısından incelenmiştir.

Yangın ve patlama senaryolarının etki mesafelerini ve tehlikeli bölgeleri önceden planlama aşamasında belirlemek; Acil Durum Müdahale aşamasında olaya müdahalenin etkili ve tehlikelerin bilincinde olarak güvenli mesafelerden yapılmasını ve tahliyelerin güvenli rotalardan yapılmasını sağlayacaktır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Yangın

Yanma; yanıcı bir maddenin oksijenle belirli oranlarda birleşmesi ve bunun sonucunda ısı açığa çıkmasıyla oluşan ekzotermik kimyasal zincir reaksiyonudur. Amaç madde içindeki enerjinin ısı enerjisine dönüştürülmesidir. (Doğan, 2021) (Kaya, 2019)

$$C_3H_6 + O_2 \longrightarrow 2H_2O + CO_2 + \text{ısı}$$ sınırsız zincirleme reaksiyon

Yanma olayının oluşabilmesi için aşağıdaki Şekil 1.1'de gösterilen yanıcı madde, oksijen ve yeterli ısının bir araya gelmesi gereklidir. Bu duruma "Yangın Üçgeni" adı verilir. (Kaya, 2019)Yangın**,** kontrolsüz yanma olayıdır. (Doğan, 2021)



Şekil 2.1: Yangın Üçgeni (Doğan, 2021)

2.1.1 Yangının Yayılması

2.1.1.1 Yanıcı Madde (Cinsi, Miktarı, Dağılımı)

Yangının yayılması, birçok unsura bağlıdır. Bunlar; yanıcı maddenin miktarı, cinsi, yanıcı madde-oksijen orantısı ve ısıdır. (İnce, 2015)

Yangının yayılma tehlikesi, yanıcı maddenin miktarının artması ile artar. Tehlikeyi etkileyecek üç kavram vardır. Bunlar: (İnce, 2015)

Yangın Potansiyeli

Yanıcı Madenin Dağılım

Yanıcı Maddenin Çeşitliliğidir.

2.1.1.2 Yangın potansiyeli

Bina ve bina dışında bulunan yanıcı maddelerin toplamına yangın potansiyeli denir. (İnce, 2015)

(ısı derecesi x yanıcı madde kg.) = (kg. kcal)

Yangın Yükü: Yanıcı madde miktarının m^2 ye bölünmesiyle bulunur. Miktar m^2 (İnce, 2015)

Yangın Yükü İndeksi: Bir arsanın, mahallenin ya da bölgenin cadde, yol, boş araziler veya göllerin içinde bulunan yangın potansiyelinin bu brüt alana tatbikidir. (İnce, 2015)

Yangın yükü indeksi; yangının yayılmasındaki yapıların sıklığı, şekli, malzemesi ve kullanımı gibi birçok faktörün toplamıdır. (İnce, 2015)

2.1.1.3 Yanıcı maddelerin dağılımı

İmar Sıklığı: İmar sıklığı arttıkça yangının yayılma tehlikesi artar. Bitişik yapılan ahşap yapılar bunlara örnek verilebilir. (İnce, 2015)

Ateş Köprüleri: Yanıcı maddelerin birbirine yakın olması, yangının yayılmasını sağlar. Maddeler arasında mesafeler bırakılması yangının yayılmasını önler. Örneğin: Ormanlardaki yangın bölmeleri vb. (İnce, 2015)

Yangın Mesafesi Aralığı Eksikliği: İmar durumunda bina aralarına yangın koruma duvarlarının yapılmaması veya yangına karşı koruma boşluklarının bırakılmaması yangının yayılmasına sebep olur. (İnce, 2015)

2.1.1.4 Yanıcı maddelerin çeşitliliği

Yangının yayılması, yanıcı maddelerin çeşitliliğiyle büyük ölçüde bağlantılıdır. Bunlar:

Yanma Oranı: Yangının yayılabilmesi yanma oranına bağlıdır. Maddeler zor alevlenen, normal alevlenen, kolay alevlenen ve çok kolay alevlenen maddeler olarak adlandırılırlar. (İnce, 2015)

Tutuşma Yeteneği: Madde ısınırken ne zaman kolay veya zor tutuştuğu ya da dışarıdan ateşlenme ile ne zaman yandığını belirtir. Maddelerin tutuşma yeteneği ateşlenme derecesiyle gösterilir. (İnce, 2015)

Yüzey Kütle Oranı: Yangının yayılma kabiliyet yüzey kütle oranıyla da değişir. Bir malzemenin parçalanması ile yüzey büyük ölçüde büyür. (İnce, 2015) Yüzey arttıkça yanma kabiliyeti artar.

Yanıcı Maddelerin Nem Oranı: Nem oranı yangının yayılma sorununda büyük önem taşır. Orman yangınlarının yazın daha çok olması buna örnek olarak gösterilebilir. (İnce, 2015)

Yanma Isısı: Yangının yayılmasında yanıcı maddelerin yanma ısısı (ısı değeri) çok önemlidir. Maddelerin çeşit ve ağırlıklarına göre ısı değerleri çeşitlilik arz eder. (İnce, 2015)

2.1.2 Yangın Evreleri

Kapalı bir alanın yangın evreleri şunlardır. (Kaya, 2019);

- Yangının başlangıç evresi (~ ilk 60 saniye)
- Yangının gelişim evresi (~ 60- 132 saniye)
- Tam gelişmiş yangın evresi (~ 132 saniye)
- Korlanma (Sönme) evresi

2.1.2.1 Yangının başlangıç evresi

Yangının ilk aşaması olan başlangıç evresinde alevler nispeten parlak değildir. Aşırı duman çıkışı gözlemlenmez ve çok az ısı dağılımı gözlemlenir. Bu aşamada alevler henüz olgunlaşmamıştır. Ancak çok kısa sürede yangın bölgesinin çatısından gelen dumanla dolmaya başlar. Kaynaktaki alevler arttıkça ve ortam sıcaklığı arttıkça yangın gelişme aşamasına doğru ilerler. (Kaya, 2019)

Yangından duman yükselir. Alev almaya başladığında oksijen yeterli seviyededir. Ancak sıcaklık henüz yeterli seviyeye gelmediği için yanıcı maddeler tam olarak yanmaya başlamamıştır. Dumanın içinde hala yanmamış gazlar var. Ortam sıcaklığı arttıkça yanmamış gazlar ısınmaya başlar ve tutuşma noktalarına ulaşır. Bu aşamada odanın yüksek seviyelerinde kısmi alevler, tutuşmalar meydana gelir. (Kaya, 2019)

2.1.2.2 Yangının gelişim evresi

Bir yangının gelişme aşamasında alevler, alanın dışında görülebilecek bir seviyeye ulaşır. Duman, tavanda bir sıcak gaz tabakası oluşturmaya başlar ve ortaya çıkan ısı, odanın çeşitli yerlerine ulaşır. Bu noktada eğer bölgedeki oksijen miktarı artarsa parlama oluşur. (Kaya, 2019)

Yangının çıktığı ısı miktarı, geniş boşluklar ve ısının yavaş dağılımı yangının büyümesine neden olur. Dar alanlarda, radyasyon ve ısıda şömine içindeki tavanlar ve duvarlar yangınla birlikte çalışarak yangının büyümesine neden olur. Alan çok iyi bir ısı yalıtımına sahipse, ısıyı içeride tutarak yangının daha hızlı büyümesini sağlayabilir. (Kaya, 2019)

Yangının yayılımını etkileyen faktörler aşağıda belirtilmiştir; (Kaya, 2019)

- Yanıcı malzemeler arasındaki mesafe,
- Yanıcı maddelerin kütle ve yüzey alanının dağılımı,
- Tutuşma kaynağı yeri ve büyüklüğü,
- Ortamdaki açıklıkların yeri ve büyüklüğü,
- Ortamın geometrisidir.

2.1.2.3 Tam gelişmiş yangın evresi

Yangının tam olarak geliştiği evrede, kapalı alanda çıkan yangın tüm alana yayıldı ve içerideki cisimler yüksek ısıyla erimeye ve yanmaya başladı. (Kaya, 2019)

Tam gelişmiş yangın evresinde, yangının meydana geldiği mahaldeki havalandırmanın sınırlı olması durumundan kısa bir süre sonra yetersiz oksijen ile yanma devam edebilir. Ancak mahallin sıcaklığı, buharın yanıcı malzemeden kaçması ve yanıcı malzemenin alevsiz yanması için yeterli olabilir. Bu durum ortamda yüksek konsantrasyonlarda yanıcı gazların oluşmasına neden olur. Bu koşullar altında havalandırmanın değişmesiyle (kapı veya pencerenin açılması, kırılması, bilinçsiz müdahale vb.) havanın içeri girmesine izin verilerek, ortamda oluşan gazlarla havanın karışması sağlanır. İlk yangında oluşan parlayan alev gibi yeterli tutuşturma kaynakları varsa bu gazlar tutuşacaktır. Yeni bir açıklığın açılması, içeri giren hava nedeniyle alevlenmeye neden olacaktır. Bu bir patlama ile sonuçlanacaktır. (Kaya, 2019)

Büyüme aşamasından sonra tüm yanıcı yüzeyler sıcaklık nedeniyle katı maddelerden yanıcı gazlar çıkarır. Yangının bu aşamasında yapı elemanları (duvar, kiriş, kolon vb.) taşıma gücünü kaybetmeye ve yangının bitişikteki mekana yayılmasına yetecek sıcaklıktadır. (Kaya, 2019)

Yanıcı maddelerden gaz üretimi,genellikle yanmanın tamamlanması için gerekli hava girişinin yetersiz olduğu durumlarda çok yüksek olmaktadır. Bu durumda duman ve gaz üretimi artışı olmaktadır. Yanmamış yanıcı gazı içeren duman, mekânın dışına akarak taze hava ile karşılaşmaktadır. Büyük miktarlarda yanmamış gaz, hava almayan alanlarda birikir ve bu alanlar patlama oluşturma potansiyeline sahiptir. (Kaya, 2019)

Tam büyüme aşamasında, oksijen içeriği %15'in altındadır. Yanma için yeterli oksijen yoktur Yine de ısı ve yanıcı malzemenin yeterli olmasından dolayı yanmaya eder. Eğer ortama oksijen girerse patlama meydana gelebilir. Ancak oksijen girişi kontrol altında tutulursa patlama önlenir. (Kaya, 2019)

Patlamanın öngörüleceği durumlar şunlardır; (Kaya, 2019)

- Küçük açıklıklardan basınçlı duman çıkısı
- Yoğun siyah duman,
- Yoğun dumanı
- Aşırı sıcaklık
- Çok az veya görülemeyen alevler,
- Dumanın aralıklarla veya üfleme seklinde dışarıya çıkması
- Yangın yerinden boğuk sesler çıkması

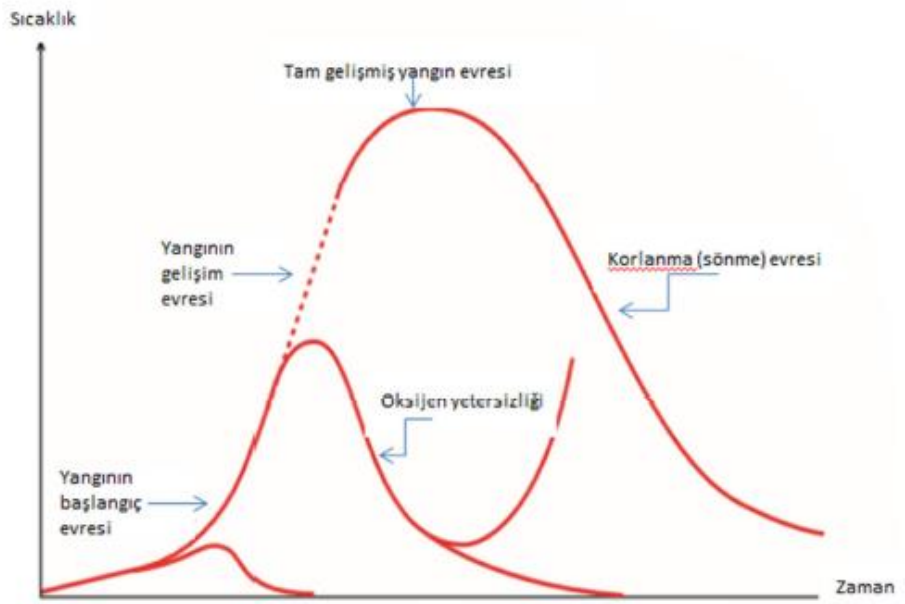
Bu aşama itfaiye ekipleri için önemlidir. Yeni bir yangın olabileceğine dair bir şüphe olması yangın müdahale ediplerin ve yangının araştırmasını yapan kişilerin sağlığı için önemlidir. (Kaya, 2019)

İtfaiyeciler tarafından kullanılan stres azaltma tekniği gibi söndürme teknikleri, tam büyüme risklerini azaltabilir. (Kaya, 2019)

Patlama sonrası alevler tüm hacmi sarar. Hacimdeki tüm yanıcı maddelerin yanması nedeniyle ateşin oksijene olan ihtiyacı da artar. Bu aşamanın sonunda karbondioksit salınımının artması, yanma malzemesinin ve oksijenin azalması sonucunda yangın hızını kaybederek bir sonraki katmana geçer. (Kaya, 2019)

Korlaşma evresi

Korlaşma aşamasında, yanıcı madde sona erer. Önceki aşamalardaki gibi alev yoktur. Sadece çok az miktarda azalan alev vardır. Bu alevler zamanla yerini köze bırakır. İtfaiye ekipleri yangını kontrol altına almadan alandan uzaklaşmaz ise yangın yanma aşamasına ilerler ve sönme ile sonlanır. Yangının gelişim aşamaları grafiği Şekil 1.2'de verilmiştir. (Kaya, 2019)



Şekil 2.2: Yangın Evreleri (Kaya, 2019)

Yangının gelişim hızı ve verdiği zarar göz önüne alındığında yangına erken müdahalenin önemi açığa çıkmaktadır. Yangının başlangıç veya gelişim evresindeki müdahaleler temel yangından korunma eğitimi almış kişiler tarafından söndürülebilir. Eğer yangın bu evreleri geçmiş ise yani yangının başlangıcından itibaren yaklaşık 2 dakikayı geçmiş ise kişi yangını söndürmeye çalışmamalı, mümkün ise bulunduğu ortamdaki kapı ve pencereleri kapatıp, elektriği keserek derhal bölgeden uzaklaşmalıdır. Bu safhadan sonra yapılmaya çalışılan müdahaleler ciddi yaralanma ve ölümle sonuçlanabilir. (Kaya, 2019)

Yangının hızı ve verdiği hasar göz önüne alındığında erken müdahalenin önemi ortaya çıkıyor. Yangının başlangıcında ve gelişiminde, yangına müdahale eğitimi almış kişiler yer almalıdır. Bu kısımlardan, yani yangın başladıktan yaklaşık 2 dakika, sonra yangın geçerse yangını söndürmeyin, mümkünse kapı ve pencereleri havaya kapatın, elektriği devreden çıkarın ve derhal alanı terk edin Bu sandan sonra yapılmaya çalışılan müdahaleler ciddi yaralanma ve ölümle sonuçlanabilir. (Roks, 2019)

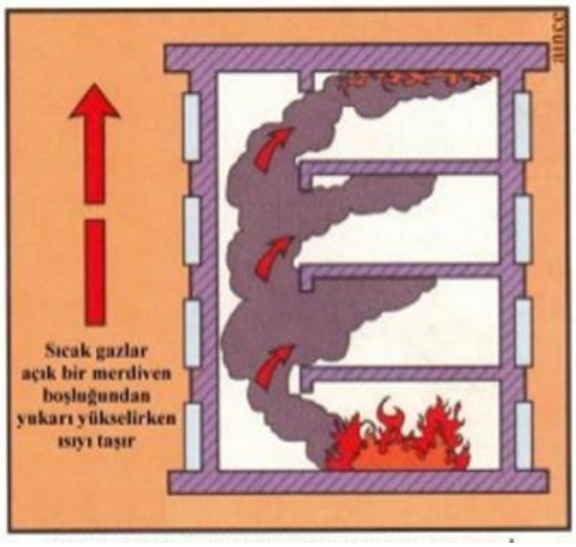
2.1.3 Isı Transferleri

Yangın ekzotermik bir reaksiyondur ve yanma olayı sırasında sürekli bir ısı üretimi gerçekleşir. Yanma devam ettikçe bölgedeki maddeler zincir tutuşma sıcaklığına ulaşır ve bu maddeler yanmaya başlar. Yangın sırasında ısı dağılımı üç farklı şekilde gerçekleşir. Bu ısı dağılımları; taşınım, ışınım ve iletimdir. (İBB İtfaiye Daire Başkanlığı, 2019)

2.1.3.1 Taşınım (Konveksiyon)

Akışkan hareketi ile ısı enerjisinin bir yerden başka bir yere aktarımı "taşınım" olarak tanımlanır. Sıvı veya gaz ortamlarda ısı enerjisi bir ortamdan diğer bir ortama sıcaklık farkından dolayı transfer edilir. Akışkanın sıcaklığındaki değişmeden dolayı yoğunluğunun değişmesi nedeniyle oluşan hareket sonucu ısı taşınıyorsa bu olay doğal taşınım, akışkan hareketi pompa veya fanla sağlanıyorsa bu olay da zorlanmış taşınım olarak isimlendirilmektedir.

Bir akışkanın hareketiyle ısı enerjisinin bir yerden başka bir yere aktarılması "konveksiyon" olarak tanımlanır. Sıvı veya gaz halindeki bir ortamda, sıcaklık farkından dolayı, ısı enerjisi bir ortamdan diğerine aktarılır. Sıcaklık değişimi sonucu sıvının yoğunluğunun değişmesiyle meydana gelen hareket sonucu ısı aktarılıyorsa bu olaya doğal taşınım denir, sıvının hareketi bir pompa veya fan ile sağlanıyorsa, buna zorlanmış konveksiyon denir. (İBB İtfaiye Daire Başkanlığı, 2019)



Şekil 2.3: Taşınım ile Isı Transferi (İBB İtfaiye Daire Başkanlığı, 2019)

Konveksiyonla ısı transferi, yangının yayılmasında en verimli ısı transferi aşamasıdır. Yangın durumunda açığa çıkan enerjinin yaklaşık %80'i bu şekilde oluşur. Şekil 2.3'te gösterildiği gibi, bir yangın meydana geldiğinde, sıcak gazlar tipik olarak bulunduğunuz yerin tavanına doğru yükselir ve tavanda birikir. Bu nedenle tavana en yakın kısımlar daha sıcak, alt kısımlar ise daha soğuktur. Transfer olayının etkinliği şunlara bağlıdır: (İBB İtfaiye Daire Başkanlığı, 2019)

- Akışkanın viskozitesi,
- Akışkanın sıcaklığı,
- Sıcak yüzeyle temas eden akışkan tabakanın hareket hızı. (Kaya, 2019)

Isının sıcak olan bölgeden soğuk olan bölgeye hareket ederek ısı değişimi miktarı Denklem 2-1'deki eşitlik ile gösterilir.

$$\mathrm{T} = (T_1 - T_2) \qquad \textbf{Denklem 2.1}$$

İletimle ısı transferi Denklemi 2-2'de gösterilmektedir.

$$\mathrm{q}'' = \frac{k}{L}\,\Delta T \ \ \mathrm{kW/m^2} \qquad \textbf{Denklem 2.2}$$

Bu denklem, iletimle ısı transferinde kullanılır. Denklemde k ısıl iletkenlik katsayısı, L malzemenin kalınlığıdır. (Ay, 2016)

2.1.3.2 Işınım (Radyasyon)

Işınım olayında ısı, dalgalar ya da fotonlar ile taşınır. Işınımın diğer ısı transferi olaylarından farkı, Şekil 2.4.'de gösterildiği gibi ısı enerjisini içinden nakledilebileceği bir ortam gerektirmemesidir. Yani mutlak bir boşluk ortamında hiçbir maddenin bulunmadığı bir ortam içinden geçerek transfer edilebilir. (İBB İtfaiye Daire Başkanlığı, 2019)



Şekil 2.4:Işınım ile Isı Transferi (İBB İtfaiye Daire Başkanlığı, 2019)

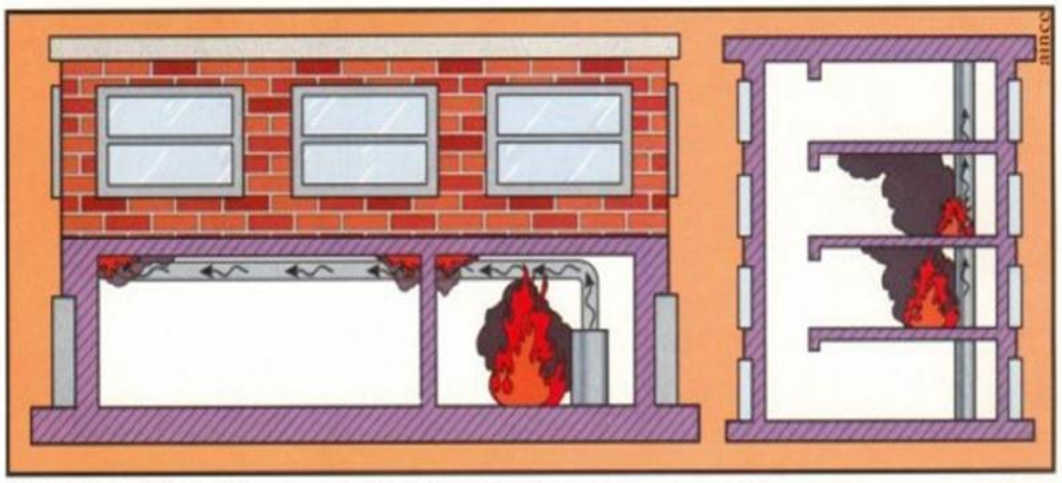
Işıma, hava boşluğu boyunca olur. Yüzeyden ısı kaybı Denklem (2-3)'te gösterilmektedir.

$$q'' = \varepsilon \ \sigma \ T_4 \ \ kW/m^2 \qquad \textbf{Denklem 2.3}$$

Sıcaklık T olarak, σ Stefan-Boltzman sabiti (56.7x10-12 kW/m^2T_4) ve ε ayılabilme veya ışıma yapabilen yüzey ile ilgilidir. (Ay, 2016)

2.1.3.3 İletim (Kondüksiyon)

İletim yoluyla ısı transferi, Şekil 2.5'te gösterildiği gibi katı, sıvı veya gazlı bir ortamdaki bileşenler arasındaki doğrudan fiziksel temasta gerçekleşir. Yangın durumunda, bir molekülün kinetik enerjisi, başka bir ortamdaki moleküllerin kinetik enerjisinden yüksek olduğunda, kinetik enerjisi daha az olan bir bölgeye aktarılır. Bir katıda ısı, elektronların hareketi ve kafes titreşimleri ile komşu bölgelere aktarılır. (İBB İtfaiye Daire Başkanlığı, 2019)



Şekil 2.5: İletim ile Isı Transferi (İBB İtfaiye Daire Başkanlığı, 2019)

Yayılımla ısı transferi Denklem 2-4'te gösterilmiştir.

$$q'' = h\,\Delta T \ \text{kW/m}^2 \qquad \textbf{Denklem 2.4}$$

Bu denklemde h yayılım ısı transfer katsayısıdır. (Ay, 2016)

2.1.4 Yangın Sınıfları

Yangın türleri, yanıcı maddenin cinsine göre beş sınıfta incelenir. Bu yangın sınıfları: (TS EN 13501-2, 2016)

A Sınıfı Yangınlar: Genellikle kor şeklinde yanan organik malzeme yangınları
B Sınıfı Yangınlar: Sıvı veya sıvılaşabilen katı madde yangınları

C Sınıfı Yangınlar: Gaz yangınları

D Sınıfı Yangınlar: Metal yangınları

F Sınıfı Yangınlar: Bitkisel ve hayvansal pişirme yağlarının yangınları

Tablo 2.1: Yangın Sınıfları (TS EN 13501-2)

Sınıf	Açıklama
A Sınıfı Yangın	Yanıcı basit katı madde yangınlarıdır. Yanarken kor oluşturur ve ısı verir. Yanan maddelerin kimyasal yapısı nedeniyle yoğun olarak karbon monoksit ve benzeri yanıcı, boğucu ve zehirleyici gazları açığa çıkar. Soğutma yöntemi ile su kullanılarak söndürülür.
B sınıfı Yangın	Yanıcı sıvı yangınlarıdır. Alkol ve akaryakıt yangınları bu sınıftadır. (Dizel, motorin, uçak yakıtı ...) Alevli ve korsuz yanmadır. Boğma yöntemi uygulanarak köpük ve kimyasal toz kullanılarak ortamdaki oksijenin azaltılarak söndürülür.
C sınıfı Yangın	Yanıcı gaz yangınlarıdır. (LPG, havagazı, doğalgaz ve hidrojen, DME) Çok hızlı yayılabilme özelliği vardır. Gaz maddeler yanmaya hazır haldedirler ve tutuşma sıcaklığına geldiğinde yanma olayı hemen gerçekleşir. Ani yanma ve patlama ile sonuçlanır. Kuru kimyasal toz ile söndürülür.
D sınıfı Yangın	Yanabilen metallerin yangınlarıdır. (Sodyum, alüminyum, magnezyum, potasyum…) Korlu ve alevsiz yanmadır. Çok yüksek sıcaklıklarda yangın oluşur. Bu nedenle su, CO2, KKT kullanılmamalıdır. Aksi takdirde söndürme maddeleri farklı reaksiyonlara sebebiyet verir. Söndürülmesi için hafif metal söndürme tozları (d tozu), kuru kum veya döküm talaşı kullanılır.
F sınıfı Yangın	Yağ yangınlarıdır. Su ile müdahale edilmez. Su ile yapılan müdahale halinde, kızgın yağın su ile buluşması sonucu beraberce genleşir ve yangının aniden kat be kat büyümesine buda yangının daha hızlı bir şekilde parlamasına ve patlamasına sebep olur. Söndürme için sulu kimyasal ve toz söndürücüler kullanılır.

