



T.C.
ÜSKÜDAR ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

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

**BÜYÜK ENDÜSTRİYEL KAZALARIN DOMİNO ETKİLERİNİ
MODELLEME, ÖNLEME VE YÖNETME**

Cüneyt ÇAKIR

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Rüştü UÇAN**

İSTANBUL-2020

T.C.
ÜSKÜDAR ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

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

**BÜYÜK ENDÜSTRİYEL KAZALARIN DOMİNO ETKİLERİNİ
MODELLEME, ÖNLEME VE YÖNETME**

Cüneyt ÇAKIR

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Rüştü UÇAN**

İSTANBUL-2020

T.C.
ÜSKÜDAR ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Anabilim Dalı : İş Sağlığı ve Güvenliği
Program : Tezli Yüksek Lisans
Öğrenci No : 174203046
Öğrenci Adı Soyadı : Cüneyt ÇAKIR

Büyük Endüstriyel Kazaların Domino Etkilerini Modelleme, Önleme ve Yönetme isimli çalışma aşağıdaki jüri tarafından 14.02.2020 tarihinde yapılan sınavda Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir.

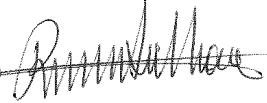
Jüri Başkanı : Dr. Öğr. Üyesi T. Aykan KEPEKLİ
(Yeni Yüzyıl Üniversitesi)

İmza



Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Rüştü UÇAN
(Üsküdar Üniversitesi)

İmza



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Nuri BİNGÖL
(Üsküdar Üniversitesi)

İmza



ONAY

Bu tez, yukarıdaki jüri üyeleri tarafından uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

Doç.Dr. Türker Tekin ERGÜZEL
Enstitü Müdür V.

ÖZET

BÜYÜK ENDÜSTRİYEL KAZALARIN DOMİNO ETKİLERİNİ MODELLEME, ÖNLEME VE YÖNETME

Gelişen endüstri günlük yaşamımızı giderek kolaylaştırırsa da bu imkanları sunabiliyor olması bir takım tehlikeleri de yanında getirmiştir. Özellikle tehlikeli proseslere sahip tesisler, özellikle entegre tesisler ve bu tesislerin bir araya geldiği organize sanayi bölgeleri