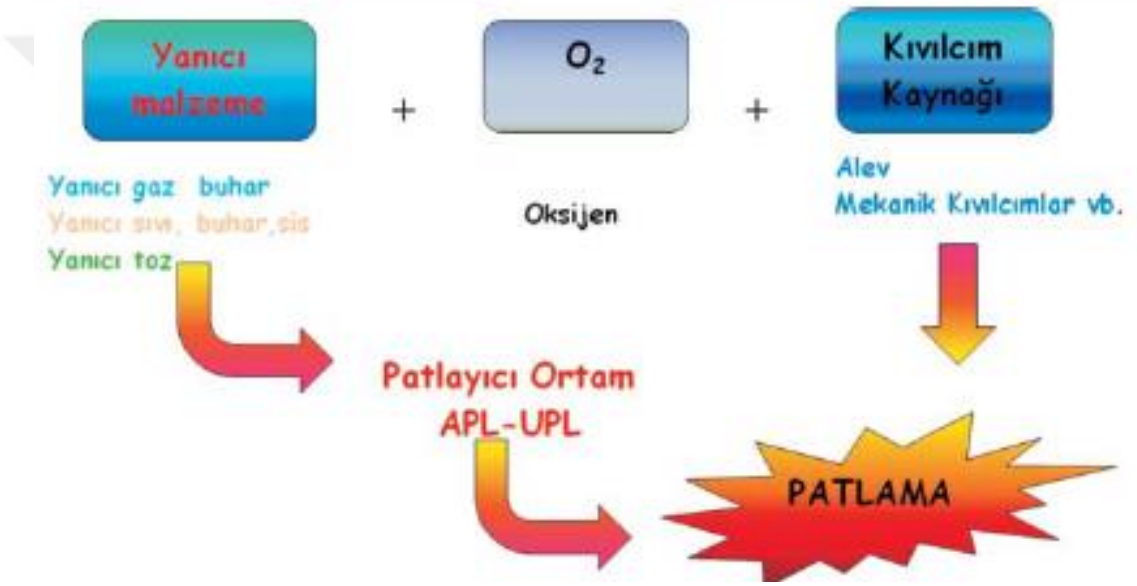
2.2 Patlama

Patlama, oksijenle yanabilen malzemenin verdiği reaksiyon sonucu, küçük hacimli bir alana büyük miktarda enerjinin kısa sürede salınımı ile ortaya çıkan kimyasal reaksiyondur. (Biberci, 2019)

Patlayıcı ortamın oluşabilmesi ve tehlikeli sonuçlar yaratması için bir araya gelmesi gereken üç unsurun mevcuttur. Bunlar Şekil 1'de gösterilmiştir ve aşağıdaki gibidir; (Biberci, 2019)

- Patlayıcı madde
- Oksijen
- Enerji

Patlama için basınç,genleşmesi, enerji, hız önemli parametrelerdir. (Tezcan, 2009)



Şekil 2.6: Patlama Oluşumu (Biberci, 2019)

2.2.1 Temel Kavramlar

Patlayıcı Ortam: Atmosferik koşullarda gaz, buhar, sis ve tozdan oluşan ve herhangi bir ateşleme kaynağı ile tamamen yanabilen yanıcı maddelerin hava ile karışımını ifade eder. (T.C.Resmi Gazete, 2013)

Patlayıcı Gaz Ortamı: Tutuşma sonrası tüketilmeyen karışım boyunca yayılan yanma maddelerinin atmosferik koşullar altında hava ile karışımı şeklinde tanımlanır. (Sönmez, 2017)

Parlama Noktası: Uçucu bir maddenin, bir tutuşturma kaynağı yaklaştırıldığında, madde buharının parladığı en düşük sıcaklık derecesidir. (Altıncı, 2015)

Tutuşma Sıcaklığı: Herhangi bir tutuşturucu olmadan dahi bir maddenin kendi kendine alev alması için gerekli kinetik enerjiyi verebilecek minimum sıcaklıktır. (Auto Ignition Point, Kindling Point) (Sönmez, 2017)

Alt Patlama Limiti: Yanıcı maddelerin hava ile uygun konsantrasyonda birleşerek patlayabileceği en alt sınıra denir. LEL değeri olarak belirtilir. (Sönmez, 2017)

Üst Patlama Limiti: Yanıcı maddelerin belli bir hacim içerisinde patlama özelliğini sürdürebildiği en üst sınıra denir.UEL değeri olarak belirtilir. (Sönmez, 2017)

2.2.2 Tutuşma Kaynakları

EN 1127-1 Standardı 13 tane tutuşturma kaynağından bahseder. Bunlar;

- Sıcak yüzeyler
- Açık alevler
- Mekanik kıvılcımlar
- Elektrikli alet ve ekipmanlardan çıkan kıvılcımlar
- Kaçak akımlar
- Elektrostatik deşarj kıvılcımları
- Yıldırım
- Radyo frekanslı elektromanyetik dalgalar
- Görülebilir ve daha yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar
- İyonize radyasyon
- Ultrasonik dalgalar
- Adyabatik sıkışma ve şok dalgalar
- Ekzotermik reaksiyonlar
- Tutuşturma kaynakları tüm tehlikeli alanlarda etkili bir şekilde kontrol edilmelidir.

2.3 DME Yangın ve Patlama Türleri

2.3.1 Flaş yangını

Yanıcı bir madde ile havanın karışması sonucu oluşan bir yangın türüdür. Yüksek sıcaklıklarda kısa sürede hızlı yangın meydana gelir. (Yavuz, 2016)

2.3.2 Jet yangını

Tank veya kapalı ir hat içerisinde bulunan çok miktardaki yanıcı ve patlayıcı kimyasal maddenin kaçak, boru çatlağı, vana ya da conta sızıntısı gibi nedenlerden dolayı ortama sızması ile oluşan bir yangın türüdür. Yanıcı, parlayıcı sıvıların ve gazların boru içinde belli bir basınçla bir borudan taşınması sırasında borunun veya eklentilerinin herhangi bir yerinden kaçak sonucu yüksek basınçla çıkan sıvı ya da gazın yanmasıyla oluşan yangın türüdür. (Yavuz, 2016)



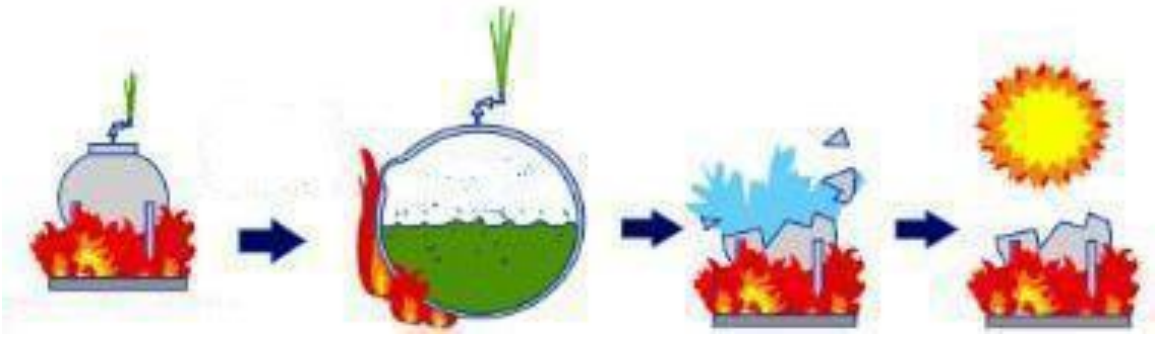
Şekil 2.7: Jet Yangını (Kepekli, Yangınlarda Oluşan Termal Radyasyon Etkisinin Modellenmesi, 2019)

2.3.3 BLEVE Olayı

Yüksek sıcaklıkta ve yüksek basınçta depolanan gaz veya sıvı içeren bir tankta, yangın gibi ısı artışına neden olan bir durumun sonucu olarak, tank içi sıcaklık ve basınç artar. Artan iç basınç tank yırtılmasına sebep olur.

Bir tank patladığında, basınç hızla atmosfer basıncına düşer ve sıcak sıvı hızla buharlaşır. Çok büyük miktarda buhar oluşturur. Hasar, buharın serbest bırakılmasından kaynaklanan basınç dalgalarından ve etrafa savrulan tank ve boru parçalarından kaynaklanır. BLEVE için her zaman yanıcı bir akışkanın bulunması gerekmez. Tank içerisinde yanıcı bir sıvının bulunması durumunda ise patlamanın yanı sıra serbest kalan gazlar yanıcı bir ateş topu ortaya çıkartırlar. (Olgun, 2019). (Yavuz, 2016)

BLEVE, basınçlı bir kabın mekanik bir etki ya da korozyon nedeniyle hasar görmesi veya dışarıda oluşan bir yangına maruz kalması gibi birçok nedenden meydana gelebilir. Buhar bölgesi dışarıda oluşmuş bir yangının alevlerine maruz kalmış bir tank tasarım basıncının altında patlayarak BLEVE olayına neden olabilir. Alevler metali ısıtarak zayıflatır ve patlamasına neden olur. (Yavuz, 2016)



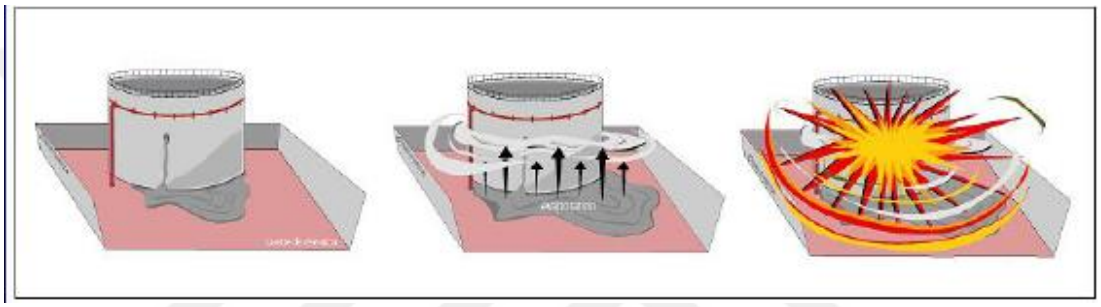
Şekil 2.8: BLEVE Olayı Aşaması (Çalışkan, 2019)

2.3.4 VCE -Buhar bulutu patlaması

Parlayıcı ya da yanıcı madde havaya salınır, havayla karışır . Havayla karışım oranı patlama limiti değerine ulaştığında patlamaya hazır yanıcı buhar bulutu oluşur. Bir

ateşleme kaynağı ile teması sonucu buhar bulutu patlaması meydana gelir. Salınım sebeplerinden bazıları şunlardır: (Yavuz, 2016)

- Boru hattı, reaktör, depolama tankı ya da benzeri proses ekipmanlarının hasara uğraması
- Bir basınç tahliye sisteminden hızlı bir şekilde atmosfere boşalması
- Basınç altında depolanan parlayıcı bir sıvının salınması



Şekil 2.9: Sınırlandırılamayan Buhar Bulutu Patlaması (Altıncı, 2015)

2.4 Yangın ve Patlama Etkileri

Yakıt tankı yangınlarının, kaza, deprem ya da sabotaj sonucu oluşacak tehdit iki kategoride ele alınabilir. (Kaya, 2019)

1.Isı transferi ile civardaki tanklara veya yerleşim alanlarına yangının sıçraması

2. Kimyasal bileşenlerin yanma sonucu ortaya çıkmasıyla toksik özelliklerinin, insan sağlığı üzerindeki etkileri Açık alanda hidrokarbon bileşiklerinin yanma özellikleri ve yaydıkları ısı enerjisi oluşmaktadır.

Açık alan yangınları: Havuz yangınları, Jet alevleri, Alev topları

Havuz yangınları sıvı yakıt depolama tanklarında ya da basınçlı küresel LPG gaz tanklarında rastlanabilen kaza ile saçılmış ya da belli bir yüzeye yayılmış yakıtın tutuşması ile oluşan yangınlardır. Havuz yangınlarında birim yüzeye radyasyon yolu

ile iletilen ısıl gücün belirlenmesi çok önemlidir. Bu tür yangınların yakın çevresinde yarattığı riskleri tahmin etmek için aşağıdaki yangın karakteristikleri belirlenmelidir. (Kaya, 2019)

- Yangın alev boyu, eğimi ve yanma hızı
- Alev yüzeyinin yaydığı radyant ısı, radyant ısıl güç ve atmosferik ortamın absorpsiyon özellikleri
- Isıya maruz kalan elemanların alacağı radyant ısıl güç ve bu ısıl gücün yaratacağı sıcaklık
- Isıya maruz kalan elamanlarında tutuşma sıcaklığının aşılıp aşılmadığının kontrolü, tutuşma sıcaklığı aşılıyorsa tutuşma süresi
- Yanma sonucu atmosferik ortamdaki zararlı gaz miktarı (CO2 ve CO kütle dönüşüm miktarları)
- CO2 ve CO gazlarının insan sağlığı üzerindeki etkisi Yukarıda verilen hususların petrol ürünleri depolama tesislerinde meydana gelecek bir yangında civar yerleşim birimlerinde insan hayatına oluşturacağı tehdidi ifade etmektedir.

2.4.1 Patlamanın Basınç Etkisi

Patlamadan kısa bir süre sonra, bir yüksek basınç dalgası oluşur ve hareket etmeye başlar. Buna ek statik basınç denir. Normal atmosfer basıncının üstündedir. Bu şok dalgalarından sonra da oluşan çok güçlü rüzgârların yarattığı basınç gelişir. Buna da dinamik basınç denir. Statik ek basınç binaları tesisleri yıkabilir. Onu izleyen dinamik basınç güçlü rüzgârları da ayrıca büyük zararlara neden olmaktadır.

İnsan vücudu çok yüksek ek statik basınçlara dayanabilir. Ancak oluşan dinamik basınç, nesneleri ve insanları havaya uçurur. Uçuşan maddeler çarpmanın etkisiyle hasara ve ölümlere sebep olur. Havaya uçan insanlar da yine çarpmanın etkisiyle zarar görecektir. (Çobanoğlu, 2018)

Tablo 2.2: Patlayıcıların Basınç Etkileri (Olgun, 2019)

Yüksek Basınç	Maksimum Rüzgar Hızı	Yapılardaki Etki	İnsan Vücudundaki Etkileri
1 Psi	38 mph	Pencere camlarında kırılma	Cam parçalarından hafif yaralanma
2 Psi	70 mph	Kapı, pencere ve çatılarda dayanımsızlık	Cam parçalarından yaralanma
3 Psi	102 mph	Evlerde dayanımsızlık	Ciddi yaralanma, ölüm
5 Psi	163 mph	Binalarda çökmeler	Ölüm sayısında artışlar
10 Psi	294 mph	Güçlendirilmiş binalarda çökmeler	Toplu ölümler
20 Psi	502 mph	Güçlendirilmiş yapılarda hasarlar	Ölüm oranı %100'ü bulur

Tablo 2.3 : Yüksek Basınç Etkisinde Meydana Gelen Hasar Durumları (Olgun, 2019)

Yüksek Basınç (PSIG)	Yüksek Basınç (Kpa)	Hasar
0.03	0.20571	Çatlak Pencerelerde Kırılma
0.04	0.27428	Güçlü ses
0.15	1.02855	Cam kırılması
0.3	2.0571	%5 ciddi hasar
0.5	3.4285	Pencerelerde kırılma
0.7	4.7999	Binada ufak hasarlar
1	6.857	Binalarda kısmen yıkılma
1.3	8.9141	Çelik yapılarda eğrilme
2	13.714	Güçlendirilme yapılmamış betonlarda çökme
2.3	15.7711	Ciddi yapısal hasar eşiği
3	20.571	Çelik yapıdaki binalarda eğrilme
3.5	23.9995	Yağ tankları hasarı
5	34.285	Tahta yapı çökmeleri
6	41.142	Binaların çoğunda yıkılma
7	47.999	Tren vagonlarının ters dönmesi
9	61.713	Tren vagonlarının parçalanmas
10	68.57	Binaların tümünde yıkılma
300	2057.1	Krater çukuru oluşumu

2.4.2 Yüksek Sıcaklık Tehlikesi

Yangın sırasında sıcaklık çok hızlı bir şekilde yükselir. Sıcaklık 5 dakika içinde 555^{o}C, 10 dakika içinde 660^{o}C, 15 dakika içinde 720^{o}C, yarım saat içinde 820^{o}C ‘ye, bir saat sonra da 927^{o}C’ye ulaşmaktadır. Sıcaklık artışının en yüksek olduğu yer ilk beş dakikadır. Bu sebeple yangınlarda ilk dakikalar hatta saniyeler çok önemlidir. (İnce, 2015)

Yüksek sıcaklıklar ve alevler insan vücudunda geri dönüşü olmayan yaralara neden olur. Cilt yandığında cilt altındaki ter bezleri tahriş olur. Toksik maddeler ter bezleri tarafından atılmazsa kan zehirlenmesine neden olur, yaşamı tehdit eder ve hayat sona erer. (İnce, 2015)

Yüksek sıcaklık nedeniyle

- Proteinler pıhtılaşmaya başlar,
- Kan basıncının artar ve hayati organlarda iç kanamalar oluşur,
- Kalbin ritmik temposu bozulur. Aşırı su kaybı, solunum sıkışması ve zorluğu meydana gelir. Devam etmesi durumunda ölüm gerçekleşir. (İnce, 2015)

İnsan vücudu ve solunum sistemleri:

- 65^{o}C ‘ye sınırlı bir süre,
- 120^{o}C ‘ye 15 dakika,
- 143^{o}C ‘ye 5 dakika,
- 177^{o}C ‘ye ise 1 dakika dayanabilir. (İnce, 2015)

Isının ışınımı olan alev, insan vücudunda 1. 2. 3. derece yanıklara sebep olur. Isı kaynağına ve aleve olan mesafenin yanı sıra temas süresi de büyük önem taşır. Yanığın yeri, büyüklüğü ve derinliği de önemlidir. Gözler arasındaki bir yanık, bacaklardaki aynı büyüklükteki bir yanıktan daha tehlikeli ve kötüdür. (İnce, 2015)

1. derece yanık; deride kızarıklık biçiminde görülen yanıktır. Güneş yanığı örnektir. Önemli kabul edilmez. 2. derece yanık; Su toplanarak derinin kabarcıklanması

biçiminde meydana gelen yanıktır. Acı verir. 3. derece yanık; Derinin kömürleşecek derecede kavrulması biçiminde meydana gelen yanıktır. (İnce, 2015)

Ayrıca yangın yerinde oluşan kızgın hava kısa süre de olsa solunduğunda, solunum alanlarında yanmaya neden olur. İç yanık olarak adlandırılan bu olay burun kıllarının yanmış olması ile teşhis edilir ve bu yanık karşısında tıbben yapılabilecek bir şey yoktur. (İnce, 2015)

Yüksek sıcaklık ve alev tehlikesine karşı yanmaya dayanıklı elbise, başlık ve eldiven giyilmelidir. Ayrıca temiz hava tüplü solunum cihazı ve maskesi; yüz, göz yanıklarına ve iç yanığa karşı son derece önemli koruyucu rol oynar. (İnce, 2015)

2.5 Dünya'dan ve Türkiye'den Kazalar

Kimya endüstrisindeki teknolojik gelişmeler ile kimyasal ürünler, insan sağlığı ve yaşam sürecini büyük ölçüde iyileştirmiş, tarımsal üretimi arttırmış, genel yaşam kalitesini imkanları ve konforu yükseltmiştir. 20. yüzyılın başında çoğu doğal kaynaklı olmak üzere birkaç bin kimyasal madde kullanılmaktaydı. Kimyasal maddelerin kullanımı özellikle 1940'lardan sonra hızla artmış, 1950 yılında 7 milyon ton/yıl olan dünya kimyasal madde üretimi 1985 yılında 250 milyon ton/yıla yükselmiştir. Bugün bu rakam 400 milyon ton/yıl civarına ulaşmıştır. (Özkılıç, Dünyada Yaşanan Büyük Endüstriyel Kazalar – ATEX Direktiflerine Neden İhtiyaç Duyuldu?, 2012)

Gerek kimyasal maddelerin her alanda yoğun olarak kullanılmaya başlanması gerekse kontrolsüz kullanımın ortaya çıkardığı ciddi sağlık ve çevre sorunları, toplumlarda kimyasal madde kullanımına karşı korku ve tepkinin de oluşmasına sebebiyet vermiştir. Özellikle de 20. yüzyıl başlarından itibaren tehlikeli maddelerin artan üretimi, kullanımı ve depolanması nedeniyle büyük endüstriyel kaza olasılığı büyük ölçüde artmıştır. Yaşanan büyük kaza örnekleri Tablo 1.4'te verilmiştir. (Özkılıç, Dünyada Yaşanan Büyük Endüstriyel Kazalar – ATEX Direktiflerine Neden İhtiyaç Duyuldu?, 2012)

Tablo 2.4: Dünya'da Yaşanan Yangın ve Patlama Kazaları ve Sonuçları (Özkılıç, Dünyada Yaşanan Büyük Endüstriyel Kazalar – ATEX Direktiflerine Neden İhtiyaç Duyuldu?, 2012)

Yıl	Yer	Olay	Hasar
1959	Minamata, Japonya	Su yollarına cıva deşarj edilmesi	400 ölü, 2,000 yaralı
1974	Flixborough, İngiltere	Patlamada siklohekzan açığa çıkması	23 ölü, 104 yaralı, 3,000 tahliye
1976	Seveso, İtalya	Dioksin sızıntısı	193 yaralı, 730 tahliye
1978	Los Alfaquez, İspanya	Ulaşım kazasında propilen dökülmesi	216 ölü, 200 yaralı
	Xilatopec, Meksika	Karayolu kazasında gaz tankeri patlaması	100 ölü, 150 yaralı
	Manfredonia, İtalya	Fabrikadan amonyak sızıntısı	10,000 tahliye
1979	Threemile Adası,A.B.D.	Nükleer reaktör kazası	200000 tahliye
	Novosbirsk, Rusya	Kimya fabrikasında patlama	300 ölü
	Mississagua, Kanada	Demiryolu kazası ile klor ve bütanın çevreye yayılması.	200000 tahliye
1980	Summerville,A.B.D	Demiryolu kazası ile fosfor triklorür dökülmesi	300 yaralı, pek çok tahliye
	Tacoa, Venezüella	Petrol yangını ve patlaması	145 ölü, 1,000 tahliye
1982	Taft, A.B.D.	Patlamada kimyasallardan akrolein açığa çıkması	17,000 tahliye
1984	Sao Poulo, Brezilya	Petrol boru hattında patlama	508 ölü
	St.J.Ixhuatepec, Meksika tahliye	Gaz tankı patlaması	452 ölü, 4,248 yaralı, 300,000 tahliye
	Bhopal, Hindistan	Pestisit fabrikası,sızıntı siyan gazı	72,500 ölü, Binlerce yaralı, 200,000 tahliye
1986	Çernobil, Rusya	Nükleer reaktör kazası	725 ölü, 300 yaralı, 90,000 tahliye, Avrupa ülkelerine yayılma
	Basel, İsviçre	Pestisit fabrikasında yangın	Ren nehrinde kirlilik
1987	Kotka, Finlandiya	Limanda monoklorobenzen dökülmesi	Deniz tabanı kirliliği
1991	Körfez Savaşı, Basra Körfezi	Petrol dökülmesi	Deniz kirliliği
1992	Alaska	Petrol dökülmesi	Deniz kirliliği
2000	Enschede, Hollanda	Havai fişek fabrikasında patlamada	21 kişi hayatını kaybetti. 800 kişi yaralandı ve 1 km^2 çalanda 5300 kişi etkilendi.
2000	Baia Mare, Romanya	Siyanür atık Tuna Nehri'ne karıştı.	Nehir Kirliliği
2001	Toulouse	Gübre tesisi,amonyum nitrat yayılımı	Geniş alanda etkilenme

Tablo 2.5: Türkiye'de Yaşanan Yangın ve Patlama Kazaları ve Sonuçları (Doğan, 2021)

YIL	YER	OLAY	SONUÇ
1997	Kırıkkale-MKE	Mühimmat fabrikasında patlama	Şehrin tahliyesi, büyük maddi hasar
1999	İzmit-TÜPRAŞ	Akaryakıt depolama tankları yangını	200milyondolarzarar
2002	Kocaeli-AKÇAGAZ	LPG dolum tesisinde yangın ve patlama	3yaralı,3milyonlirazarar
2004	Mersin-ATAŞ	Tank tam yüzey yangını	50m çapında tank kullanılamaz halde
2007	İzmir-Aliağa	Boya vernik fabrikası yangını	Büyük maddi hasar
2008	Kırıkkale-MKE	Barut fabrikasında patlama	3 ölü, 30yaralı
2008	Davutpaşa	Piroteknik madde üretim atölyesi	21 ölü, 117yaralı
2009	Adapazarı-Hendek	Piroteknik madde üretim tesisi	1ölü
2010	Adapazarı-Hendek	Piroteknik madde üretim tesisi	1ölü
2011	Batman	LPG dolum tesisinde patlama	3 ölü, büyük çapta maddi hasar
2011	Ankara-Ostim-İvedik	CNG tüplerin depatlama	20 ölü, çok sayıda yaralı
2011	Adapazarı	Piroteknik madde üretim tesisi	1 ölü, 8yaralı
2012	Afyonkarahisar	Askeri cephanelik	25ölü
2013	Elmadağ-MKE	Sevk barutu üretim atölyesi	2 ölü, 4yaralı
2013	Sakarya	Piroteknik madde üretim tesisi	6 yaralı, tesisin%85'i kullanılamaz halde, büyük çapta maddi hasar
2013	Kırıkkale-MKE	Patlayıcı madde deposunda patlama	3 adet depo kullanılamaz durumda, önemli maddi hasar
2014	Elmadağ-MKE	Barut üretimi sırasında patlama	3 kişi yaralı
2014	Diyarbakır-Lice	LPG tankerinin devrilmesi	33 ölü, çok sayıda yaralı

2.6 İş Sağlığı ve Güvenliği

2.6.1 6331 İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu (T.C.Resmi Gazete, 2012)

‘MADDE 1 – (1) Bu Kanunun amacı; işyerlerinde iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması ve mevcut sağlık ve güvenlik şartlarının iyileştirilmesi için işveren ve çalışanların görev, yetki, sorumluluk, hak ve yükümlülüklerini düzenlemektir.

a) Mesleki risklerin önlenmesi, eğitim ve bilgi verilmesi dâhil her türlü tedbirin alınması, organizasyonun yapılması, gerekli araç ve gereçlerin sağlanması, sağlık ve güvenlik tedbirlerinin değişen şartlara uygun hale getirilmesi ve mevcut durumun iyileştirilmesi için çalışmalar yapar.

c) Risk değerlendirmesi yapar veya yaptırır.

MADDE 4 – (1) İşveren, çalışanların işle ilgili sağlık ve güvenliğini sağlamakla yükümlüdür.’ Der.

2.6.2 İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmelik (T.C. Resmi Gazete, 2012)

‘MADDE 1 – (1) Bu Yönetmeliğin amacı, işyerlerinde iş sağlığı ve güvenliği yönünden yapılacak risk değerlendirmesinin usul ve esaslarını düzenlemektir

MADDE 4 – (1) Bu Yönetmelikte geçen;

e) Risk: Tehlikeden kaynaklanacak kayıp, yaralanma ya da başka zararlı sonuç meydana gelme ihtimalini,

f) Risk değerlendirmesi: İşyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikelerin riske dönüşmesine yol açan faktörler ile tehlikelerden kaynaklanan risklerin analiz edilerek derecelendirilmesi ve kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması amacıyla yapılması gerekli çalışmaları,

g) Tehlike: İşyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek, çalışanı veya iş yerini etkileyebilecek zarar veya hasar verme potansiyelini, ifade eder.

MADDE 5 – (1) İşveren; çalışma ortamının ve çalışanların sağlık ve güvenliğini sağlama, sürdürme ve geliştirme amacı ile iş sağlığı ve güvenliği yönünden risk değerlendirmesi yapar veya yaptırır. (T.C. Resmi Gazete, 2012)

MADDE 8 – (1) Tehlikeler tanımlanırken çalışma ortamı, çalışanlar ve işyerine ilişkin ilgisine göre asgari olarak aşağıda belirtilen bilgiler toplanır. (T.C. Resmi Gazete, 2012)

f) İşyerinde yanma, parlama veya patlama ihtimali olan maddelerin işlenmesi, kullanılması, taşınması, depolanması ya da imha edilmesinden kaynaklanabilecek tehlikeler.' Der.

2.6.3 Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (T.C.Resmi Gazete, 2007)

'Bu Yönetmelik;

a) Ülkedeki her türlü yapı, bina, tesis ile açık ve kapalı alan işletmelerinde alınacak yangın önleme ve söndürme tedbirlerini,

b) Yangının ısı, duman, zehirleyici gaz, boğucu gaz ve panik sebebiyle can ve mal güvenliği bakımından yol açabileceği tehlikeleri en aza indirebilmek için yapı, bina, tesis ve işletmelerin tasarım, yapım, kullanım, bakım ve işletim esaslarını, kapsar.' Der.

Yanıcı ve parlayıcı sıvılar MADDE 113- (1) Yanıcı ve parlayıcı sıvılar tanımlanır.

Tehlikeli Bölgeler Tanımlanır Madde 116 ve Sınıflandırılır Madde 117.

2.6.4 Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik (T.C.Resmi Gazete, 2013)

Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmeliğin 6. Maddesi gereğince "Patlama riskinin değerlendirilmesi" gerekmektedir.

Yönetmelikte;

'Patlamaların önlenmesi ve patlamadan korunma

MADDE 5 – (1) İşveren, patlamaların önlenmesi ve bunlardan korunmayı sağlamak amacıyla, yapılan işlemlerin doğasına uygun olan teknik ve organizasyona yönelik önlemleri alır. Bu önlemler alınırken aşağıda belirtilen temel ilkelere ve verilen öncelik sırasına uyulur;

a) Patlayıcı ortam oluşmasını önlemek,

b) Yapılan işlemlerin doğası gereği patlayıcı ortam oluşmasının önlenmesi mümkün değilse patlayıcı ortamın tutuşmasını önlemek,

c) Çalışanların sağlık ve güvenliklerini sağlayacak şekilde patlamanın zararlı etkilerini azaltacak önlemleri almak.

(2) Birinci fıkrada belirtilen önlemler, gerektiğinde patlamanın yayılmasını önleyecek tedbirlerle birlikte alınır. Alınan bu tedbirler düzenli aralıklarla ve işyerindeki önemli değişikliklerden sonra yeniden gözden geçirilir.

Patlama riskinin değerlendirilmesi

MADDE 6 – (1) İşveren, 29/12/2012 tarihli ve 28512 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliğine uygun risk değerlendirmesi çalışmalarını yaparken, patlayıcı ortamdan kaynaklanan özel risklerin değerlendirmesinde aşağıdaki hususları da dikkate alır: (T.C.Resmi Gazete, 2013)

a) Patlayıcı ortam oluşma ihtimali ve bu ortamın kalıcılığı,

b) Statik elektrik de dâhil tutuşturucu kaynakların bulunma, aktif ve etkili hale gelme ihtimalleri,

c) İşyerinde bulunan tesis, kullanılan maddeler, prosesler ile bunların muhtemel karşılıklı etkileşimleri,

ç) Olabilecek patlama etkisinin büyüklüğü.

(2) Parlama veya patlama riski değerlendirilirken patlayıcı ortamların oluşabileceği yerlere açık olan veya açılabilen yerler de dikkate alınarak bir bütün olarak değerlendirilir.

İşyerinin güvenli hale getirilmesi

MADDE 7 – (1) Kanunun 5 inci maddesinde yer alan risklerden korunma ilkelerine ve bu Yönetmeliğin 5 inci maddesinde belirtilen hususlara uygun olarak çalışanların sağlık ve güvenliğini korumak için işveren: (T.C.Resmi Gazete, 2013)

a) Çalışanların ve diğer kişilerin sağlık ve güvenliği için tehlike arz eden patlayıcı ortam oluşma ihtimali olan yerlerde güvenli çalışma şartlarını sağlar.

b) Yapılan risk değerlendirmesi sonucuna göre, çalışanların sağlık ve güvenliği için tehlike arz eden patlayıcı ortam oluşma ihtimali bulunan yerlerde, çalışma süresince uygun teknik önlemleri aldırarak, bu kısımların gözetim altında tutulmasını sağlar.

MADDE10 – (1) İşveren, 6'ncı maddede belirtilen yükümlülüğünü yerine getirirken, ikinci fıkrada belirtilen hususların yer aldığı Patlamadan Korunma Dokümanını hazırlar.' Bilgileri ve yükümlülükleri yer almaktadır.

2.6.5 EN 60079 Patlayıcı Gaz Ortamlarında Tehlikelerin Sınıflandırılması

EN 60079 standardı, patlayıcı gaz ortamlarının oluşabileceği alanların sınıflandırılması ve bölgenin belirlenmesi için hazırlanmış bir kılavuzdur. Standart yanıcı malzemeler, süreçler ve özellikleri bilgisi olmadan sınıflandırmanın yapılamayacağını, bu standart alan sınıflandırması için bir öneride bulunduğunu ve sınıflandırmanın tasarım mühendisi, güvenlik, makine ve diğer mühendislik personelinin kontrolünde yapılmasını tavsiye eder. (Özkılıç, Atex Direktifleri Çerçevesinde Patlayıcı Ortam Sınıflandırma Ve Patlayıcı Ortam Risk Değerlendirmesi, 2008)

Standardın ana mantığı, patlayıcı alandaki kimyasalların yanıcılık seviyelerine, boşalma kaynaklarına, yayılım hızlarına ve bu alandaki havalandırma koşullarına göre patlayıcı alanı sınıflandırmaktır. (Özkılıç, Atex Direktifleri Çerçevesinde Patlayıcı Ortam Sınıflandırma Ve Patlayıcı Ortam Risk Değerlendirmesi, 2008)

Aynı zamanda olası yangın ve patlama senaryolarının etki mesafelerini ve tehlikeli bölgeleri önceden planlama aşamasında belirlemek; Acil Durum Müdahale aşamasında olaya müdahalenin etkili ve tehlikelerin bilincinde olarak güvenli mesafelerden yapılmasını ve tahliyelerin güvenli rotalardan yapılmasını sağlayacaktır. (Özkılıç, Atex Direktifleri Çerçevesinde Patlayıcı Ortam Sınıflandırma Ve Patlayıcı Ortam Risk Değerlendirmesi, 2008)

2.7 Dimetil Eter

2.7.1 Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Metil eter, metil oksit ve ahşap eter olarak da bilinen DME, renksiz bir sıvı veya sıkıştırılmış gazdır ve kimyasal formülü CH_3OCH_3 tür. (Nexant, 2008)

DME, atmosferik koşullar altında (0.1MPa ve 298 K) görünmez bir gaz halindeki eter bileşiği olarak bulunur. Ancak 25 ° C'de yaklaşık 0.5 MPa (5.1bar / 73 psi) buhar basıncının üzerinde basınçlandırma yoluyla sıvı fazına yoğunlaştırılabilir. (Klomp, 2015) (MESA Specialty Gases & Equipment, 2018)

Uçucudur fakat toksik, kanserojen, teratojenik ve mutajenik değildir. Görünür bir mavi alevle yanar ve kokusu gibi tatlı etere sahiptir. (Berkeley, 2015) DME saf halde ve aerosol formda peroksit oluşturmaz. (Arınan, 2010)

Tablo 2.6: DME'nin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri (OtoTeknik, 2020) (MESA Specialty Gases & Equipment, 2018)

Kimyasal Formül	CH_3OCH_3
C/H Oranı	0.5
Molekül Ağırlığı	46.06
Hava/Yakıt Oranı	9/1
Yoğunluk (sıvı) (20°C)	0.67 kg/l
Alt Isıl Değeri	28.3 Mj(kg)
Kaynama Noktası	-41°C
Tutuşma Sıcaklığı	235°C
Kendiliğinde Tutuşma Sıcaklığı	350 °C
Yanma Limiti (%)	3.4-17
Setan Sayısı	55-60
Elastisite Modülü	0.637 MPA
Yüzey Gerilimi (25°C)	0.012 N/m
Buhar Basıncı (25°C')	530 kPa
Sıvı Vizkositesi (25°C)	0.12-0.25 kg/ms
Kritik Sıcaklık	127 °C
Kritik Basınç	5.37 MPa
Kritik Yoğunluk	259 kg/m^3

2.7.2 Yakıt Olarak Kullanımı ve Diğer Yakıtlarla Karşılaştırma

DME'in yüksek setan sayısı, düşük kaynama noktası ve yüksek oksijen içeriği (ağırlıkça%35), hızlı buharlaşma ve dumansız çalışmayı sağlayan önemli yakıt özellikleridir. (Çelik, 2012)

DME sülfür içermediği için yanma sonucunda SO_x oluşumu meydana gelmez. Ayrıca çevreye zararlı farklı partiküllerde oluşmaz. (OtoTeknik, 2020)

Oda sıcaklığı ve atmosfer basıncında gaz fazında olan DME yüksek buharlaşma basıncına ve düşük kaynama sıcaklığına sahiptir. DME'nin yanma limiti aralığı diğer yakıtlara göre daha geniştir.

DME'nin 0.12 ile 0.15 kg/ms arasında değişen sıvı viskozite değeri propan ve bütan ile kıyaslandığında çok yakındır. Bu nedenle propan ve bütandan oluşan LPG, DME ile benzerlik göstermektedir. Bu nedenlerle mevcut LPG depolama ve taşıma tesisleri ve teknolojileri kullanılabilir. Deneyler, aşırı tank basıncını önlemek için tahliye vanalarının kullanıldığı 9 bar'lık tanklarla gerçekleştirilmiştir. Araştırmalara göre, DME tank yükleri benzin tanklarından %66 daha büyük olacak ve %47'ye kadar ağırlığa sahip olacaktır. (OtoTeknik, 2020)

Doğal gazla karıştırıldığında -25 °C veya 6.1 atm basınçta sıvılaştırılan, sıvılaştırma için -161 °C'ye soğutulması gereken DME, sıvılaştırılmış doğal gaza göre çok avantajlı bir yapıya sahiptir. Bu özelliği ile DME, sıvılaştırılmış doğal gaz üretiminin ekonomik olmadığı yerlerde küçük veya orta ölçekli doğal gaz sahalarının değerlendirilmesini sağlar. Tablo 2.6, DME'nin fiziksel ve kimyasal özelliklerini yakıtlarla karşılaştırır. (OtoTeknik, 2020)

Tablo 2.7: DME'nin Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Diğer Yakıtlarla Karşılaştırılması (Klomp, 2015) (OtoTeknik, 2020) (Japan DME Accociation, 2020) (Ohno, 2011)

Özellik	DME	Metan	Propan	Metanol	Gaz yağı
Kimyasal Formül	CH_3OCH_3	CH_4	C_3H_8	CH_3OH	-
Kaynama Noktası (°C)	-25.1	-161.5	-42.0	64.6	180～360
Sıvı Yoğunluğu (g/cm^3,20°C)	0.67	-	0.49	0.79	0.84
Gaz yoğunluğu (vs. AIR)	1.59	0.55	1.52	-	-
Buhar Basıncı (MPa,25°C)	0.6	-	0.9	-	-
Kendiliğinden Tutuşma Noktası (°C)	235	650	470	450	250
Patlama Limiti (%)	3.4～27	5～15	2.1～9.4	5.5～36	0.6～7.5
Setan sayısı	55～60	0	5	5	40～55
Isıl Değer (MJ/kg)	28.8	50.2	46.4	20.1	42.7
Isıl Değer (MJ/m^3)	59.2	35.8	90.9	-	-
Sıvı Viskozitesi (cP, 20°C)	0,15	0,02	-	0,535	-

Oda sıcaklığı ve atmosfer basıncında gaz fazında olan DME yüksek buharlaşma basıncına ve düşük kaynama sıcaklığına sahiptir. DME'nin ısıl değerinin konvansiyonel yakıtlarla karşılaştırıldığında önemli derecede düşük olması DME ile çalışan motorlarda yakıt destek sistemlerinin, enjeksiyon sistemlerinin ve yanma istemlerinin yeniden dizayn edilmesini veya modifiye edilmesini gerektirmektedir. (OtoTeknik, 2020) %100 DME depolarken propan tarzı tanklar depolama için kullanılabilir, ancak contalar değiştirilmelidir. Pişirme yakıtı için uluslararası olarak kullanılan LPG- DME karşımı %80 propan %20 DME 'dir. (Berkeley, 2015)

Tablo 2.8: Belli Oranlarda Karıştırılan LPG/DME Karışımı Testi Sonuçları (Klomp, 2015)

DME/LPG cooking trial

group	sample	Efficiency% measured	Efficiency% Ave	Flue gas %		
				O_2	CO	NOx
1	LPG(10%C3+90%C4)	56.1	55.85	7.52	0.018	0.005
		55.6				
	80%LPG(10%C3+90%C4)+20% DME	57.9	58.35	8.76	0.0142	0.0049
		58.8				
2	LPG(25%C3+75%C4)	57.7	57.1	7.47	0.0117	0.0054
		56.5				
	80%LPG(25%C3+75%C4)+20% DME	58.1	57.85	8.87	0.0221	0.0043
		57.6				

Dimetil eterin setan değerinin yüksek olması dizel motorlarda DME kullanımını avantajlı hale getirmektedir. Bu sayede motor verimliliği dizel yakıtınki ile rekabet edebilecektir.. Uçuculuğu ve tutuşmaya hazır durumu hava/yakıt karışımı hazırlanmasında dizele karşı bir avantaj sağlar niteliktedir. DME, nispeten düşük yakıt enjeksiyon basınçlarına izin veren düşük kaynama noktası nedeniyle enjeksiyon sırasında kolayca buharlaşır. Gerekli yakıt enjeksiyon basıncı, tam yükte sadece 220 atm'dir.1200 atm'den daha yüksek enjeksiyon basıncı gerektiren dizel motorlarla karşılaştırıldığında çok düşüktür. (OtoTeknik, 2020)

Tablo 2.9: Yakıt olarak kullanılan DME'in, Dizel Yakıt ile Karşılaştırılması (Makoś, 2019)

Avantajları	**Dezavantajları**
Yüksek oksijen içeriği- Dumansız yanma	Düşük yanma entalpisi
Düşük kaynama noktası- motor silindirine sıvı faz DME spreyi enjekte edildiğinde hızlı buharlaşır.	Düşük viskozite- enjektörün iğneleri ve kovanı arasındaki geleneksel film yatağının işlevini yerine getirememesini sağlayabilir ve bu, sızıntılara ve parçaların aşınmasına ve yıpranmasına neden olur.
Yüksek Setan Sayısı – Otomatik ateşleme için iyi bir yakıt	Düşük elastite modülü
Çok düşük emisyonlara ulaşabilir.	Düşük kaynama noktası – yakıtı sıvı halde tutmak için basınçlı bir sistemin kullanılmasını gerektirir.
Daha iyi enerji verimliliği	Düşük enerji içeriği – büyük yakıt tankı
Daha düşük egzoz gazı reaktivitesi	
Çok kaynaklı ve çok amaçlı yakıt	

Dizel yakıtının yarısı kadar enerjiye sahip olduğundan dolayı belli bir kullanım menzili için büyük depolama tanklarına ihtiyaç duyar. Mevcut dizel motorlar, motora dengeli yakıt enjeksiyonu sağlamak için gerekli bazı modifikasyonlarla DME kullanımına dönüştürülebilir. Diğer alternatif yakıtlara benzer şekilde DME, geleneksel dizel yakıt ve benzine göre birim hacim başına düşük enerji yoğunluğuna sahiptir, bu da motorlar için değil, aynı zamanda depolama tankları için de bazı modifikasyonların gerekli olduğu anlamına gelir. Aynı mesafeyi kat etmek için daha büyük depolama tankı hacimleri (yaklaşık 1,7 kat daha büyük yakıt hacmi) gereklidir. (Klomp, 2015) (OtoTeknik, 2020)

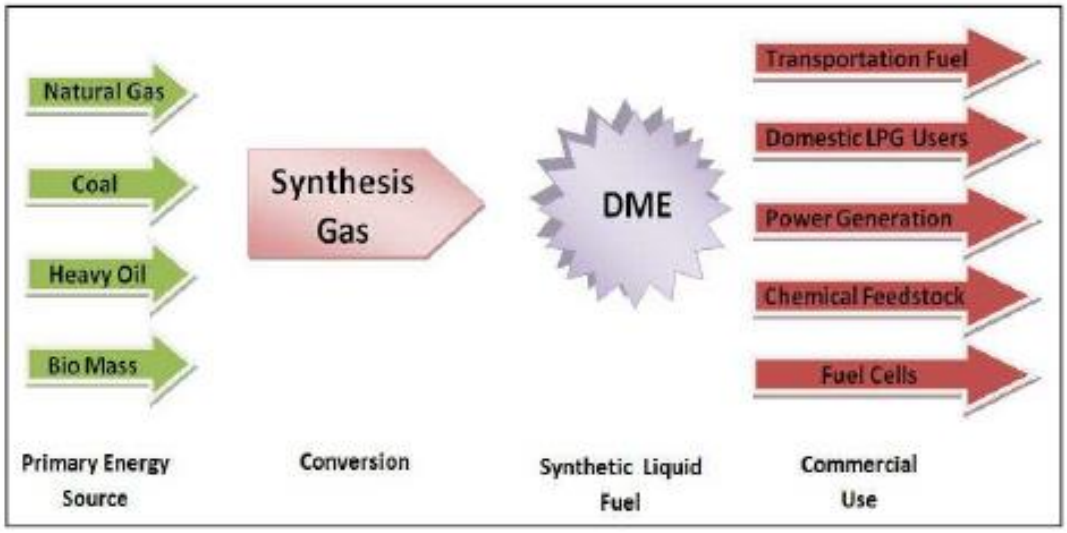
2.7.3 DME Üretimi ve Ekonomisi

DME üretimi için baskın hammadde doğal gazdır, karbon monoksit ve hidrojenin bir kombinasyonu olan sentez gazına dönüştürülür. Daha sonra sentez gazı, metanol (geleneksel işlem) yoluyla veya doğrudan bir adımda (Haldor Topsoe veya JFE Holdings) DME'ye dönüştürülür. (Arınan, 2010)

DME şunlardan türetilebilir:

- Doğal gaz
- Ham petrol
    - Propan
    - Artık yağ
    - Kağıt hamuru ve kağıt atıkları
    - Tarımsal yan ürünler
    - Belediye atığı
    - Şalt çimi gibi yakıt bitkileri
    - Kömür

- Orman ürünleri ve hayvan atıkları gibi biyokütle (Arınan, 2010)

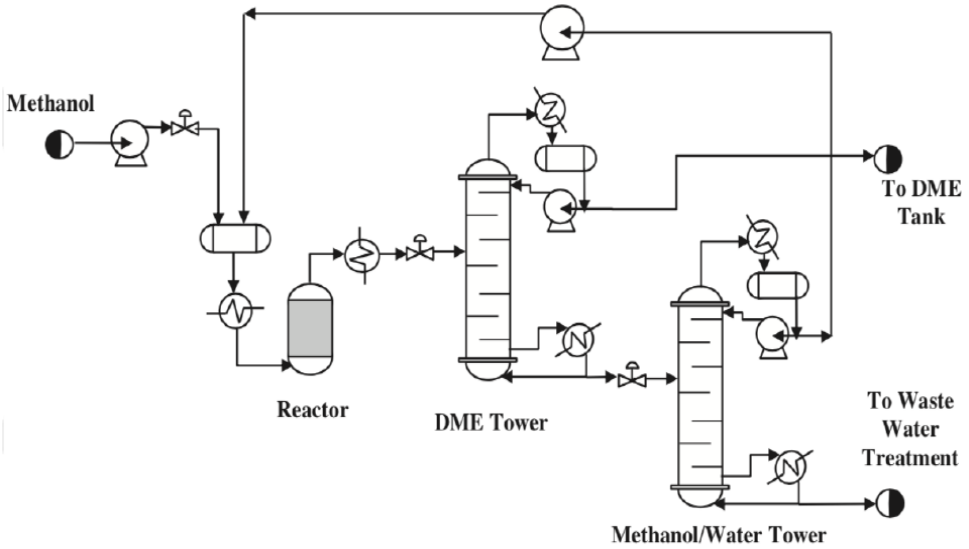


Şekil 2.10: Dimetil Eter Kullanımı (Çiftçi, 2009)

Üretim yapılan bazı ülkeler, üretim yöntemleri ve ham madde aşağıda verilmiştir.

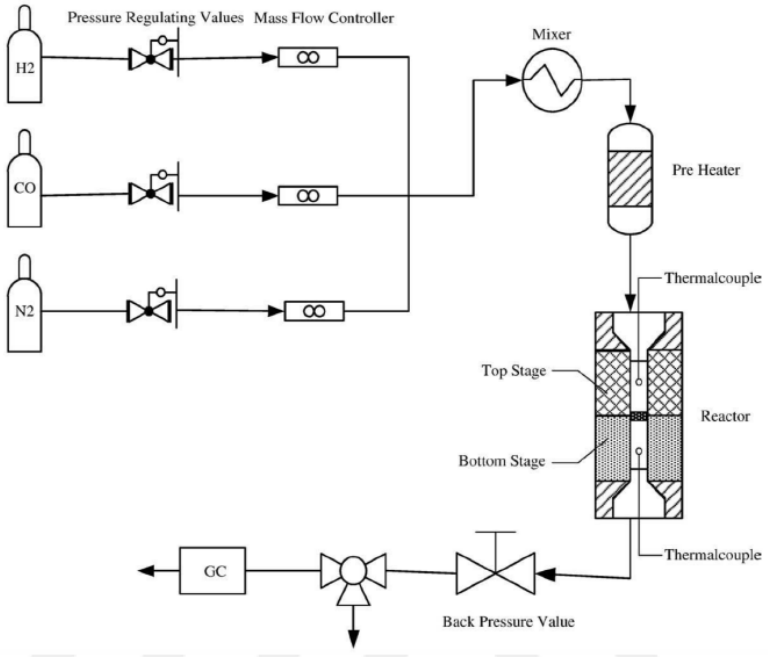
- Orta Doğu, Metanol Dehidrasyonu, İki Aşamalı İşlem, Doğal Gaz
- Çin, Metanol Dehidrasyonu, İki Aşamalı İşlem, Kömür
- Orta Doğu, Tek Adımda Proses, Doğal Gaz
- Çin, Tek Adımda Proses, Kömür
- USGC, LPDME Prosesi, Doğal Gaz (Arınan, 2010)

Dimetil eter üretimi minimum iki adım gerektirir. İlk adım, hidrokarbonların, karbon monoksit ve hidrojenin bir kombinasyonundan oluşan sentez gazına dönüştürülmesidir. Sentez gazı daha sonra iki olası yol izlenerek DME'ye dönüştürülür. Geleneksel yöntem, Şekil 3'te gösterildiği gibi metanol dehidrasyonudur. Bu yolda, sentez gazı (karbon monoksit ve hidrojen içeren) metanole dönüştürülür. Daha sonra metanol, metanol dehidrasyon reaksiyonu ile DME'ye dönüştürülür. Şu anda DME üretimi metanol dehidrasyonu ile elde edilmektedir. (Çiftçi, 2009)



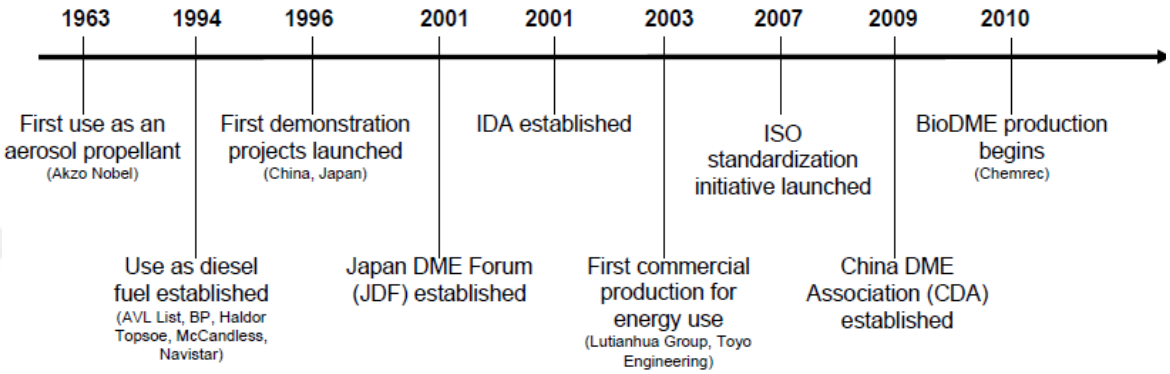
Şekil 2.11: Metanol Dehidrasyonu İle DME Sentezi (Öztürk, 2015)

İkinci yöntem, DME'nin sentez gazından doğrudan sentezidir (Şekil 4). Bu yolda, metanol dehidrasyon aşaması ortadan kaldırılır ve sentez gazı doğrudan DME'ye dönüştürülür. Metanol sentezi ve dehidrasyon adımlarının tek bir süreçte (direkt sentez prosedürü) birleştirilmesiyle DME üretimi geliştirme aşamasındadır. (Çiftçi, 2009).



Şekil 2.12: DME'in Doğrudan Sentezi (C. & N., 2020)

Doğrudan metanolden türetilen kömür, doğal gaz, biyokütle vb. Veya indirgeyici CO_2 geri dönüşümü gibi çeşitli hammaddeler DME üretiminde kullanılabilir. DME üretimi için yaygın olarak kullanılan hammadde doğal gazdır. DME için küresel talep yılda 150000 ton olarak verildi. (2006) Ancak yakıt olarak büyük miktarlarda DME kullanılacaksa talebin çok daha yüksek olacağı belirtildi. (Çiftçi, 2009)



Şekil 2.13: DME Sektörü Gelişim Dönüm Noktaları (Internationa DME Association, 2010)

Metanol Enstitüsü'ne göre, Çin 2015 yılında dünyanın en yüksek değeri olan 3,8 milyon ton DME üretti. (Çiftçi, 2009) Bugün (2019) DME'nin dünya üretimi yılda yaklaşık 5 milyon tondur ve esas olarak metanol dehidrasyonu yoluyla üretilir. (Japan DME Accociation, 2020)

Biyo bazlı ve Sentetik Dimetil Eter Pazar büyüklüğünün 2018 yılında 5,9 milyar ABD doları olduğu tahmin edilmektedir ve 2019 ile 2025 arasında %8,5'ten fazla bir büyüme oranına tanık olacaktır. (Pulidindi & Pande, 2019)Türkiye'de TARKİM 2008 yılında DME Üretim tesisi kurup üretime başlamıştır. (TARKİM, 2020)

Tablo 2.10: ABD DME Üretim Raporu (Pulidindi & Pande, 2019)

RAPOR KAPSAMI	**AYRINTILAR**		
Rapor Yılı	2018	Pazar Büyüklüğü (2018)	5.9 Milyon (USD)
Tarihsel Veri	2014 -2018	Tahmin Yılları	2019- 2025
Tahmin Yılları 2019 to 2025 CAGR:	8.5%	2025'te Beklenen Büyüklük	10.8 Milyon (USD)
Kapsanan Ülkeler	U.S., Canada, Germany, UK, France, Spain, Italy, Russia, China, India, Japan, Australia, Indonesia, Malaysia, Brazil, Mexico, Trinidad & Tobago, South Africa, Saudi Arabia, UAE, Iran, Qatar		
Kapsanan Segmentler	Ham madde, Uygulama, Bölge		
Kapsanan Şirketler	Akzo Nobel NV, China Energy Ltd, Korea Gas Corporation, Royal Dutch Shell PLC, Mitsubishi Corporation, Shenhua Ningxia Coal Industry Group Co., Oberon Fuels, Inc., Fuel DME Production Co. Ltd, Grillo-Werke AG, Guangdong JOVO Group Co. Ltd,		

DME yakıtının yaygınlaşmasını teşvik etmeyi amaçlayan dokuz şirket; Mitsubishi Gas Chemical, ITOCHU, JAPEX, Taiyo Oil, Total Di-Methyl Japan, Toyota Tsusho, JGC, Mitsubishi Heavy Industries ve Mitsubishi Chemical, bir ortak girişim şirketi "Fuel DME Production Co. Ltd." kurdu. Yıllık 80.000 ton DME üretmek için (100.000 tona kadar potansiyel) DME üretim tesisi Mitsubishi Gas Chemical'ın Niigata fabrikasında inşa edildi ve Ağustos 2008'de faaliyete geçti. (Japan DME Accociation, 2020)

Çin'in Ulusal Gelişimi ve Reform Komisyonu, 2020 yılına kadar 20 milyon ton DME üretim kapasitesine ulaşacağını bildirdi. (Klomp, 2015) Mart 2020'de, Çin'de DME için fiyat yaklaşık 2.790.000 RMB / ton (356.07 €/ ton) dur. (C. & N., 2020)

Güney Kore, dimetil eterin 21. yüzyıl için potansiyel bir alternatif enerji kaynağı olarak ticarileştirmenin tüm yönlerini araştırmayı sürdürüyor. (Klomp, 2015)

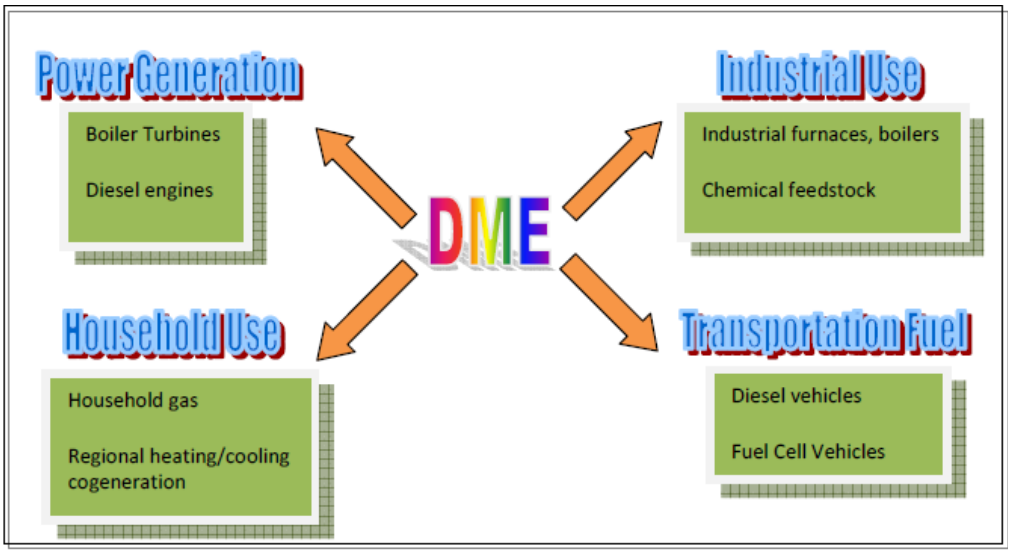
İsveç'te, Chemrec, BioDME'yi üretmek için siyah likör gazlaştırmayı kullanıyor.2013 yılında, BioDME projesi üretilen yüzlerce ton gelişmiş biyoyakıt ve test filosu ile 600.000 milden fazla biriktirdi ve başarıyla sonuçlandırıldı. (Klomp, 2015)

AB, 2030 için potansiyel bir biyoyakıt karışımı düşünürken, BioDME pazarının önemli ölçüde artması bekleniyor. DME ve BioDME için büyüyen küresel üretim kapasitesi, metanol için genişleyen ve dinamik pazarlar anlamına gelir.Uluslararası DME Derneği, DME'nin tüketici maliyetinin LPG'nin kabaca%75 ile %90'ı olduğunu belirtiyor. (Klomp, 2015)

2.7.4 Kullanım Alanlar

DME, farklı birincil enerji kaynaklarından sentezlenebilir ve çeşitli önemli ticari uygulamalar için kullanılabilir (Şekil 1). (Arınan, 2010)

Daha önce bahsedildiği gibi DME, düşük NOx ve SOx emisyonlarının, yüksek motor verimliliğinin ve daha sessiz motorların gerekli olduğu ulaşım için ideal bir dizel yakıt alternatifi olarak kullanılabilir. (Arınan, 2010)



Şekil 2.14: Dimetil Eterin Kullanım Alanları (Çiftçi, 2009)

DME, Wobe indeksi ve termal verimlilik gibi doğal gazla benzer özelliklere sahiptir. Wobe indeksi, gaz halindeki yakıtın kalorifik değerinin akış direncine oranını gösterir

ve bu değer, doğal gazla hemen hemen aynı olan DME için 52 ila 54'tür. (OtoTeknik, 2020) Bu nedenle DME, doğalgaz kullanımına uygun olarak tasarlanmış ekipmanlarda herhangi bir değişiklik yapılmadan pişirme ve ısıtma amaçlı kullanılabilir. (Arınan, 2010)

Aslında DME, ozon tabakası üzerinde istenmeyen etkileri olan kloroflorokarbonların (CFC'ler) yerini almak için sprey kutusunun aerosol itici maddesi olarak kullanılmıştır. (Arınan, 2010)Ayrıca DME, soğutucu akışkan olarak kullanılabilmesi için fazını kolaylıkla sıvıdan gaza değiştirebilir. (Berkeley, 2015)

DME, olefin gibi birçok önemli kimyasal ürünün üretiminde mükemmel bir hammaddedir. Olefin üretiminin yanı sıra DME, metanolden yeni üretilen kimyasal ürünler için hammadde olarak kullanılabilir. (Arınan, 2010)Ayrıca DME'nin entalpi değeri metanolden daha düşüktür, dolayısıyla aynı kimyasalın üretimi için hammadde olarak metanol yerine DME kullanıldığında reaksiyon ısısı daha düşük olacaktır. (Arınan, 2010)

3. ARAÇ VE YÖNTEM

Yangın ve patlama etki mesafelerini hesaplamak için ALOHA programı matematiksel hesaplamalar yapması ve sayısal sonuçlar elde etmesinden dolayı nicel araştırma yöntemi olarak seçilmiştir.

Bu çalışmada ulusal ve uluslararası yayınlar ve mevzuatlar incelenerek literatür çalışması yapılmıştır. Ayrıca bu çalışmada ALOHA programı DME tankında oluşabilecek bir sızıntı senaryosunun yangın ve patlama etkilerinin hesaplanması ve değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu değerlendirmeler yapılırken binaların yangından korunması hakkındaki yönetmelik, çalışanların patlayıcı ortamların tehlikelerinden korunması hakkındaki yönetmelik ve iş sağlığı ve güvenliği yönetmeliği göz önünde bulundurulmuştur. Çalışmada kullanılan veriler tahmini olmakla beraber literatür araştırmaları neticesinde elde edilerek kullanılmıştır.

3.1 ALOHA

ALOHA (Tehlikeli Atmosferlerin Bölgesel Konumları), Çevre Koruma Ajansı Acil Durum Yönetimi Ofisi (EPA) ile İş birliği içinde Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA) içinde bir bölüm olan Acil Müdahale Bölümü 1 (ERD) tarafından geliştirilmiş; kazara dökülen kimyasal dökülmeler sırasında, toksik hava tehlikeleri, yangınlardan kaynaklanan termal radyasyon ve patlama etkileriyle ilişkili insan popülasyonları riskini değerlendirmek amacıyla acil müdahale ekipleri ve planlayıcılar yardımcı olmak tasarlanmış bir bilgisayar programıdır. (Jones R., 2013) (NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), 2014) (NOAA’s National Ocean Service; Office of Response and Restoration, 2020)



Şekil 3.1: NOAA ve EPA Logoları (EPA(United States Environmental Protection Agency), 2020)

Birincil amacı, kimyasal dökülmelerle ilişkili bazı yaygın tehlikelerin mekansal kapsamına ilişkin acil durum müdahale personeli tahminlerini sağlamaktır. ALOHA, uçucu ve yanıcı kimyasalların kısa süreli kazara salınmasıyla ilişkili bazı tehlikelerin mekansal kapsamına ilişkin tahminler sağlar. ALOHA, toksik kimyasal buharların solunması, kimyasal yangınlardan kaynaklanan termal radyasyon ve buhar-bulut patlamalarından kaynaklanan basınç dalgasının etkileri ile bağlantılı insan sağlığı tehlikeleriyle özel olarak ilgilenir. ALOHA, bu özellikleri ve sonuç çıktılarının ilgisi sebebiyle İş Sağlığı ve Güvenliği çalışmalarında da yaygın olarak kullanılabilmektedir. (Slil, 2019) (Jones R., 2013)

3.1.1 ALOHA Program Özellikleri ve Çalışma Biçimi

ALOHA, birleşik devletler çevre ve koruma ajansı tarafından, kimyasal maddelerin, acil durumlarını planlamak ve karşı önlemler almak için kullanılan bir tehlike modelleme programıdır.

İlk aşamada çeşitli senaryolardan boşalma hızı hesaplanır: tanklar, havuz – dayklar, gaz boru hatları, bacalar vb. Boşalmanın zamana göre değişimi ayrıca hesaplanır. Senaryo tipine göre karada veya deniz üzerinde kaçak yapan sıvının yayılması ve buharlaşma miktarları hesaplanır. Her bir tehlike – felaket türü senaryo tipine göre etkileri için değerlendirilir: (Slil, 2019) (Jones R., 2013)

- Toksisite,
- Yanıcılık,

- Termal Radyasyon
- Fazla Basınç

Her bir senaryoda coğrafi bilgiler, senaryoya özel bilgiler, kimyasal madde bilgileri, meteoroloji bilgileri beraber değerlendirilir ve senaryoya göre seçilen algoritma arka planda seçilerek sonuç – etki hesaplamaları yapılır. (Slil, 2019) (Jones R., 2013)

ALOHA, gerçek ya da potansiyel kimyasal yayılımların hakkında detaylar girilmesini ve tehdit bölgelerinin çıkmasını sağlamaktadır.

Modelleme için gerekli veriler;

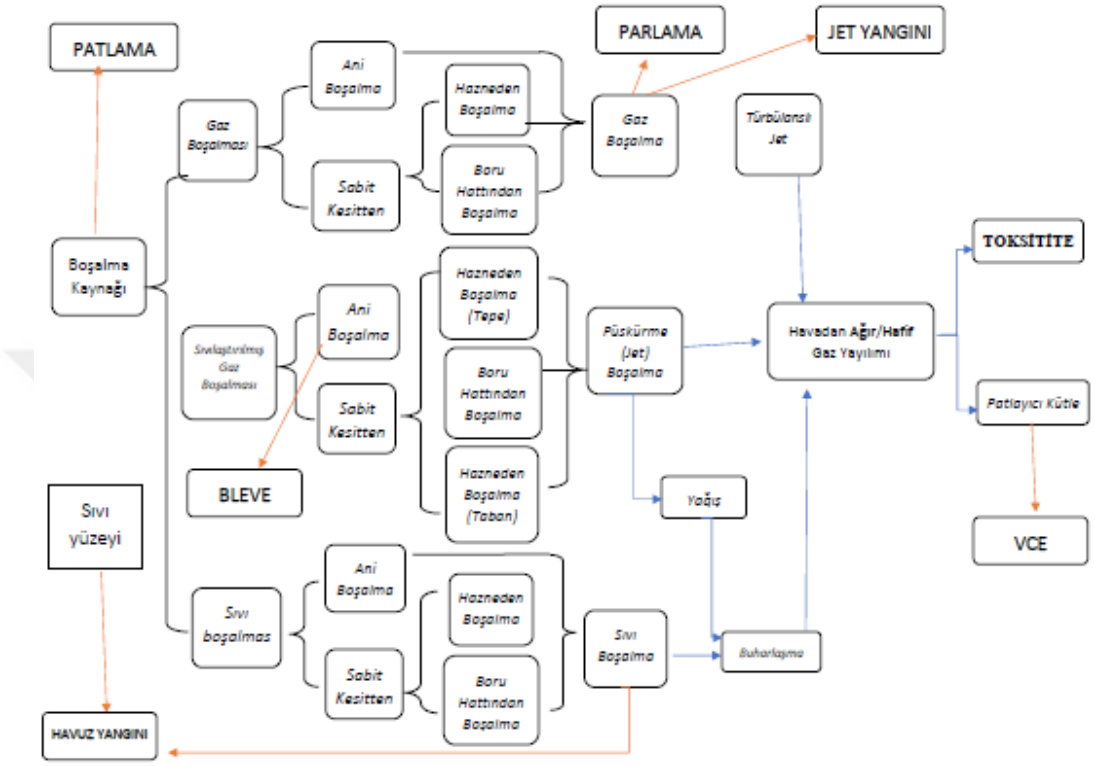
- Bina tipi ve çevresel özellikleri
- Kimyasal türü, -saf veya karışım olup olmadığı
- Kaynak tipi olarak;
  - Direkt,
  - Tank,
  - Birikinti,
  - Boru Hattı
- Atmosferik özellikler olarak;
  - Rüzgâr hızı,
  - Rüzgâr yönü,
  - Rüzgâr ölçüm yüksekliği,
  - Ortam pürüzlülüğü,
  - Bulutluluk oranı

Girildikten sonra istenilen modelleme yapılarak tehlike zonları ve etki alanları hesaplanabilmektedir. (Olgun, 2019) (NOAA’s National Ocean Service; Office of Response and Restoration, 2020)

Modellediği tehlikeler;

- Zehirli gaz bulutları
- Yanıcı gaz bulutları
- BLEVE

- Jet yangınları
- Havuz yangınları
- Buhar bulutu patlamalarıdır.



Şekil 3.2: Senaryolar (Kepekli, Yangınlarda Oluşan Termal Radyasyon Etkisinin Modellenmesi, 2019)

Tehdit bölgesi, kırmızı, turuncu ve sarı renklerle bir ızgarada gösterilmekte, Google Earth ve haritalarda çizimi yapılabilmektedir. Kırmızı renk en kötü tehlike seviyesini göstermekte, turuncu ve sarı renklerle ise azalan tehlike alanları temsil edilmektedir. (Olgun, 2019) (NOAA's National Ocean Service; Office of Response and Restoration, 2020)

Tüm modelleme metodolojisi ve algoritmalar açık kaynak statüsünde olup, çeşitli bilimsel yayın kuruluşlarından veya internet adreslerinden erişime açıktır. (Slil, 2019) (Jones R., 2013)

En tipik bazı senaryolarda kullanılan metodoloji aşağıda verilmiştir: (Slil, 2019) (Jones R., 2013)

- Sıvı kaçağı: Bernoulli denklemi
- Gaz kaçağı: LEAKR: Belore, Buist, 1986
- Jet Yangını: Chamberlain, 1987
- Boru Hattı: Wilson, 1981
- Sıvı Yüzeyi Yangını: Moorhouse and Pritchard, 1982
- 2 fazlı Boşalma: Fauske, 1985; DIERS: Fisher, vd. 1992; Cook vd., 1990
- BLEVE: AICHE, 1994
- Buhar Bulutu Patlaması: Baker-Strehlow-Tang (BST), 1994; Pieororazio, 2006
- Atmosferik Dağılım (Havadan Hafif Gaz): Gaussian: Palazzi vd., 1982
- Atmosferik Dağılım (Havadan Ağır Gaz): DEGADIS (Shell HEGADIS)
- Meteoroloji: Pasquill, Gifford, 1961; EPA, 1987; Turner, 1994; Raphael, 1962
- Yüzeyden Buharlaşma: Brighton, 1985; Briscoe, Shaw, 1980
- Toksisite Verileri: CAMEO, AEGL, ERPG (A.B.D.)
- Kimyasal Madde Verileri: DIPPR (U.S. AICHE

Tablo 3.1: ALOHA'da Modellenen Tehlike Kategorileri (Slil, 2019) (Jones R., 2013)

Senaryo Kaynak	**Doğrudan Kaynak**	**Tank**	**Su Birikintisi**	**Gaz Boru Hatta**
Buhar bulutu	Toksik buharlar	Toksik buharlar	Toksik buharlar	Toksik buharlar
Buhar bulutu (Ani yangın)	Yanıcı alan	Yanıcı alan	Yanıcı alan	Yanıcı alan
Buhar bulutu (patlama)	Aşırı basınç	Aşırı basınç	Aşırı basınç	Aşırı basınç
Havuz ateşi	NA	Termal radyasyon	Termal radyasyon	NA
BLEVE (Alev topu)	NA	Termal radyasyon	NA	NA
Jet Yangını	NA	Termal Radyasyon	NA	Termal Radyasyon

ALOHA'da veri girişi kullanımı kolay bir ara yüzde ilgili senaryo aşama pencerelerinde yapılmaktadır. Senaryolar aşamalarına ayrılır ve ilk aşamadan itibaren sırayla modellenir: (Slil, 2019) (Jones R., 2013)

- Kaçak (Baca, Buharlaşma, Tank, Boru Hattı vb.),
- Yayılma,
- Buharlaşma,
- Atmosferde Dağılma,
- Toksik konsantrasyon veya Patlayıcı Bulut Hesaplanması,
- Patlama Etkileri, vb. örnek olarak verilebilir.

Her senaryonun bu şekilde ayrı bir olay ağacı olup her bir aşamanın ana girdileri bir önceki aşamanın sonuçlarıdır. Bu şekilde senaryo aşamaları birbirleri ile ilişkilendirilir. (Slil, 2019) (Jones R., 2013)

Her senaryo, ilgili algoritmalar ile hesaplanıp modellendikten sonra öncelikle metin olarak çıktısı verilir. Sonuç çıktılarında ilgili etki türü;(yangın = termal radyasyon; patlama = fazla basınç; gaz bulutu = kimyasalın konsantrasyonu) büyüklükleri ve sonuç mesafeleri en önemli parametrelerdir. (Slil, 2019) (Jones R., 2013)

Fiziksel etki sayısal verileri ardından senaryoya göre bilinen hasar – zarar metodolojisine dayanarak hasar – zarar (yıkım, sağlık etkisi, ölüm oranı, yaralanma oranı, makine hasarı, vb.) verilerine dönüştürülür (örn: patlama sonucu ölüm mesafesi – toksisite sonucu 1 saat içerisinde kalıcı sağlık zararı, yangın sonucu 1 dk. içerisinde 1-2-3. derece yanık oluşumu). Dolayısıyla sonuçta hasar – zarar boyutları olay merkezine göre mesafelere bağlanarak küçük (min. 10 m.) – orta – büyük (max. 10 km.) ölçekte coğrafi değişimi hesaplanır. (Slil, 2019) (Jones R., 2013)

Kapsamlı bir kimyasal özellik verileri kitaplığı ve bir kimyasalın çevreden salındığı ve buharlaşma hızını değerlendiren modeller ile ALOHA, kaynak kuvvet modellerini havadaki tehlikelerin mekansal kapsamını tahmin etmek için hava dağılım modellerine bağlar. (Jones R., 2013)

Zehirli buharlara, yanıcı bir atmosfere, buhar bulutu patlamasından kaynaklanan aşırı basınç veya bir yangından kaynaklanan termal radyasyona maruz kalma olasılığının bulunduğu bölge grafiksel olarak tehdit bölgeleri olarak gösterilir. Tehdit bölgeleri, yer seviyesinde maruz kalmanın, serbest bırakılmanın başlamasından bir süre sonra, kullanıcı tarafından belirtilen endişe düzeyini aştığı alanı temsil eder. Tehdit

bölgesindeki tüm noktalar, serbest bırakılmayı takip eden bir zamanda endişe seviyesini aşan geçici bir maruziyet yaşar; zaman içinde öngörülen tepe maruziyetinin bir kaydıdır. Tehdit bölgeleri 100 ila 10.000 metre aralığındadır. (Jones R., 2013)

3.1.2 ALOHA Programı İçin Gerekli Parametreler

Kimyasal Madde Parametreleri: Moleküler ağırlık, kaynama noktası, toksisite, parlama noktası, erime noktası, yoğunluk, özgül ısı, alt patlama limiti, üst patlama limiti, yanma ısısı gibi (EPA(United States Environmental Protection Agency), 2020)

Ortam Parametreleri: Boşalma kaynağı tipi (tank, havuz – dayk, boru hattı, baca), tank uzunluğu, çapı, yüksekliği, hacmi, dayk alanı, bağlantı çapı, dayk zemin tipi, zemin pürüzlüğü, ortamda engellerin varlığı – yüksekliği, delik oluşabilecek noktanın tank tabanından yüksekliği, delik çapı vb. (EPA(United States Environmental Protection Agency), 2020)

Meteorolojik Parametreler: Ortam sıcaklığı, rüzgar hızı, rüzgar yönü, ortam nemlilik oranı, hava basıncı, güneş termal radyasyonu, atmosferik stabilite sınıfı vb. (EPA(United States Environmental Protection Agency), 2020)

Atmosfer herhangi bir zamanda, diğer faktörler gibi gelen solar radyosyon miktarına bağlı olarak daha fazla veya daha az türbülanslı olabilir. Meteoroloji, her biri atmosferde farklı türbülans dereceleri ile ifade edilen 6 atmosferik kararlılık sınıfı ile tanımlanır. (Background on Atmospheric Stability Classes, 2020)

- **Kararsız A ve B:** Solar radyasyon güçlü geldiğinde yere yakın havayı ısıtırarak yükseltir ve büyük girdaplar meydana getirir; atmosfer kararsız olarak kabul edilir (nispeten çalkantılı). Kararsız olan koşullar atmosferik kararlılık sınıfları A ve B ile ilişkilidir.
- **Nötral C ve D:** Kararlılık sınıfları C ve D daha nötral kararlılık koşullarını temsil eder (orta türbülans). Doğal koşullar güçlü rüzgar hızı ve orta solar radyasyon ile ilişkilidir.
- **Stabil E ve F:** Solar radyasyon nispeten zayıf veya yok olduğunda, yüzeye yakın havanın yükselmesi azalan bir eğilim gösterir ve daha az türbülans meydana getirir.

Bu durumda, atmosfer stabil sayılır (daha az çalkantılı), rüzgar zayıf ve kararlılık sınıfı E veya F olarak tanımlanır.

Senaryo Parametreleri: Tutuşma zamanı, buharlaşma devam süresi, senaryonun şiddetine göre boşalma kaynağında gerçekleşebilecek olayların belirlenmesi ve boşalma hızının tespiti, ani veya kısa sürede boşalma, sabit bir delik çapından daha uzun bir zaman içinde boşalma gibi. (EPA(United States Environmental Protection Agency), 2020)

3.1.3 Kimyasal Salınım Kaynakları

Bir kimyasal maddenin havadan yayılma hızı, toksik veya yanıcı bir bulutun büyüklüğü ve süresi için çok önemlidir. ALOHA, bir kimyasalın hapsolmadan salındığı ve atmosfere girme hızını tahmin etmek için çeşitli modeller kullanır; bunlara kaynak gücü modelleri denir. ALOHA ile, dört genel kimyasal salım sınıfı veya kaynağı için kaynak gücünü tahmin edilebilir. Bunlar: (Jones R., 2013) (EPA(United States Environmental Protection Agency), 2020)

Doğrudan: Tek bir noktadan havaya anlık veya sürekli kimyasal buhar yayılması. Yükseltilmiş bir serbest bırakmaya izin veren tek seçenek budur. Doğrudan bir kaynak seçeneği, havaya giren kimyasal buhar miktarını uzayda bir noktadan doğrudan belirlenmesini sağlar.

Su birikintisi: Kaynamış olmayan veya kaynamış bir sıvı içeren sabit alanlı bir su birikintisi. Su birikintisi seçeneği kullanılarak, uçucu kimyasalların buharlaşmasını sabit alandaki bir su birikintisinden modellenebilir.

Tank: Zemin seviyesinde silindirik veya küresel bir tank, tek bir delik veya sızıntı yapan vana. Tank, bir sıvı, basınçlı gaz veya basınç altında sıvılaştırılmış gaz içerebilir. Tank içerikleri doğrudan atmosfere kaçabilir veya önce bir yayılma buharlaşma havuzu oluşturur. ALOHA, bir tankın patlaması sonucu havaya salınan madde miktarını tahmin edebilir. ALOHA, basınçlı gazlar, ortam basıncındaki sıvılar, soğutma ile sıvılaştırılmış gazlar ve basınç altında sıvılaştırılmış gazlar içeren tankları işlemektedir.

Gaz boru hattı: Çok büyük bir hazneye bağlı veya herhangi bir depolama kabına bağlı olmayan, gaz içeren basınçlı bir boru. Sadece boru kopuklarından salınan saf gaz ALOHA tarafından kabul edilir.

3.1.4 ALOHA Modellemeleri

ALOHA, iki modelleme kullanmaktadır. Birincisi Gauss modellemesi, ikincisi Ağır gaz modellemesi.

Gauss Modeli

ALOHA, Gauss modelini kullanarak, hava kadar kütleli olan gazların atmosferde nasıl dağılacağını tahmin etmek için kullanır. Bu tür nötr yüzer gazlar hava ile yakalık aynı yoğunluğa sahiptir. Bu modele göre, rüzgar ve atmosferik türbülans, serbest bırakılan bir gazın moleküllerini havada hareket ettiren kuvvetlerdir; bu nedenle, dışarı çıkan bir bulutun rüzgarı üflenirken, "türbülanslı karışım", çapraz rüzgar ve yukarı yönde yayılmasına neden olur. (Jones R., 2013)

Gauss modeline göre, hareketli kirletici bir bulutun herhangi bir çapraz rüzgar dilimindeki gaz konsantrasyonunun grafiği, merkezde yüksek (konsantrasyonun en yüksek olduğu yerde) ve yanlarda (konsantrasyonun düşük olduğu) daha düşük bir çan Şeklindeki eğriye benzer. Serbest bırakma noktasında, kirletici gaz konsantrasyonu çok yüksektir ve gaz çapraz rüzgar ve yukarı yönlerinde çok fazla yayılmamıştır, bu nedenle kaynağa yakın bir bulutun çapraz rüzgar dilimindeki bir konsantrasyon grafiği, başağa benzer. Kirletici bulut uzaklaştıkça yayılır ve yayılır ve “çan şekli” genişler ve düzleşir. Havadan daha ağır olan bir gaz salındığında, başlangıçta nötr olarak yüzen bir gazdan çok farklı davranır. (Jones R., 2013)

Ağır Gaz Modeli

Ağır gaz modeline göre, ağır gaz ilk çökecektir çünkü çevresindeki havadan daha ağırdır. Gaz bulutu aşağı doğru hareket ederken yerçekimi yayılmasını sağlar; bu, buharın bir kısmının serbest bırakma noktasından yukarıya doğru hareket etmesine neden olabilir. Bulut daha fazla seyreltildikçe ve yoğunluğu havanınkine yaklaştıkça

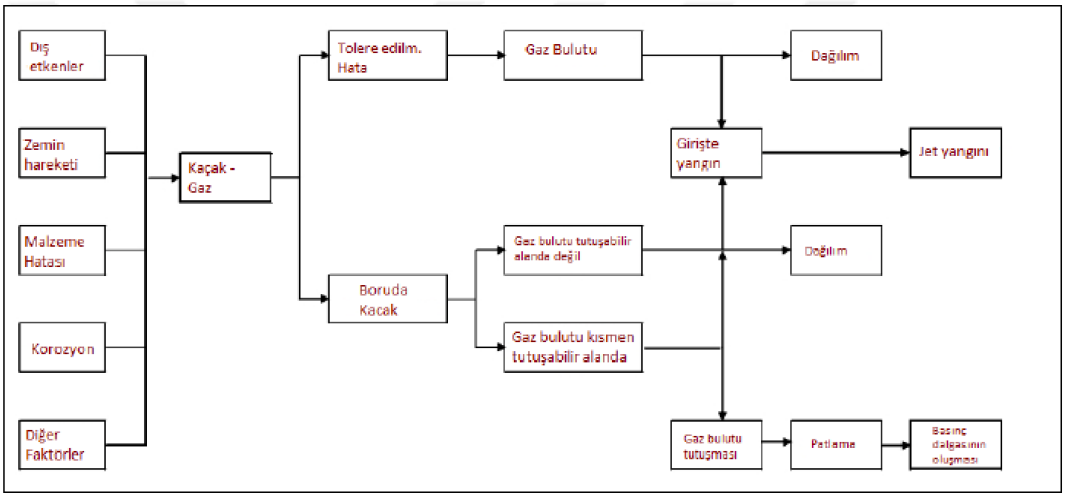
rüzgâr daha da azalır, nötr bir kaldırma gazı gibi davranmaya başlar. Bu, çevresindeki havadaki ağır gaz konsantrasyonu yaklaşık yüzde 1'in altına düştüğünde gerçekleşir. Birçok küçük sürüm için, bu ilk birkaç metrede gerçekleşecektir. Büyük sürümler için, bu durum çok daha rüzgârlı olabilir. (Jones R., 2013)

4. BULGULAR

Bu çalışmada, ALOHA programı kullanılarak; DME tankında oluşabilecek bir sızıntı sonucu oluşacak; zehirli alan, yanma alan ve patlama alanları, aşırı basınç ve termal radyasyon seviyeleri ve etki mesafeleri, jet yanması ve BLEVE olayı ALOHA 5.4.1.7 programı ile modellenmiştir. Sonrasında tank doluluk oranı, rüzgâr hızı ve sıcaklık parametrelerinin etkisi büyüğünü görmek için her bir parametreye özel yeni senaryolar belirlenip her senaryo için yeniden zehirli alan, yanma alan ve patlama alanları, jet yangını ve BLEVE olayı modellenmiştir. Son olarak da literatürde çalışması yapılan LPG tankı patlama sonucuyla aynı koşul ve verilerdeki DME tankı patlama modellemesini karşılaştırmaya yönelik bulgulara yer verilmiştir.

4.1 DME Tankı Senaryoları ve Analizi

DME, atmosfere salındığında iç basıncının atmosferik basınca düşmesi için genişler. Başlangıç salınım hızının ve ortam rüzgâr hızının etkisi altında bırakma noktasından uzağa hareket eder. Salınım olduktan sonra boşluktan, ortamda patlayıcı atmosfer (ATEX) oluşturur. Salınan kimyasal havadan ağır olduğu için zemine çöker. (Şahin, 2019)



Şekil 4.1:DME Tankı Tehlike Senaryoları (Uslu, 2019)

Örnek uygulama koşulları belirlenirken, literatürdeki değerler incelenmiş ve tahmini değerler verilmiştir. Senaryo verileri girildikten sonra verilen komutla işlenen çalışma

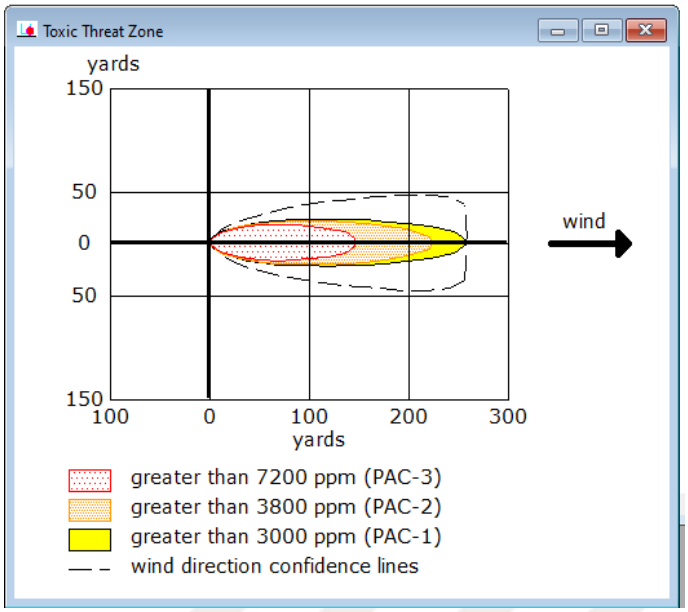
sonucu patlama aşırı basıncı ve radyasyon etki mesafesi grafikleri ve çalışma alanındaki görüntü elde edilir.

4.2 DME Tankı

DME tankına olası bir sızıntı durumu senaryoları ele alınmıştır ve ilk anda yangın durumu mevcut değildir. Ardından, kaçan madde yanmaya başlar ve jet yangın gerçekleştiği varsayılır. En son BLEVE patlaması yaşanır. Tüm bu durumlarda rüzgar yönünde yayılan toksik etkiler, yanıcı alan, buhar bulutu patlamaları ve buhar bulutunun patlamasından kaynaklanan aşırı basınç simule edilmiştir. Simülasyona girilen veriler Tablo 4.1.'de verilmiştir.

Tablo 4.1:DME Tankı Senaryo Verileri (Terzioğlu, 2007)

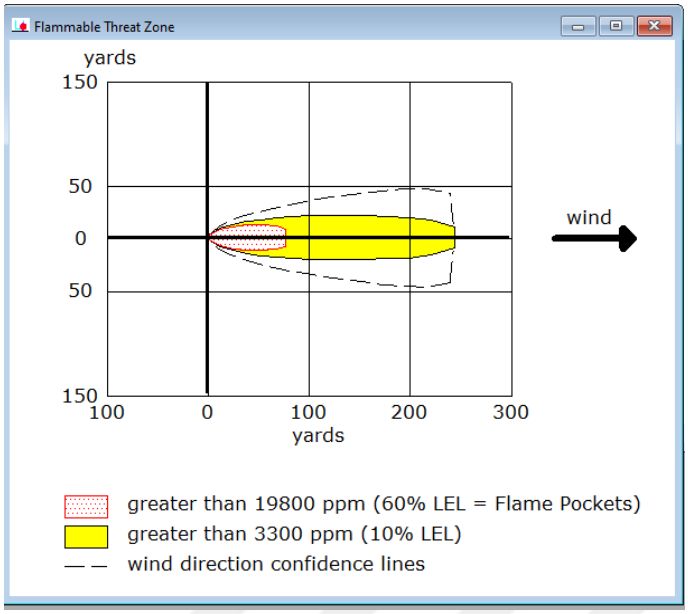
Parametre	**Değer/Birim**
Gaz	Dimetil Eter
Tank tipi	Siindirik
Tank çapı	3.6 m
Tank uzunluğu	18 m
Rüzgar hızı, yönü	10.8 m/s NNE
Ortam Sıcaklığı	10.5°C
Nem Oranı	%50
Tank sıcaklığı	8°C
Sızıntı Türü, Boyut	Tank tabanından dairesel açıklık, 2 inc
Tank doluluk oranı	%90



Şekil 4.2:Toksik Alan

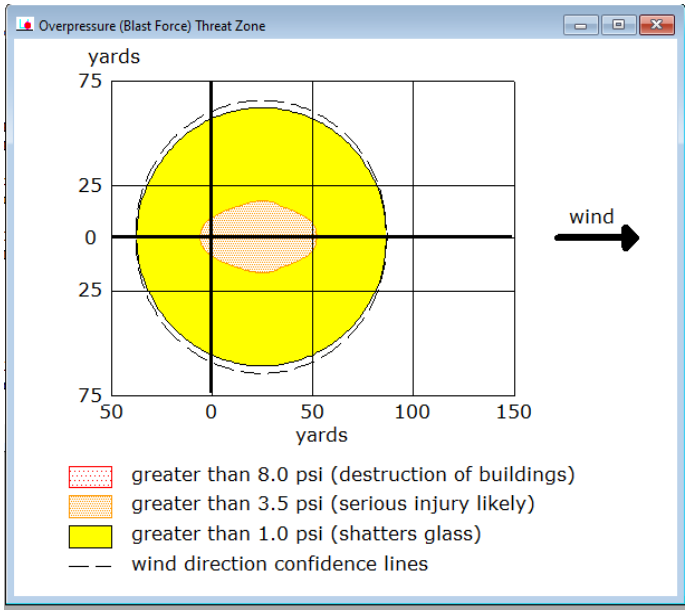
Herhangi bir yangın ya da patlama durumu olmaksızın DME'nin kaynaktan kaçak sonucunda ortaya çıkan toksik bulutlara yer verilmiştir. Kırmızı bölge alanı 77 yards, (70.5 metre) sarı bölge ise 244yards (223 metre) olarak görülmektedir.

Akut maruz kalma kılavuz seviyesi 1 durumunda, duyarlı bireyler de dahil olmak üzere genel popülasyonun kayda değer rahatsızlık, tahriş veya bazı asemptomatik etkiler yaşanmaktadır. Ancak, etkiler etkisizleştirici değildir ve maruz kalmanın sona ermesi üzerine geçici ve geri dönüşümlüdür. Akut maruz kalma kılavuz seviyesi 2 konsantrasyonunda, duyarlı bireyler de dahil olmak üzere genel popülasyonun geri dönüşümsüz veya başka ciddi, uzun süreli ters sağlık yaşayabileceği tahmin edilmektedir. Akut maruz kalma kılavuz seviyesi 3 konsantrasyonunda ise, duyarlı kişiler de dahil olmak üzere genel popülasyonun yaşamı tehdit edici sağlık etkilerini yaşayabileceği, ölümle sonuçlanabileceği tahmin edilmektedir.



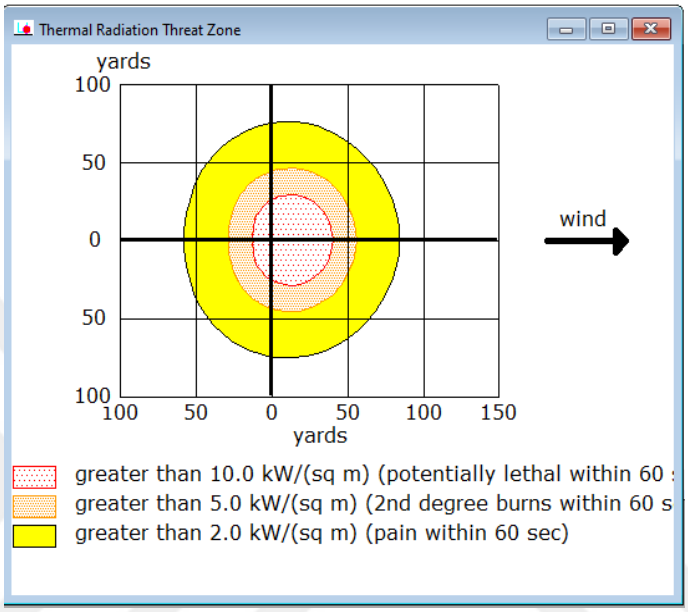
Şekil 4.3: Buhar Bulutunun Yanıcı Alanı

DME yangını sonucu oluşacak yanıcı alan tehdit mesafelerine yer verilmiştir. Ağır gaz modeli kullanılmıştır. Yanıcı alandan etkilenen alanlar; 60sn için, öldürücü etkiye sahip kırmızı alan 77 yards(70.5 metre) ve ciddi acıya sebebiyet verebilecek sarı alan 244 yards (223 metre) olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.4: Buhar Bulutu Patlamasından Kaynaklanan Aşırı Basınç (Patlama Kuvveti)

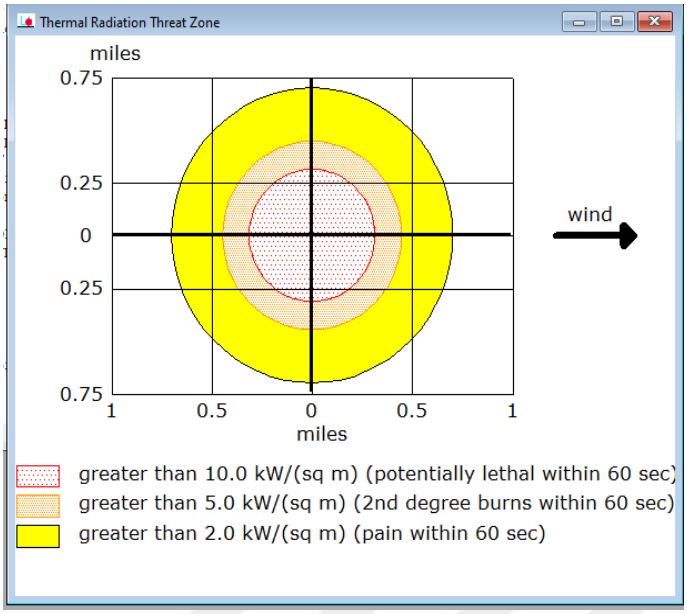
Şekil 4-4'te aşırı basınç sonucu patlama kuvveti sonuçları verilmiştir. Herhangi bir patlama sonucunda, 60sn için, öldürücü etkiye sahip, binaları yıkabilecek güçte patlamanın olduğu basınç miktarı aşılmamıştır. 2. Derece yanıklara sebep olabilecek turuncu alan 53 yards ve ciddi acıya sebebiyet verebilecek, camları parçalayabilecek güçte patlamanın olduğu sarı alan 89 yards olarak belirlenmiştir. (Biberci, 2019)



Şekil 4.5: Jet Yangınından Kaynaklanan Termal Radyasyon

Programda, yangın sırasında tankın etrafındaki tehlike seviyesi ısı yayılım seviyesi yani termal radyasyon ile belirlenir ve bu tehlikeli alanlar kırmızı, turuncu ve sarı olmak üzere üç farklı renk ile işaretlenir (Şekil 4-5). En tehlikeli alan kırmızı alan, en az tehlikeli alan ise sarı alan. Kırmızı tehlike bölgesi, termal radyasyonunun 10 kW/m^2'den yüksek olduğu ve 60 saniyelik durma sonrasında ölüme neden olan alandır. Turuncu tehlike bölgesinde, ısı dalgalarının 5-10 kW/m^2 arasındadır ve 60 saniyelik maruziyette ikinci derece yanık riskine işaret eder. Sıcaklık ışınlarının 2-5 kw/m^2 arasında olduğu sarı tehlikeli alanda ise 60 saniyede yanık oluşma riski vardır. (Açıkgöz, 2012)

Olası bir jet yangınında DME tankının oluşturacağı termal radyasyon kırmızı bölge mesafesi 41 yards(38 m), turuncu bölge mesafesi 56 yards (51 m), sarı bölge mesafesi 84 yards(77 m)'dır.



Şekil 4.6:Ateş Topundan Kaynaklanan Termal Radyasyon

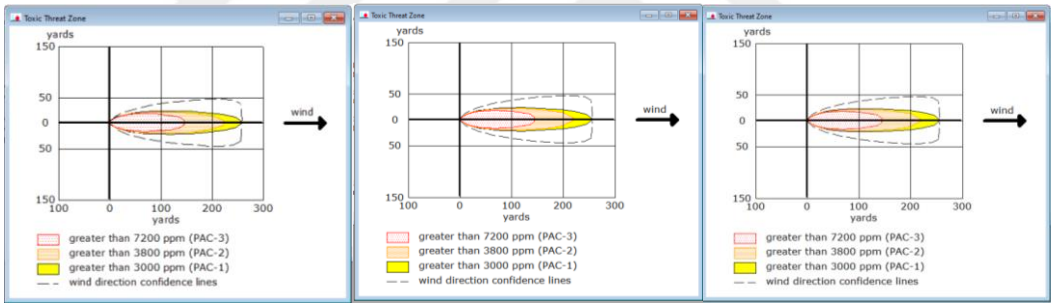
Şekil 4-6, olası bir BLEVE olayı durumunda DME tankının oluşturacağı termal radyasyon alanı göstermektedir. DME tankının kaçak oluşumu ve jet yangını sonrasında herhangi bir müdahale yapılamaması durumunda beklenen BLEVE olayı neticesinde, 542 yards(496 metre) bir alanda ölümcül bölge meydana oluşturacağı tahmin edilir. Turuncu ve sarı bölge için mesafeler sırasıyla 773 yards (707 metre) ve 1213 yards (1.1 km)'dır.

4.2.1 Doluluk Oranı

3 farklı doluluk oranı seçilmiştir. Senaryo 1'de %90, Senaryo 2 'de %35, senaryo 3'te %60 doluluk oranı kullanılmıştır.

Tablo 4.2: Çeşitli Tank Doluluk Oranı Parametresi Senaryo Verileri

Parametre	**Değer/Birim**		
	Senaryo 1	**Senaryo 2**	**Senaryo 3**
Gaz	Dimetil Eter		
Tank tipi	Silindirik		
Tank çapı	3.6 m		
Tank uzunluğu	18 m		
Rüzgar hızı, yönü	10.8 m/s NNE		
Ortam Sıcaklığı	10.5°C		
Nem Oranı	%70		
Tank sıcaklığı	8°C		
Sızıntı Türü, Boyut	Tank tabanından dairesel açıklık, 2 inc		
Tank doluluk oranı	%90	%60	%35

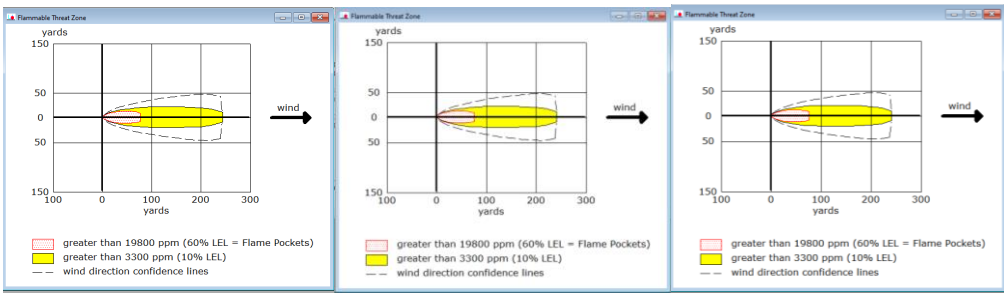


Şekil 4.7:%90, %60, %35 Tank Doluluk Oranı Senaryolarının Toksik Alanları

%90 doluluk oranına sahip senaryo için Kırmızı bölge mesafesi 147 yards, turuncu bölge mesafesi 222 yards, Sarı bölge mesafesi 260 yards

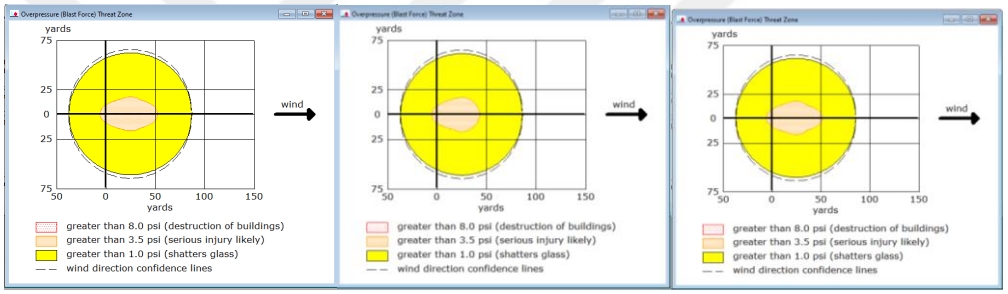
%60 doluluk oranına sahip senaryo için Kırmızı bölge mesafesi 146 yards, turuncu bölge mesafesi 221 yards, Sarı bölge mesafesi 258 yards

%35 doluluk oranına sahip senaryo için Kırmızı bölge mesafesi 145 yards, turuncu bölge mesafesi 220 yards, Sarı bölge mesafesi 257 yards olarak okunmuştur.



Şekil 4.8: %90, %60, %35 Tank Doluluk Oranı Senaryolarının Buhar Bulutunun Yanıcı Alanları

%90, %60, %35 doluluk oranına sahip senaryoların her biri için kırmızı bölge mesafesi 77 yards, Sarı bölge mesafesi 244 yards olarak okunmuştur.

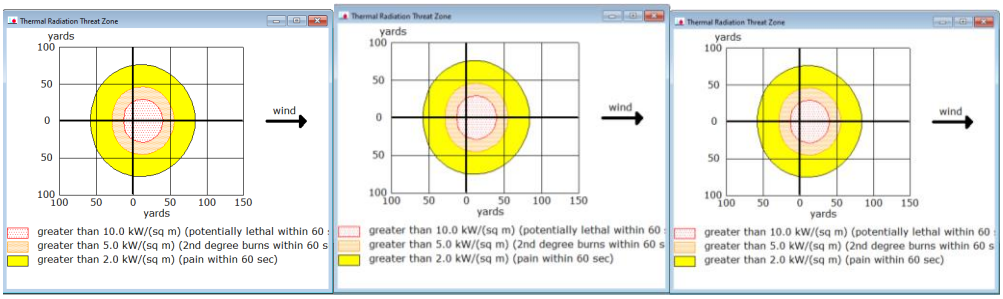


Şekil 4.9: %90, %60, %35 Tank Doluluk Oranı Senaryolarının Buhar Bulutu Patlamasından Kaynaklanan Aşırı Basınç (Patlama Kuvveti)

%90 doluluk oranına sahip senaryo için turuncu bölge mesafesi 53 yards, sarı bölge mesafesi 89 yards;

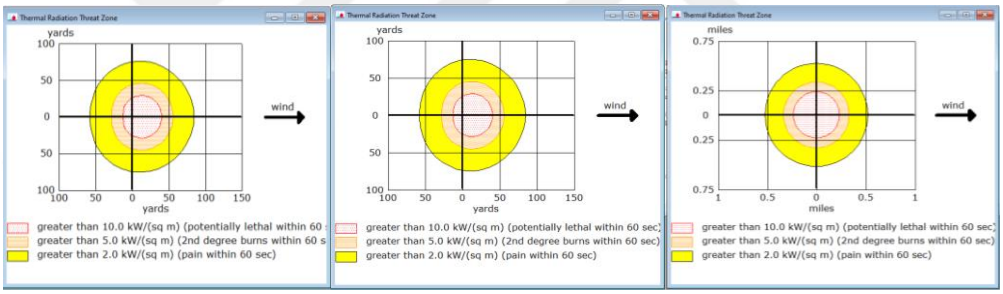
%60 doluluk oranına sahip senaryo için turuncu bölge mesafesi 43 yards, sarı bölge mesafesi 86 yards;

%35 doluluk oranına sahip senaryo için turuncu bölge mesafesi 52 yards, sarı bölge mesafesi 86 yards olarak okunmuştur.



Şekil 4.10: %90, %60, %35 Tank Doluluk Oranı Senaryolarının Jet Ateşinden Kaynaklanan Termal Radyasyon

%90, %60, %35 doluluk oranına sahip senaryoların her biri için Jet yangınından kaynaklanan termal radyasyon etki alanı kırmızı bölge mesafesi 41 yards, turuncu bölge mesafesi 56 yards, sarı bölge mesafesi 84 yards olarak okunmuştur.



Şekil 4.11: %90, %60, %35 Tank Doluluk Oranı Senaryolarının Ateş Topundan Gelen Termal Radyasyon

%90 doluluk oranına sahip senaryo için ateş topundan kaynaklanan termal radyasyon etki alanı kırmızı bölge mesafesi 542 yards, turuncu bölge mesafesi 773 yards , sarı bölge mesafesi 1213 yards;

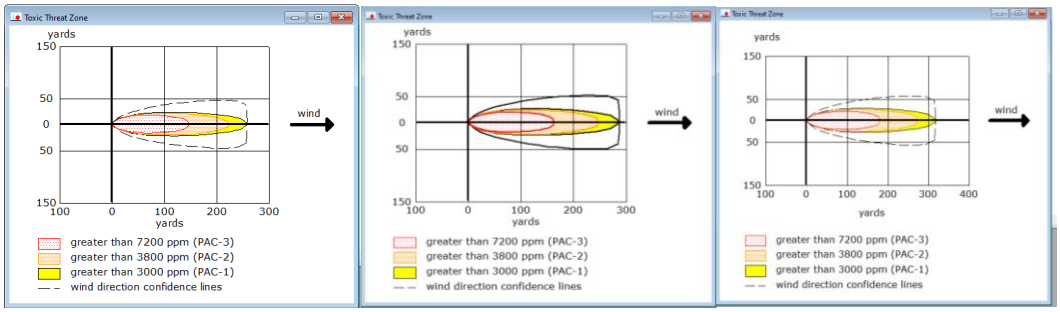
%60 doluluk oranına sahip senaryo için ateş topundan kaynaklanan termal radyasyon etki alanı kırmızı bölge mesafesi 485 yards, turuncu bölge mesafesi 692 yards , sarı bölge mesafesi 1085 yards;

%35 doluluk oranına sahip senaryo için ateş topundan kaynaklanan termal radyasyon etki alanı kırmızı bölge mesafesi 410 yards, turuncu bölge mesafesi 585 yards , sarı bölge mesafesi 918 yards olarak okunmuştur

4.2.2 Sıcaklık

Tablo 4.3: Sıcaklık Parametresi Değişkenli Senaryo Verileri

Parametre	**Değer/Birim**		
	Senaryo 1	**Senaryo 2**	**Senaryo 3**
Gaz	Dimetil Eter		
Tank tipi	Silindirik		
Tank çapı	3.6 m		
Tank uzunluğu	18 m		
Rüzgar hızı, yönü	10.8 m/s NNE		
Ortam Sıcaklığı	10.5ºC	20 ºC	30ºC
Tank sıcaklığı	8ºC	18ºC	28ºC
Nem Oranı	% 70		
Sızıntı Türü, Boyut	Tank tabanından 2 inc dairesel açıklık		
Tank doluluk oranı	%90		

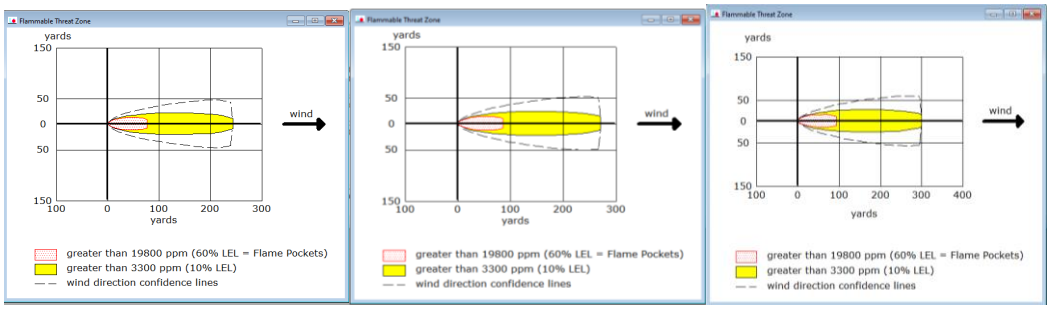


Şekil 4.12:10.5ºC, 20ºC, 30ºC Sıcaklık Senaryoları Toksik Alanları

10.5ºC sıcaklık değerine sahip senaryo için toksik alan kırmızı bölge mesafesi 147 yards, turuncu bölge mesafesi 222 yards, sarı bölge mesafesi 260 yards;

20ºC sıcaklık değerine sahip senaryo için toksik alan kırmızı bölge mesafesi 163 yards, turuncu bölge mesafesi 248 yards, sarı bölge mesafesi 289 yards;

30ºC sıcaklık değerine sahip senaryo için toksik alan kırmızı bölge mesafesi 180 yards; turuncu bölge mesafesi 273 yards, sarı bölge mesafesi 319 yards olarak okunmuştur.

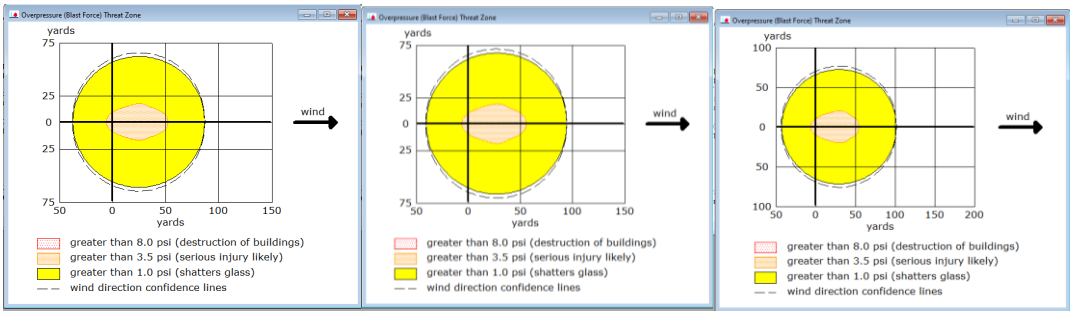


Şekil 4.13: 10.5ºC, 20ºC, 30ºC Sıcaklık Senaryoları Buhar Bulutunun Yanıcı Alanları

10.5ºC sıcaklık değerine sahip senaryo için buhar bulutu yanıcı alan kırmızı bölge mesafesi 77 yards , sarı bölge mesafesi 244 yards;

20ºC sıcaklık değerine sahip senaryo için buhar bulutu yanıcı alan kırmızı bölge mesafesi 87 yards , sarı bölge mesafesi 272 yards;

30ºC sıcaklık değerine sahip senaryo için buhar bulutu yanıcı alan kırmızı bölge mesafesi 95 yards, sarı bölge mesafesi 300 yards olarak okunmuştur.

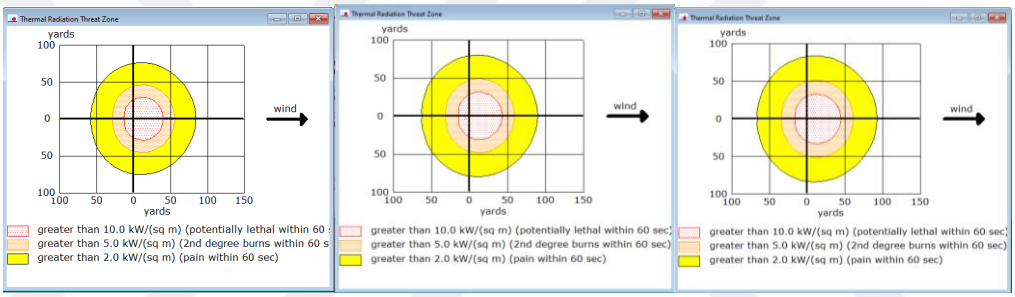


Şekil 4.14: 10.5ºC, 20ºC, 30ºC Sıcaklık Senaryoları Buhar Bulutu Patlamasından Kaynaklanan Aşırı Basınç (Patlama Kuvveti)

10.5ºC sıcaklık değerine sahip senaryo için buhar bulutu patlamasından kaynaklanan aşırı basınç etki alanı kırmızı bölge mesafesi hesaplanmamıştır, turuncu bölge mesafesi 53 yards , sarı bölge mesafesi 89 yards;

20ºC sıcaklık değerine sahip senaryo için buhar bulutu patlamasından kaynaklanan aşırı basınç etki alanı kırmızı bölge mesafesi hesaplanmamıştır, turuncu bölge mesafesi 54 yards, sarı bölge mesafesi 95 yards;

30ºC sıcaklık değerine sahip senaryo için buhar bulutu patlamasından kaynaklanan aşırı basınç etki alanı kırmızı bölge mesafesi hesaplanmamıştır, turuncu bölge mesafesi 55 yards , sarı bölge mesafesi 102 yards olarak okunmuştur.

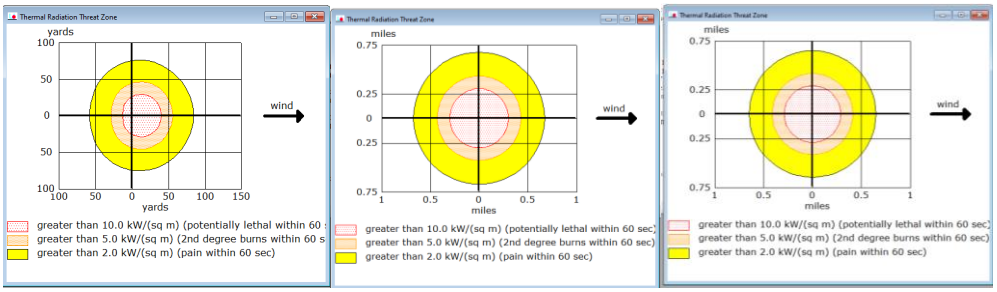


Şekil 4.15: 10.5ºC, 20ºC, 30ºC Sıcaklık Senaryoları Jet Ateşinden Kaynaklanan Termal Radyasyonları

10.5ºC sıcaklık değerine sahip senaryo için jet yangınından kaynaklanan termal radyasyon etki alanı kırmızı bölge mesafesi 41 yards turuncu bölge mesafesi 56 yards, sarı bölge mesafesi 84 yards;

20ºC sıcaklık değerine sahip senaryo için jet yangınından kaynaklanan termal radyasyon etki alanı kırmızı bölge mesafesi 59 yards, turuncu bölge mesafesi 59 yards, sarı bölge mesafesi 90 yards;

30ºC sıcaklık değerine sahip senaryo için jet yangınından kaynaklanan termal radyasyon etki alanı kırmızı bölge mesafesi 61 yards, turuncu bölge mesafesi 62 yards, sarı bölge mesafesi 93 yards olarak okunmuştur.



Şekil 4.16: 10.5ºC, 20ºC, 30ºC Sıcaklık Senaryoları Ateş Topu Termal Radyasyonu

10.5ºC sıcaklık değerine sahip senaryo için ateş topundan kaynaklanan termal radyasyon etki alanı kırmızı bölge mesafesi 542 yards, turuncu bölge mesafesi 773 yards, sarı bölge mesafesi 1213 yards;

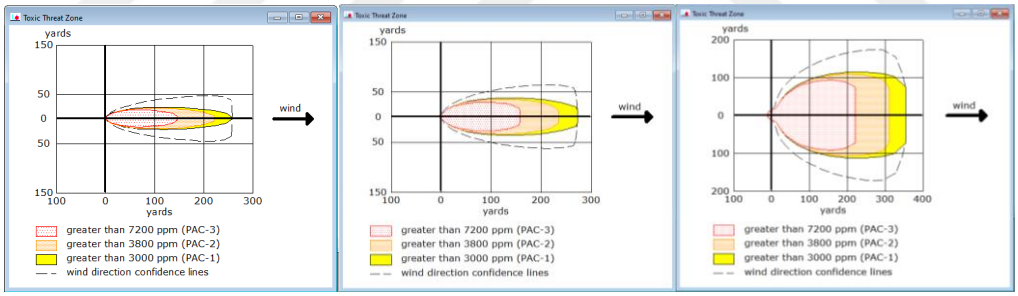
20ºC sıcaklık değerine sahip senaryo için ateş topundan kaynaklanan termal radyasyon etki alanı kırmızı bölge mesafesi 522 yards, turuncu bölge mesafesi 745 yards, sarı bölge mesafesi 1177 yards;

30ºC sıcaklık değerine sahip senaryo için ateş topundan kaynaklanan termal radyasyon etki alanı kırmızı bölge mesafesi 502 yards, turuncu bölge mesafesi 716 yards, sarı bölge mesafesi 1122 yards olarak okunmuştur.

4.2.3 Rüzgar Hızı

Tablo 4.4: Rüzgar Hızı Parametresi Değişkenli Senaryo Verileri

Parametre	**Value**		
	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
Kimyasal	Dimetil Eter		
Tank tipi	Silindirik		
Tank çapı	3.6 m		
Tank uzunluğu	18 m		
Rüzgar hızı, yönü	10.8 m/s NNE	7 m/s NNE	3 m/s NNE
Ortam Sıcaklığı	10.5°C		
Tank sıcaklığı	8°C		
Nem Oranı	% 70		
Sızıntı Türü, Boyut	Tank tabanından 2 inc dairesel açıklık		
Tank doluluk oranı	%90		

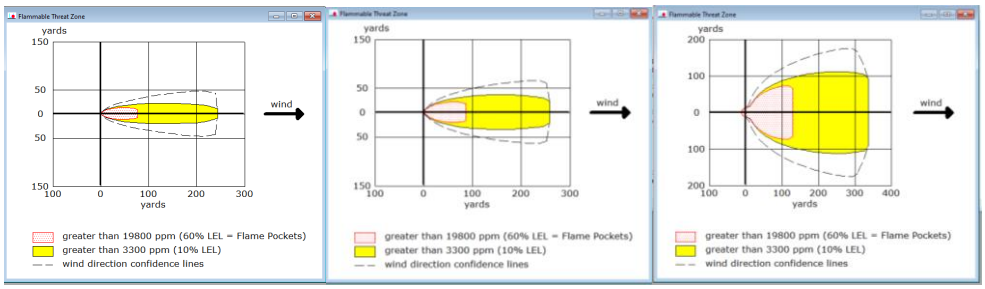


Şekil 4.17: 10.8 m/s, 7 m/s, 3m/s Rüzgar Senaryoları Toksik Alanları

10.8m/s rüzgar hızı değerine sahip senaryo için toksik alan kırmızı bölge mesafesi 147 yards , turuncu bölge mesafesi 222 yards , sarı bölge mesafesi 260 yards;

7 m/s, rüzgar hızı değerine sahip senaryo için toksik alan kırmızı bölge mesafesi 147 yards, turuncu bölge mesafesi 222 yards, sarı bölge mesafesi 260 yards;

3m/s rüzgar hızı değerine sahip senaryo için toksik alan kırmızı bölge mesafesi 222 yards; turuncu bölge mesafesi 312 yards, sarı bölge mesafesi 356 yards olarak okunmuştur.

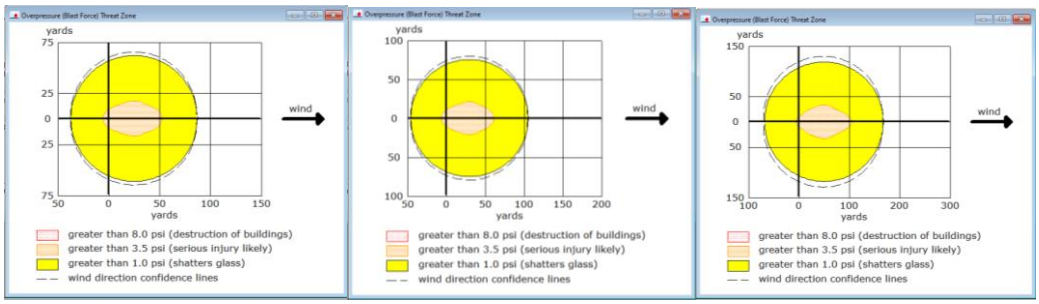


Şekil 4.18: 10.8 m/s, 7 m/s, 3m/s Rüzgar Senaryoları Buhar Bulutunun Yanıcı Alanları

10.8m/s rüzgar hızı değerine sahip senaryo için buhar bulutunun yanıcı alanı kırmızı bölge mesafesi 77 yards, sarı bölge mesafesi 244 yards;

7 m/s, rüzgar hızı değerine sahip senaryo için buhar bulutunun yanıcı alanı kırmızı bölge mesafesi 87 yards, sarı bölge mesafesi 258 yards;

3m/s rüzgar hızı değerine sahip senaryo için buhar bulutunun yanıcı alanı kırmızı bölge mesafesi 131 yards, sarı bölge mesafesi 338 yards olarak okunmuştur.

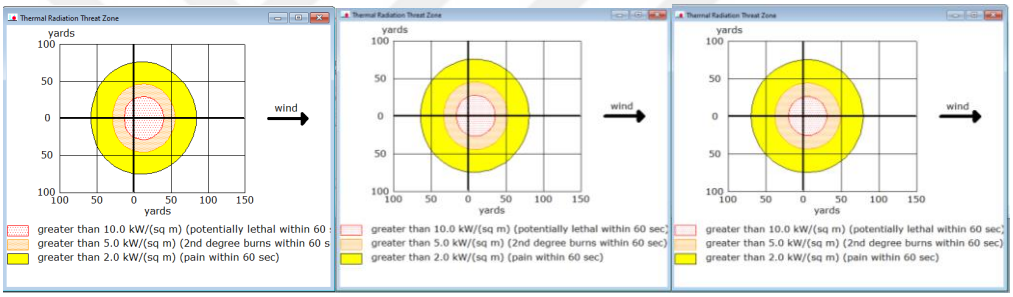


Şekil 4.19: 10.8 m/s, 7 m/s, 3m/s Rüzgar Senaryoları Buhar Bulutu Patlamasından Kaynaklanan Aşırı Basınç (Patlama Kuvveti)

10.8m/s rüzgar hızı değerine sahip senaryo için buhar bulutu patlamasından kaynaklanan aşırı basınç etki alanı kırmızı bölge mesafesi hesaplanmamış olup turuncu bölge mesafesi 53 yards , sarı bölge mesafesi 89 yards;

7m/s, rüzgar hızı değerine sahip senaryo için buhar bulutu patlamasından kaynaklanan aşırı basınç etki alanı kırmızı bölge mesafesi hesaplanmamış olup turuncu bölge mesafesi 61 yards, sarı bölge mesafesi 105 yards;

3m/s rüzgar hızı değerine sahip senaryo için buhar bulutu patlamasından kaynaklanan aşırı basınç etki alanı kırmızı bölge mesafesi hesaplanmamış olup turuncu bölge mesafesi 106 yards, sarı bölge mesafesi 168 yards olarak okunmuştur.

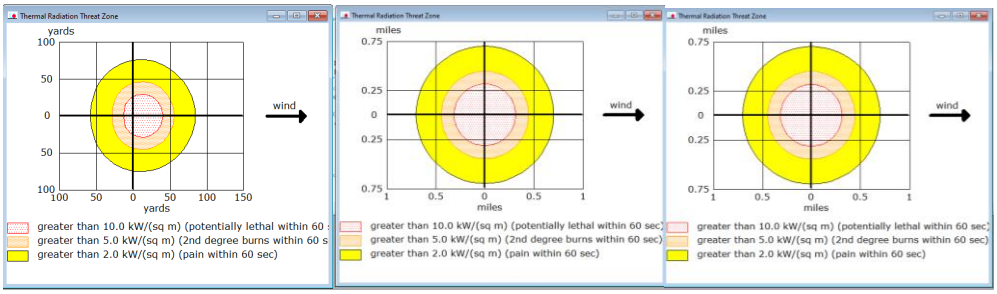


Şekil 4.20: 10.8 m/s, 7 m/s, 3m/s Rüzgar Senaryoları Jet Ateşinden Kaynaklanan Termal Radyasyon

10.8m/s rüzgar hızı değerine sahip senaryo için jet yangınından kaynaklanan termal radyasyon etki alanı kırmızı bölge mesafesi 41 yards, turuncu bölge mesafesi 56 yards, sarı bölge mesafesi 84 yards;

7m/s, rüzgar hızı değerine sahip senaryo için jet yangınından kaynaklanan termal radyasyon etki alanı kırmızı bölge mesafesi 36 yards, turuncu bölge mesafesi 53 yards, sarı bölge mesafesi 82 yards;

3m/s rüzgar hızı değerine sahip senaryo için jet yangınından kaynaklanan termal radyasyon etki alanı kırmızı bölge mesafesi 31 yards, turuncu bölge mesafesi 49 yards, sarı bölge mesafesi 79 yards olarak okunmuştur.



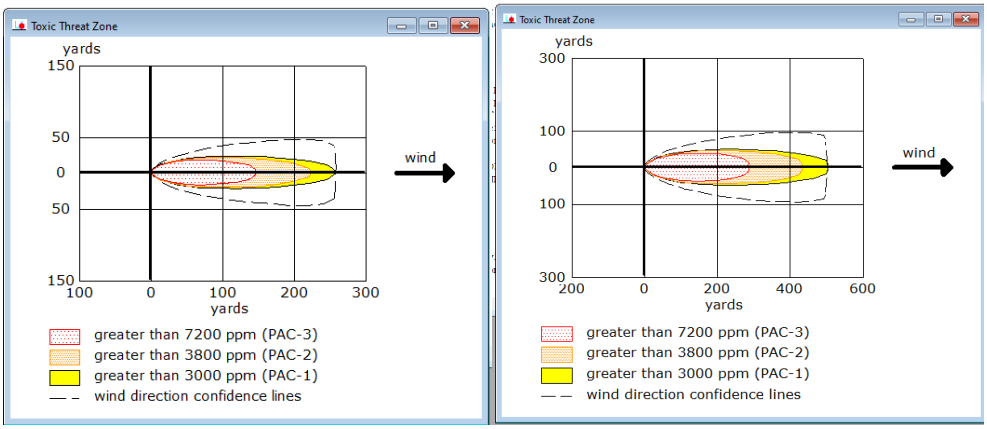
Şekil 4.21: 10.8 m/s, 7 m/s, 3m/s Rüzgar Senaryoları Ateş Topu Termal Radyasyonu

10.8 m/s, 7 m/s, 3m/s rüzgar hızı değerlerine sahip senaryoların üçü için de ateş topundan kaynaklanan termal radyasyon etki alanı kırmızı bölge mesafesi 542 yards, turuncu bölge mesafesi 773yards, sarı bölge mesafesi 1213 yards olarak okunmuştur.

4.2.4 Açıklık

Tablo 4.5: Açıklık Parametresi Değişkenli Senaryo Verileri

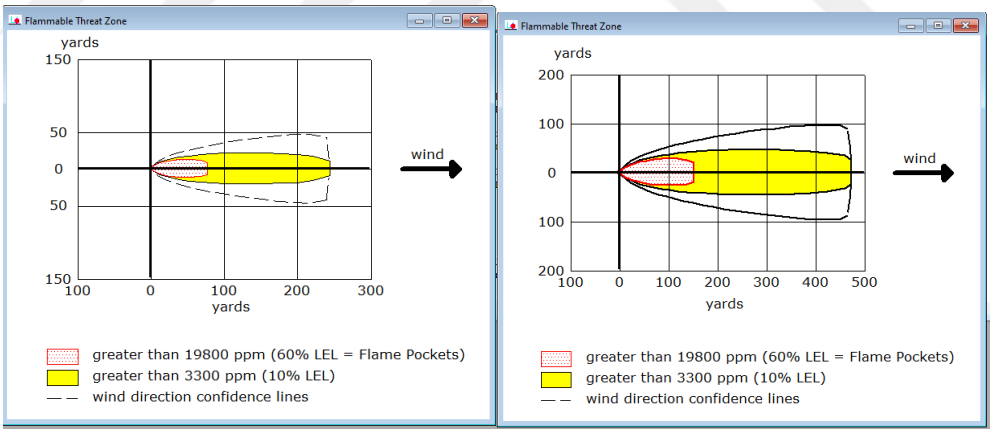
Parametre	**Değer/Birim**	
	Senaryo 1	**Senaryo 2**
Kimyasal	Dimetil Eter	
Tank tipi	Silindrik	
Tank çapı	3.6 m	
Tank uzunluğu	18 m	
Rüzgar hızı, yönü	10.8 m/s NNE	
Ortam Sıcaklığı	10.5°C	
Nem Oranı	% 70	
Tank sıcaklığı	8°C	
Tank doluluk oranı	Senaryo 1 %90	
Sızıntı Türü, Boyutu	Tank tabanından dairesel açıklık, 2 inc	Tank tabanından dairesel açıklık 4 inc



Şekil 4.22:2 inç,4 inç Açıklık Senaryoları Toksik Alanlar

2 inç açıklık değeri senaryosu toksik alanı kırmızı bölge mesafesi 147 yards, turuncu bölge mesafesi 222 yards, sarı bölge mesafesi hesaplanmamış;

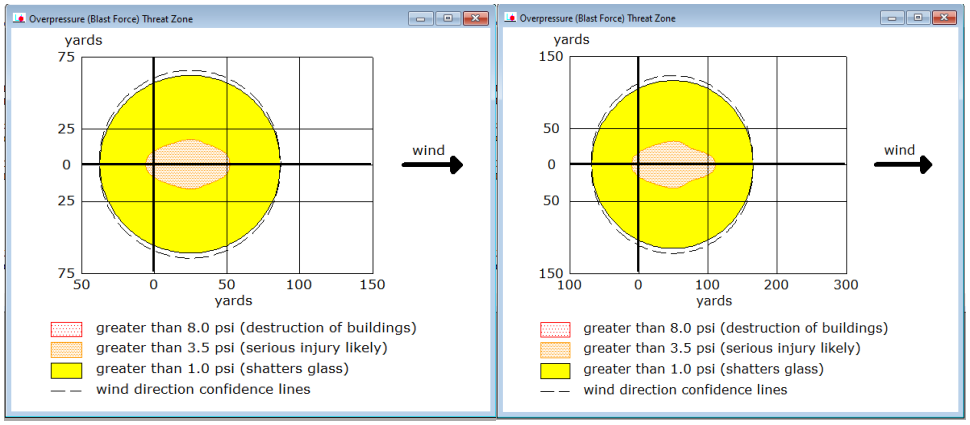
4 inç açıklık değeri senaryosu toksik alanı kırmızı bölge mesafesi 287 yards, turuncu bölge mesafesi 432 yards, sarı bölge mesafesi 503 yards olarak okunmuştur.



Şekil 4.23: 2 inç,4 inç Açıklık Senaryoları Buhar Bulutunun Yanıcı Alanı

2 inç açıklık değeri senaryosu buhar bulutunun yanıcı alanı kırmızı bölge mesafesi 77 yards, sarı bölge mesafesi 244 yards;

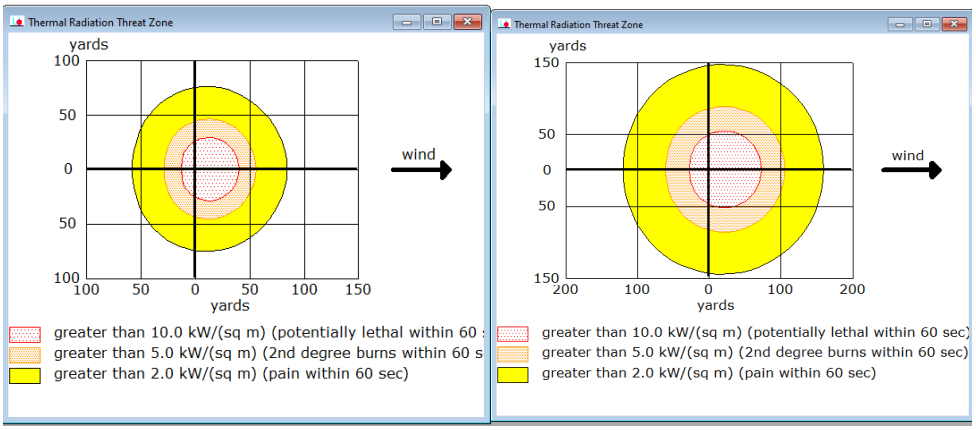
4 inç açıklık değeri senaryosu buhar bulutunun yanıcı alanı kırmızı bölge mesafesi 151 yards, sarı bölge mesafesi 473 yards olarak okunmuştur.



Şekil 4.24: 2 inç,4 inç Açıklık Senaryoları Buhar Bulutu Patlamasından Kaynaklanan Aşırı Basınç (Patlama Kuvveti)

2 inç açıklık değeri senaryosu buhar bulutunun patlamasından kaynaklanan aşırı basınç etki alanı turuncu bölge mesafesi 53 yards, sarı bölge mesafesi 89 yards;

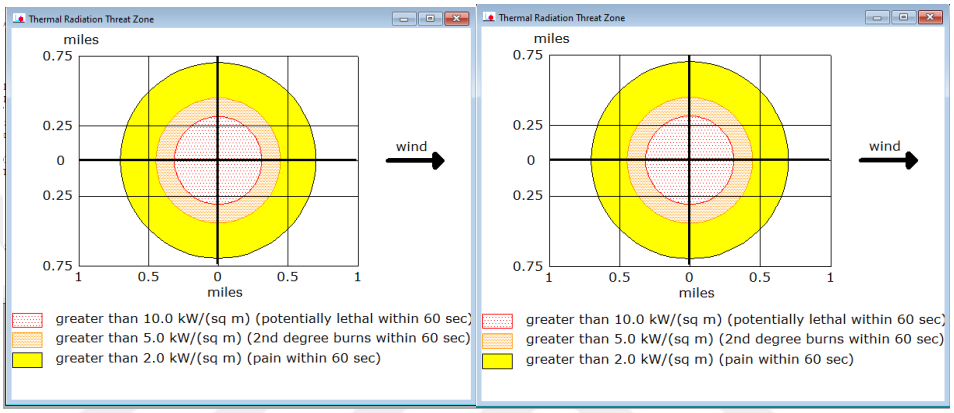
4 inç açıklık değeri senaryosu buhar bulutunun patlamasından kaynaklanan aşırı basınç etki alanı turuncu bölge mesafesi 112 yards, sarı bölge mesafesi 166 yards olarak okunmuştur.



Şekil 4.25: 2 inç,4 inç Açıklık Senaryoları Jet Ateşinden Kaynaklanan Termal Radyasyon

2 inç açıklık değeri senaryosu jet alanından kaynaklanan termal radyasyon etki alanı kırmızı bölge mesafesi 41 yards, turuncu bölge mesafesi 56 yards, sarı bölge mesafesi 84 yards;

4 inç açıklık değeri senaryosu jet alanından kaynaklanan termal radyasyon etki alanı kırmızı bölge mesafesi 74 yards, turuncu bölge mesafesi 106 yards, sarı bölge mesafesi 160 yards olarak okunmuştur.



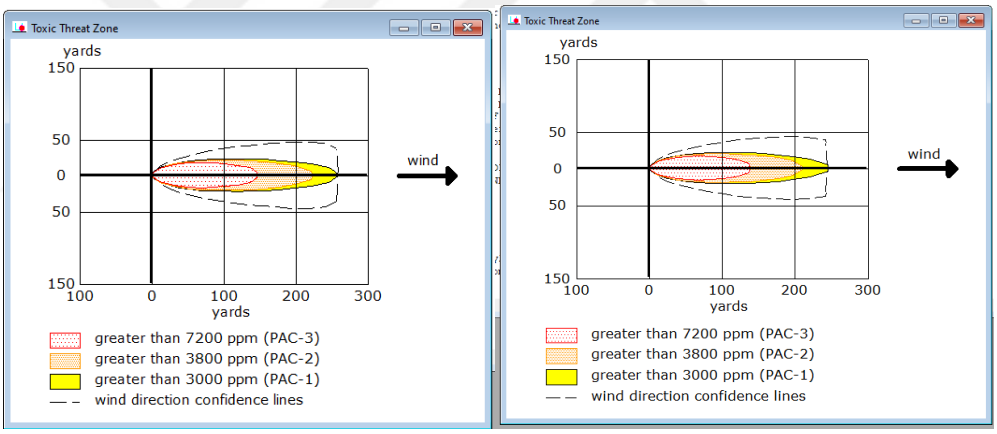
Şekil 4.26: 2 inç,4 inç Açıklık Senaryoları Ateş Topundan Kaynaklanan Termal Radyasyon

2 inç ve 4 inç açıklık değerleri senaryolarının her ikisi için de ateş topundan kaynaklanan termal radyasyon etki alanı kırmızı bölge mesafesi 542 yards, turuncu bölge mesafesi 773 yards, sarı bölge mesafesi 1213 yards'dır.

4.2.5 Açıklık Yeri

Tablo 4.6: Açıklık Yeri Parametresi Değişkenli Senaryo Verileri

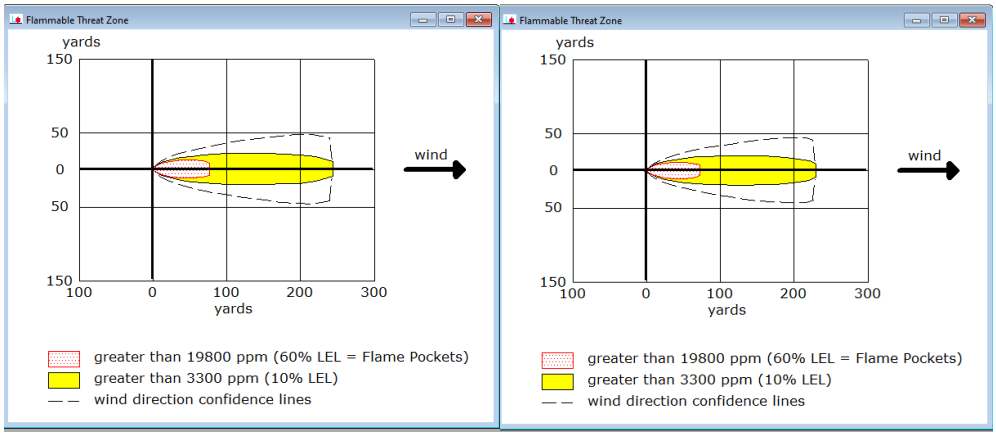
Parametre	**Değer/Birim**	
	Senaryo 1	**Senaryo 2**
Kimyasal	Dimetil Eter	
Tank tipi	Silindirik	
Tank çapı	3.6 m	
Tank uzunluğu	18 m	
Rüzgar hızı, yönü	10.8 m/s NNE	
Ortam Sıcaklığı	10.5°C	
Nem Oranı	%70	
Tank sıcaklığı	8°C	
Tank doluluk oranı	%90	
Sızıntı Türü, Boyutu	Dairesel açıklık, 2 inc, Tank tabanı	Dairesel açıklık, 2 inc, Tank tepesi (%85)



Şekil 4.27: Tank Altı ve Tank Üstü Senaryoları Toksik Yayılım Tehlikeli Alanları

2 inç tank altı açıklık yeri senaryosu toksik alanı kırmızı bölge mesafesi 147 yards, turuncu bölge mesafesi 222 yards, sarı bölge mesafesi sarı alan mesafesi 260 yards;

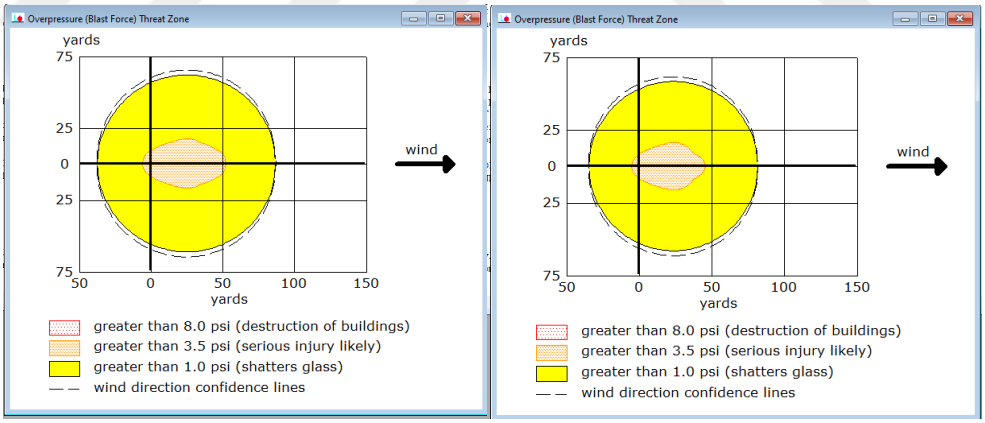
2 inç tank üstü açıklık yeri senaryosu toksik alanı kırmızı bölge mesafesi 139 yards, turuncu bölge mesafesi 210 yards, sarı bölge mesafesi 245 yards olarak okunmuştur.



Şekil 4.28: Tank Altı ve Tank Üstü Senaryoları Buhar Bulutunun Yanıcı Alanı

2 inç tank altı açıklık yeri senaryosu buhar bulutunun yanıcı alanı kırmızı bölge mesafesi 77 yards, sarı bölge mesafesi 244 yards;

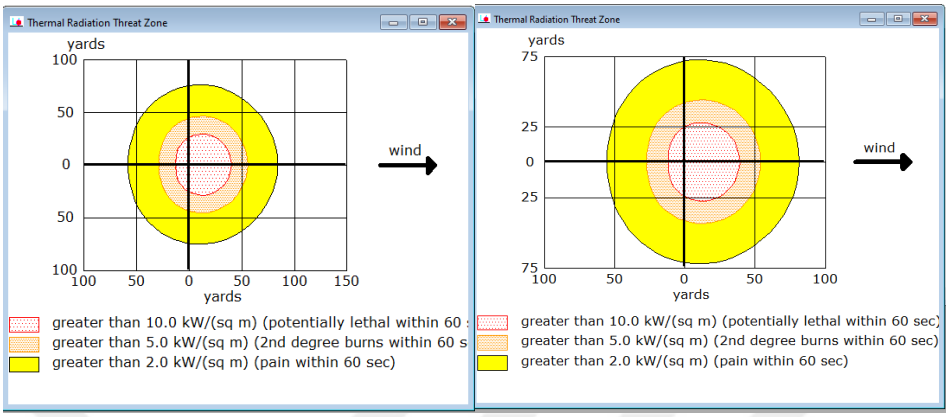
2 inç tank üstü açıklık yeri senaryosu buhar bulutunun yanıcı alanı kırmızı bölge mesafesi 74 yards, sarı bölge mesafesi 231 yards olarak okunmuştur.



Şekil 4.29: Tank Altı ve Tank Üstü Senaryoları Buhar Bulutu Patlamasından Kaynaklanan Aşırı Basınç (Patlama Kuvveti

2 inç tank altı açıklık yeri senaryosu buhar bulutunun patlamasından kaynaklanan aşırı basınç etki alanı turuncu bölge mesafesi 53 yards, sarı bölge mesafesi 87 yards;

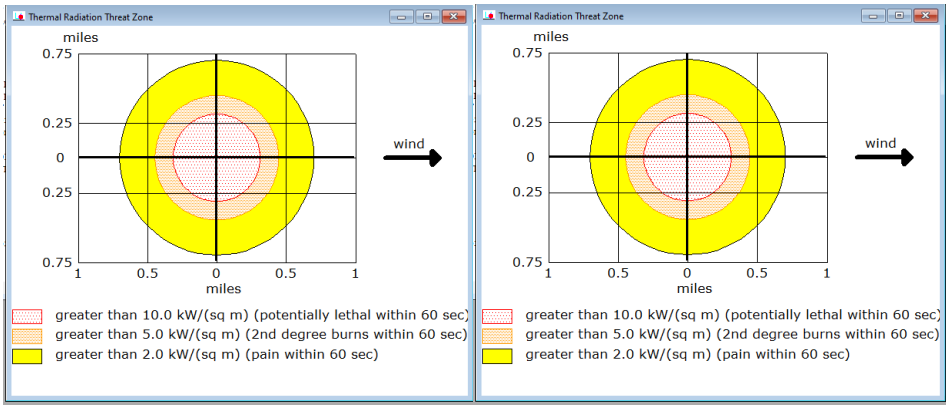
2 inç tank üstü açıklık yeri senaryosu buhar bulutunun patlamasından kaynaklanan aşırı basınç etki alanı turuncu bölge mesafesi 46 yards , sarı bölge mesafesi 82 yards olarak okunmuştur.



Şekil 4.30: Tank Altı ve Tank Üstü Senaryoları Jet Ateşinden Kaynaklanan Termal Radyasyon

2 inç tank altı açıklık yeri senaryosu jet alanından kaynaklanan termal radyasyon etki alanı kırmızı bölge mesafesi 41 yards, turuncu bölge mesafesi 56 yards, sarı bölge mesafesi 84 yards;

2 inç tank üstü açıklık yeri senaryosu jet alanından kaynaklanan termal radyasyon etki alanı kırmızı bölge mesafesi 39 yards, turuncu bölge mesafesi 54 yards, sarı bölge mesafesi 82 yards olarak okunmuştur.



Şekil 4.31: Tank Altı ve Tank Üstü Senaryoları Ateş Topundan Gelen Termal Radyasyon

2 inç tank altı ve tank üstü açıklık yeri senaryolarının her ikisi için de ateş topundan kaynaklanan termal radyasyon etki alanı kırmızı bölge mesafesi 542 yards, turuncu alan mesafesi 634 yards, sarı bölge mesafesi 1213 yards'dır.

4.3 DME – LPG Tankı Karşılaştırma

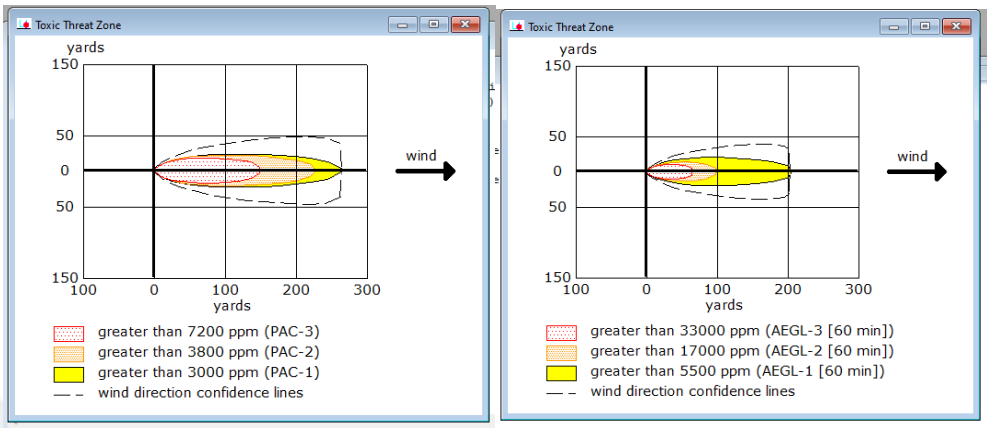
DME sanayide LPG ye eşdeğer görüldüğü ve benzer özellikler taşındığı için yanıcı ve patlayıcılık özelliklerinin patlama senaryosu üzerindende kıyaslama yapılmıştır. Literatürde var olan LPG patlama etkileri üzerine yapılan araştırmalar incelenmiş örnek bir senaryo seçilmiş, bu senaryo verileri tahmini DME tankı verileri olarak alınmış ve sonuç grafikleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.7: LPG ve DME Karşılaştırma Senaryo Verileri (Terzioğlu, Industrial Explosions Modelling: Special Case an LPG Explosion, 2007)

Parametre	**Değer/Birim**	**Değer/Birim**
Kimyasal	Dimetil Eter	Propan
Tank tipi	Silindirik	Silindirik
Tank çapı	3.6 m	3.6 m
Tank uzunluğu	18 m	18 m
Rüzgar hızı, yönü	10.8 m/s NNE	10.8 m/s NNE
Ortam Sıcaklığı	10.5ºC	10.5ºC
Nem Oranı	% 70	%70
Tank sıcaklığı	8ºC	8ºC
Sızıntı Türü, Boyut	Tank tabanından dairesel açıklık, 2 inc	Tank tabanından dairesel açıklık, 2 inc
Tank doluluk oranı	%90	%90

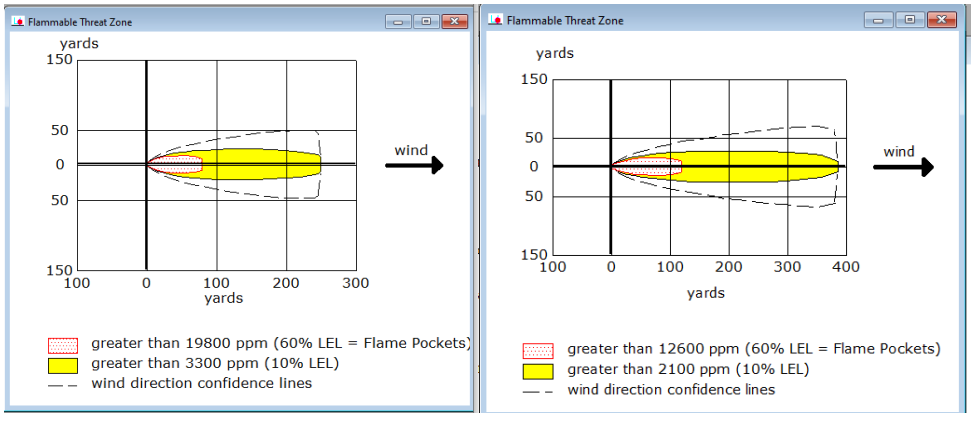
İlk durumda, tankın tabanındaki 2'lik dairesel bir açıklıktan sızıntı olduğu ve tankın %90 dolu olduğu varsayılır. Öncelikle tanktan bir sızıntı olduğu ve buhar bulutunun yangın alanı olmadığı varsayılır. Buhar bulutunun yanıcı alanı ve buhar bulutu patlamasının patlama alanı simüle edilir. Daha sonra tanktan bir sızıntı olduğu varsayılır. Jet ateşi olarak yanar. Son olarak, BLEVE olayının meydana geldiği, tankın

patladığı ve kimyasalın bir ateş topu halinde yandığı varsayılır. Programa girilen veriler Tablo 4.7'de yer almaktadır. (Terzioğlu, Industrial Explosıons Modelling: Special Case an LPG Explosion, 2007)



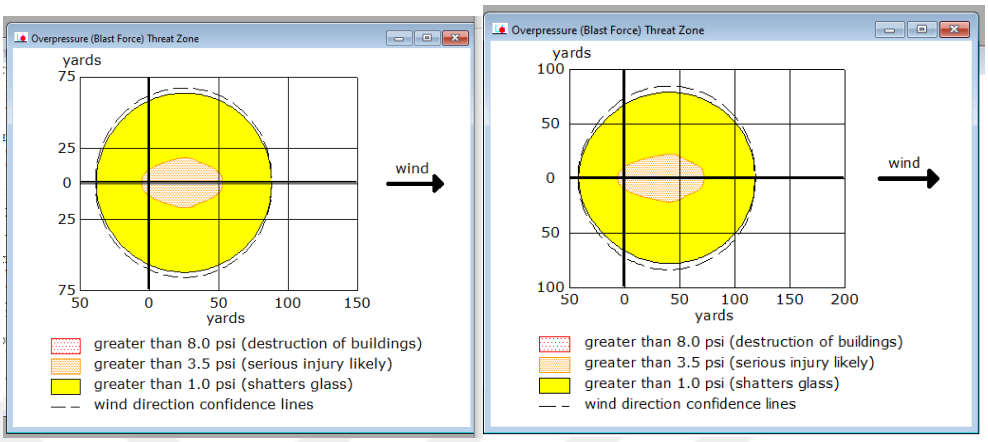
Şekil 4.32: DME Tankı ve LPG Tankı Senaryoları Buhar Bulutunun Zehirli Alanının Sonuçları

Şekil 4.32'de buhar bulutunun zehirli alanının sonuçları sunulmuştur. DME için kırmız alan mesafesi 147 yards, turuncu alan mesafesi 222, sarı alan mesafesi 260 yards; LPG için kırmızı alan mesafesi 63 yards, turuncu 96 yards, ve sarı alan mesafesi 199 yards;



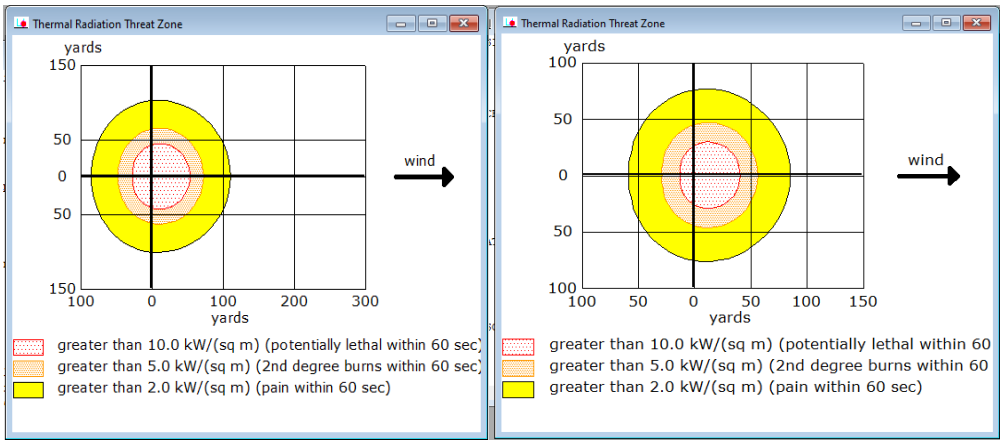
Şekil 4.33: DME Tankı ve LPG Tankı Senaryoları Yanıcı Bir Buhar Bulutu Alanları

Şekil 4.33'te DME ve LPG tankı senaryoları yanıcı bir buhar bulutu alanı sonucu grafikleri gösterilmiştir. Kırmızı bölge; DME için 77 yards, LPG için 117 yards; sarı bölgede ise DME için 244 yards, LPG için 377 yards'dır



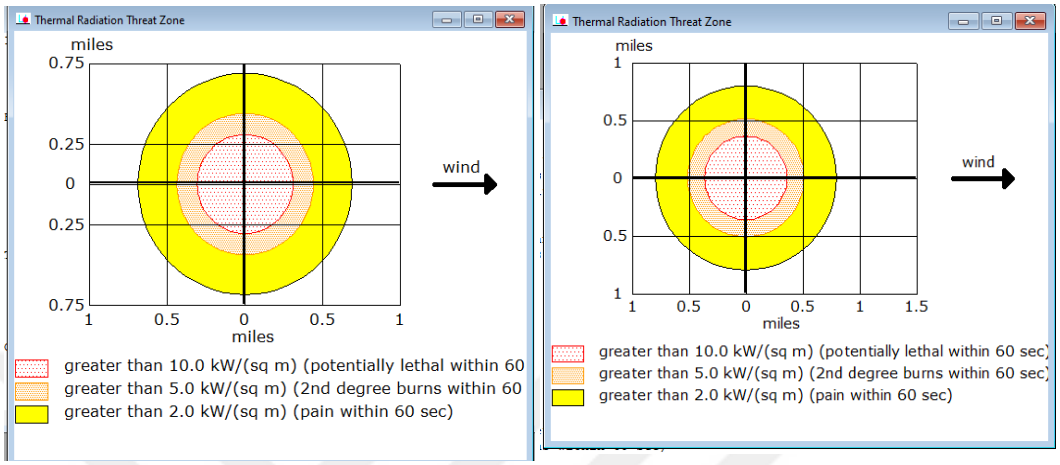
Şekil 4.34: DME Tankı ve LPG Tankı Senaryoları Aşırı Başınçtan Kaynaklanan Tehlikeli Alanlar

Şekil 4.34'te iki madde için de buhar bulutu patlamasının patlama alanı sonuçları verilmiştir. Kırmızı bölge DME için 53 yards, LPG için 73 metredir; sarı bölge DME için 89 yards, LPG için 119 metre mesafededir.



Şekil 4.35: DME Tankı ve LPG Tankı Senaryoları Jet Yangınından Kaynaklanan Termal Radyasyon Tehlikeli Alanlar

DME için kırmız alan mesafesi 41 yards, turuncu alan mesafesi 56 yards, sarı alan mesafesi 84 yards; LPG için kırmızı alan mesafesi 53 yards, turuncu 73 yards, ve sarı alan mesafesi 111 yards'dır.



Şekil 4.36: DME Tankı ve LPG Tankı Senaryoları Ateş Topundan Kaynaklanan Termal Radyasyon Tehlikeli Alanlar

DME için kırmız alan mesafesi 542 yards, turuncu alan mesafesi 773 yards, sarı alan mesafesi 1213 yards; LPG için kırmızı alan mesafesi 634 yards, turuncu 896 yards, ve sarı alan mesafesi 1396 yards 'dır.

DME için ateş topu çapı 306 yards, patlama süresi 16 saniyedir.
LPG için ateş topu çapı 279 yards, patlama süresi 15 saniyedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

İş sağlığı ve güvenliği Avrupa'da ve dünyada es geçilmemesi gereken ve çok önem verilen bir alan olarak ele alınmaktadır. Türkiye'de de çıkan kanun ve yönetmelik güncellemeleriyle sürekli iyileştirme yoluna gidilmektedir.

Artan sanayileşme ile iş sağlığı ve güvenliğine verilen önem her geçen gün artmaktadır. Yeni kanun, yönetmelik ve direktifler hem işverene hem de çalışana önemli görevler yüklemektedir. 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu kapsamında işveren işyerinin ve işin, sağlıklı ve güvenlikli yürütülmesini sağlamakla yükümlüdür. Bunun için uygun çalışma ortamı, uygun ekipman seçimi, eğitim vermek, çalışma ortamı ve çalışan sağlığı gözetimi, uygun kişisel koruyucu donanımlar ve işe uygun yerleştirme yapmak gibi faaliyetler öne çıkmaktadır. Çalışan açısından ise sağlık ve güvenlik kurallarına uymak, işini özenle yaparak, tehlikeli hareket yapmamak, tehlikeli durumu sebebiyet vermemek ve tehlikeli bir durumu fark ettiğinde bildirimde bulunmak gibi faaliyetler yer almaktadır.

İş sağlığı ve güvenliğinin temel mantığı hem mevcut sağlık ve güvenlik risklerini belirlemek hem de riskleri azaltmaktır. Riskleri azaltmak için alınması gereken önlemler belirlenmelidir. Alınan önlemler işin sağlık ve güvenlik koşullarını iyileştirmek için yeterli olmalıdır. Riski azaltmak sadece ön adımken sürekli iyileştirme yoluna gidilmesi esastır. Maksat riski azaltmak ise tehlike tanımlarının çok iyi yapılması gerekmektedir.

Yangın ve patlamaların önemli bir kısmı depolama tanklarında gerçekleşir. Uzman kişilerce ve bilimsel yöntemler uygulanarak alınacak olan önlemler ile bu olayların önüne geçilmelidir, gerçekleşmesi halinde etkilerini azaltacak tedbirler alınmalıdır. (TMMOB, 2019)

Bu çalışmada kolay alevlenebilir madde olan DME'in yangın ve patlama etkilerini incelemek için DME tankından bir sızıntı olduğu varsayılır. DME'in hızlıca buharlaşmaya başlayarak ortama yayılır. Patlama aralığına gelene kadar belli mesafe ilerler. DME buharı havadan ağır olduğu için yer hizası boyunca yatay olarak yayılır.

Hava ile patlama aralığına geldiği karışımı oluşturduğunda ise yanma ve patlama gerçekleşir. Önce DME tankı simüle edilir. Sonra tank doluluk oranı, rüzgar hızı, sıcaklık, açıklık, açıklık yeri parametrelerinin etkisi incelemek için bu değerler değiştirilerek yeni senaryolar belirlenir. Senaryo verileri programa girilir ve sonuç grafikleri okunur. Elde edilen sonuçların yorumlanması ve karşılaştırılması maddeler halinde aşağıda verilmiştir:

183 m^3'lük bir DME tankı sonuçları ve değerlendirilmesi

- Toksik alan ve yanıcı buhar bulutu alanı maximum 223 metredir. Akut maruz kalma kılavuz seviyesi 1 durumunda, duyarlı bireyler de dahil olmak üzere genel popülasyonun kayda değer rahatsızlık, tahriş veya bazı asemptomatik etkiler yaşanmaktadır. Ancak, etkiler etkisizleştirici değildir ve maruz kalmanın sona ermesi üzerine geçici ve geri dönüşümlüdür. Akut maruz kalma kılavuz seviyesi 2 konsantrasyonunda, duyarlı bireyler de dahil olmak üzere genel popülasyonun geri dönüşümsüz veya başka ciddi, uzun süreli ters sağlık yaşayabileceği tahmin edilmektedir. Akut maruz kalma kılavuz seviyesi 1 konsantrasyonunda ise, duyarlı kişiler de dahil olmak üzere genel popülasyonun yaşamı tehdit edici sağlık etkilerini yaşayabileceği, ölümle sonuçlanabileceği tahmin edilmektedir.

- Buhar bulutundan kaynaklanan aşırı basınç sonucu patlama kuvveti kırmızı bölge, 60sn için, öldürücü etkiye sahip, binaları yıkabilecek güçte patlamanın olduğu basınç miktarı aşılmamıştır. 2. Derece yanıklara sebep olabilecek turuncu alan 53 yards ve ciddi acıya sebebiyet verebilecek, camları parçalayabilecek güçte patlamanın olduğu sarı alan 89 yards olarak belirlenmiştir.

- Jet yangını durumunda tankın etrafındaki 38-77 metrelik bir mesafede ölümcül riskin varlığı saptanmıştır. BLEVE durumunda ise ölüm riskinin olduğu bölge 707 metre ile 1.1 kilometrelik bir mesafeye yayılmıştır. Bu değerlere göre Jet Yangını için yaklaşık 77 metre, BLEVE içinse 1.1 kilometrelik bir alandakiler yanma riskiyle karşı karşıyadır.

- Kırmızı tehlike bölgesi termal radyasyonun 10 kW/m^2'nin üzerinde olduğu ve 60 saniye maruz kalındığında ölümle sonuçlanan bölgedir. Turuncu tehlike bölgesinde termal radyasyon 5-10 kW/m^2 arasındadır ve 60 saniyelik maruziyet ikinci derecede yanık riski taşır. Termal radyasyonun 2-5 kW/m^2 arasında olduğu sarı tehlike bölgesinde ise 60 saniye içinde yanık oluşma riski vardır.

%90, %60, %35 doluluk oranı senaryo sonuçları ve değerlendirilmesi

- Toksik alan üç senaryo için de hemen hemen eşit mesafededir. Bu da tank doluluk oranı parametresini buhar bulutu etki alanını çok çok az etkilediğini gösterir.

- Yanıcı alan üç senaryo için de aynıdır. Bu da tank doluluk oranı parametresini buhar bulutu yanıcı alanını etkilemediğini gösterir.

- Aşırı basınç %90 doluluk oranında en yüksek değerde iken %60 doluluk oranında azalma göstermiştir fakat %30 doluluk oranında tekrar yükselme göstererek neredeyse %90 doluluk oranı sonucuna yakın değere gelmiştir. Bu da doluluk belli bir seviyeye kadar azalmasıyla aşırı basınç etki alanının azalacağını o seviyeden sonra tekrardan artışa geçeceğini gösterir. DME patlama limiti değerlerine yaklaşma ve uzaklaşma ile bağlantılı olduğu düşünülmektedir.

- Jet yangınından kaynaklanan termal radyasyon etki alanları 3 senaryo için de eşit değerdedir. Doluluk oranın değişmesinin Jet yangını termal radyasyon etki mesafesini etkilemediği görülmektedir.

- BLEVE olayından kaynaklana termal radyasyon etki alanı doluluk oranı oranı arttıkça artmakta azaldıkça azalmaktadır.

10.5ºC, 20ºC, 30ºC sıcaklık senaryo sonuçları ve değerlendirilmesi

- Toksik alan 30ºC de en yüksek değerde iken 20ºC de azalma göstermiş, 10.5ºC de ise en düşük değere gelmiştir. Yani sıcaklık azaldıkça toksik alan azalmakta, sıcaklık arttıkça toksik alan mesafesi de artmaktadır.

- Yanıcı alan 30ºC de en yüksek değerde iken 20ºC de azalma göstermiş, 10.5ºC de ise en düşük değere gelmiştir. Yani sıcaklık azaldıkça yanıcı alan azalmakta, sıcaklık arttıkça yanıcı alan mesafesi de artmaktadır.

- Aşırı basınç etki alan mesafesi 30ºC de en yüksek değerde iken 20ºC de azalma göstermiş, 10.5ºC de ise en düşük değere gelmiştir. Yani sıcaklık azaldıkça basınç etki alan mesafesi azalmakta, sıcaklık arttıkça basınç etki alan mesafesi de artmaktadır.

- Jet yangınından kaynaklanan termal radyasyon mesafesi 30ºC de en yüksek değerde iken 20ºC de azalma göstermiş, 10.5ºC de ise en düşük değere gelmiştir. Yani sıcaklık azaldıkça termal radyasyon mesafesi azalmakta, sıcaklık arttıkça termal radyasyon mesafesi de artmaktadır.

- BLEVE olayından kaynaklanan termal radyasyon mesafesi 30ºC de en düşük değerde iken 20ºC de artma göstermiş, 10.5ºC de ise en yüksek değere gelmiştir. Yani sıcaklık azaldıkça termal radyasyon mesafesi artmakta, sıcaklık arttıkça termal radyasyon mesafesi de azalmaktadır.

Rüzgar hızı senaryo sonuçları ve değerlendirilmesi

- Rüzgar hızı azaldıkça toksik alan, yanıcı buhar bulutu alanı ve buhar bulutundan kaynaklanan aşırı basınç alanı mesafeleri artmaktadır.

- Rüzgar hızı azaldıkça jet yangınından kaynaklanan termal radyasyon etki alanı mesafeleri azalmaktadır.

- BLEVE olayından kaynaklanan termal radyasyon mesafesine rüzgar hızının etkisi görülmemektedir.

Açıklık senaryo sonuçları ve değerlendirilmesi

- Açıklık arttıkça toksik alan, yanıcı buhar bulutu alanı ve buhar bulutundan kaynaklanan aşırı basınç alanı mesafeleri artmaktadır.

- Açıklık arttıkça jet yangınından kaynaklanan termal radyasyon etki alanı mesafesi artmaktadır.

- BLEVE olayından kaynaklanan termal radyasyon mesafesine açıklık değerinin etkisi görülmemektedir.

Açıklık yeri senaryo sonuçları ve değerlendirilmesi

- Toksik alan, yanıcı buhar bulutu alanı ve buhar bulutundan kaynaklanan aşırı basınç alanı, jet yangınından kaynaklanan termal radyasyon ve BLEVE olayından kaynaklanan termal radyasyon etki alanı mesafelerinin hepsi tank altı senaryosunda tank üstü senaryosundan daha yüksektir. Tank altından olan bir sızıntının tankın diğer seviyelerin göre en yüksek mesafelere sahip olacağı görülmektedir.

DME tankı ve LPG tankı senaryo sonuçları ve değerlendirilmesi

- LPG gazı Toksik alan, yanıcı buhar bulutu alanı ve buhar bulutundan kaynaklanan aşırı basınç alanı, jet yangınından kaynaklanan termal radyasyon ve BLEVE olayından kaynaklanan termal radyasyon etki alanı mesafeleri aynı koşullardaki DME gazı senaryosundaki etki alanları mesafelerinden daha yüksek değerde olduğu görülmektedir.

Kaza senaryolarının, mevcut bir kimyasalın etki alanının belirlenmesi ve başka bir kazayı tetiklemesinin önüne geçilmesi açısından önemi büyüktür. Olası bir kaza durumunda ise kazaların etki alanı, hangi bölgeye ne kadar zarar vereceğinin

hesaplanmasının önünü açması, müdahale noktasının neresi olması gerektiğinin bulunması, nasıl müdahale edilmesi gerektiği hususlarını aydınlattığı için dahili ve harici acil durum eylem planlarını şekillendirmektedir. Birçok parametre değişkenine göre kaza senaryolarının etki alanlarının hesaplanması, kazanın gerçekleştiği koşulların açıklığa kavuşması açısından etkin bir güvenlik sisteminin en önemli öncülüdür.

DME tanklarında patlama olması durumunda, çevredeki çok geniş bir alandaki binaların yıkılması, insanların yaralanmaları, cam parçacıkları gibi, patlamanın etkisiyle yayılan parçaların Şarapnel etkisiyle hayat kaybına yol açacağı görülmektedir. Yeterli koruma önlemleri alınmadığı taktirde, yaşanabilecek bir kazada ciddi hayat kayıpları, ekonomik kayıplar olacaktır.

Patlama gerçekleştikten sonra, patlamanın sebepleri çok net anlaşılamayabilmektedir. Bu sebeple olabilecek tüm senaryolar modellenerek, sonuçlarına göre acil durum planları hazırlanmalı, düzenli olarak revizyonu sağlanmalı ve hiçbir değişim atlanmamalıdır.

Patlama modellemesi ile, güvenli bölgeleri, anlık konsantrasyonları hesaplayabiliriz. Bu da bize güvenli bölgeler, sığınaklar ve kaçış alanları için gerekli bilgiyi sağlamaktadır. Öncelikli olan kazaya sebebiyet vermeyecek önlemler olmasına rağmen, kaza sonrası doğru hareket, doğru planlama ve doğru kaçış, birçok hayat kurtarmaktadır. Bu sebeple, azaltıcı önlemler için, yapılan modellemeler patlayıcı kimyasalların bulunduğu alanlarda ciddi bir önem arz eder.

En önemli noktalardan biri de personel eğitimleridir. Personel, tüm senaryolara hazırlıklı olmalıdır. Olabilecek bir kaçakta, sonuçlar yangın ve patlamaya varmadan önce personelin yapması gerekenler, tüm çalışanlara anlatılmalı, acil durum prosedürleri hakkında bilgilendirilmeli ve gerekirse yıllık eğitim periyodu beklenmeden sıklıkla yenilenmelidir.

6. KAYNAKÇA

Açıkgöz, V. (2012). Lpg Depolama Tanklarında Yangın VE Patlama Durumlarının Modellenmesi.

Altıncı, Y. (2015). Parlayıcı, Patlayıcı ve Yanıcı Maddelerin Depo Modellemesi.

Arınan, A. (2010). Dırect Synthesıs Of Dımethyl Ether (Dme) From Synthesıs Gas Usıng Novel Catalysts, Yüksek Lisans Tezi.

Ay, M. E. (2016). Endüstriyel Tesislerin Yangına Karşı Risk Değerlendirmesi. İstanbul.

Background on Atmospheric Stability Classes. (2020). file:///C:/Users/lenovo/Desktop/ALOHA%20Program/AlohaHelp/aloha_help.htm#t=Atmospheric%2FUser_Input%2FStability_Class.htm (Erişim 02.02.2020)

Berkeley, D. (2015). California Dimethyl Ether Multimedia Evaluation Tier I Final DRAFT.

Biberci, A. A. (2019). Şehir İçi Akaryakıt Tesislerinde Oluşabilecek Bir Döküntü Senaryosunun Yangın Ve Patlama Olarak Etkilerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi.

C., F., & N., G. (2020). Dimethyl ether, A Review Of Production Processes And A Modeling Of The Indirect Route.

Çalışkan, H. (2019). Bir Çelik Dorse İmalat Tesissinde Boyahanedeki Patlayıcı Ortam Risklerinin Değerlendirilmesi. İstanbul: Yüksek Lisans Tezi.

Çelik, G. (2012). Bı-Functıonal Nanostructured Novel Catalysts For Dımethyl Ether Synthesıs Yüksek Lisans Tezi.

Çiftçi, A. (2009). Nanocomposıte Nafıon And Heteropolyacıd Incorporated, Yüksek Lisans Tezi.

Çobanoğlu, A. (2018). Çimento Sektöründe Gaz ve Toz Patlama Riskinin İş Güvenliği Açısından İncelenmesi Ve Korunma Dokümanı Hazırlanması.

Doğan, B. (2021). Patlamadan Korunma Eğitimi. ÇASGEM Patlamadan Korunma Eğitimi.

EPA (United States Environmental Protection Agency). (2020). ALOHA Software.

İBB İtfaiye Daire Başkanlığı. (2019). Yangın ve Kazalarla Mücadele Eğitim Kitabı.

İnce, A. (2015). Yangın Güvenlik Eğitimi.

Internationa DME Association. (2010). DME Industry and Association Overview. 4. International DME Conference. Stockholm.

Japan DME Accociation. (2020). Properties DME. http://japan-dme.or.jp/english/dme/index.html (Erişim 10.10.2020)

Jones R., W. L.-B. (2013). ALOHA (Areal Locatıons Of Hazardous Atmospheres) 5.4.4. Technical Documantation. Seattle, WA: NOAA.

Kaya, O. (2019). Yüksek Binalarda Yangın Ve Güvenlik Önlemlerinin Modellenerek İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi.

Kepekli, T. A. (2017). Buhar Bulutu Patlamalarının Fazla Basınç Etkilerinin Modellenmesinde Yaklaşımlar ve Yöntemler. Uluslarası İş Sağlığı ve Güvenliği Kongresi.

Kepekli, T. A. (2017). Endüstride Kimyasal Maddelerin Kaçakları ve Sonuçları. İş Güvenliği Zirvesi.

Kepekli, T. A. (2018). Gaz ve Sıvı Buhar Bulutu Patlamalarının Fiziksel Etkilerinin Modellenmesinde BST Metodolojisini Kullanan Bir Yazılım Çalışması. 3. Uluslararası Proses Güvenliği Sempozyumu. İstanbul.

Kepekli, T. A. (2019). Yangınlarda Oluşan Termal Radyasyon Etkisinin Modellenmesi. Yangın Sempozyumu ve Sergisi. Kocaeli: TMMOB Kimya Mühendisleri Odası.

Klomp, M. R. (2015). Dimethyl Ether Fuel Literature Review.

Makoś, P. (2019). Dimethyl ether (DME) as potential environmental friendly fuel.

MESA Specialty Gases & Equipment. (2018). Dimethyl Ether Safety Date Sheet.

Nexant. (2008). Dimethyl Ether (DME) Technology and Markets Raporu.

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). (2014). ALOHA Technical Resources. Office of Response and Restoration. (Erişim 04.05.2020)

NOAA's National Ocean Service; Office of Response and Restoration. (2020). ALOHA. https://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/aloha.pdf (Erişim 06.07.2020)

Ohno, Y. (2011). DME in Japan -Perspective on New Paradigm after Fukushima. 7th Asian DME Conference. Toki Messe Convention Center, Niigata.

Olgun, P. (2019). Bir Büyük Endüstriyel Kimyasal Depolama Tesisinde Domino Etkili Kaza Oluşumu Ve Sonuçlarının Bst Metodu Ve Aloha Yazılımı Kullanılarak İncelenmesi,Yüksek Lisans Tezi.

OtoTeknik. (2020). DME'in Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri. https://www.ototeknikveri.com/teknik-bilgi/65/2-dme-nin-fiziksel-ve-kimyasal-ozellikleri (29.04.2020)

Özkılıç, Ö. (2008). Atex Direktifleri Çerçevesinde Patlayıcı Ortam Sınıflandırma Ve Patlayıcı Ortam Risk Değerlendirmesi. Sempozyum Tebliğleri Kitabı. https://docplayer.biz.tr/422218-Atex-direktifleri-cercevesinde-patlayici-ortam-siniflandirma-ve-patlayici-ortam-risk-degerlendirmesi.html (02.05.2020)

Özkılıç, Ö. (2012). Dünyada Yaşanan Büyük Endüstriyel Kazalar – ATEX Direktiflerine Neden İhtiyaç Duyuldu? Atex Parlayıcı ve aAtlayıcı Ortamda Güvenlik Sempozyumu Bildiriler Kitabı (s. 49-52). Ankara: TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası.

Öztürk, N. F. (2015). Intensıfıed Dımethyl Ether Productıon From Synthesıs Gas With CO2. İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi.

Pulidindi, K., & Pande, H. (2019). Bio-based and Synthetic Dimethyl Ether (DME) Market Size By Raw Material 2019 – 2025.Global Market İnsights: https://www.gminsights.com/industry-analysis/dimethyl-ether-dme-market (Erişim 15.03.2020)

Slil, E. (2019, Haziran). Bir Petrol Rafinerisinde Amonyak Tankında Kaza Sonuçlarının ALOHA Modelleme Yazılımı ile Değerlendirilmesi. İstanbul.

Sönmez, Y. M. (2017). ÇASGEM, Patlamadan Korunma Dökümanı Hazırlama Eğitimi.

Şahin, Ş. (2019). Bitkisel Yağ Ekstraksiyonunda Kullanılan Çözücü İçin Patlama Riski Değerlendirilmesi. İstanbul.

T.C. Resmi Gazete. (2012). İş Sağlığı Ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği. (28512).

T.C.Resmi Gazete. (2007). Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik. (26735).

T.C.Resmi Gazete. (2012). 6331 İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu. 52(28339).

T.C. Resmi Gazete. (2013). Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik.

TARKİM. (2020). Üretim Tesisleri.http://www.tarimsalkimya.com.tr/#tesis (Erişim 20.03.2020)

Terzioğlu, L. (2007). Industrial Explosıons Modelling: Special Case an LPG Explosion. İstanbul.

Tezcan, E. (2009). Patlama ve Patlamadan Korunma Eğitimi. V. Ulusal İş Sağlığı ve Güvenliğ Kongresi, 50. Adana.

TS EN 13501-2. (2016). TS EN 13501-2 Yapı mamulleri ve yapı elemanları - Yangın sınıflandırması - Bölüm 2: Yangına dayanım deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak sınıflandırma. Ankara.

Uslu, Ö. A. (2019). Endüstriyel Tesislerde Yanıcı, Parlayıcı Kimyasal Sıvıların Teorik(ATEX) ve Uygulamalı Olarak Hesap Edilerek Önlemlerin Belirlenmesi.

Xinming Qian, R. Z. (2021). Cause Analysis of the Large-Scale LPG Explosion Accident Based on Key Investigation Technology: A Case Study. ACS Omega(6), 20644-20656. doi:https://doi.org/10.1021/acsomega.1c02837

Yavuz, İ. (2016). Petrokimya Sektörü Likit Petrol Gazı Depolama Ünitesinde Patlama Olayının Değerlendirilmesi, Uzmanlık Tezi.

7. ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı: Zümrüt TERCAN

Doğum Yeri:

E-posta:

Mezun Olduğu Lisans Programı: Kocaeli Üniversitesi, Kimya Mühendisliği, Lisans, 2014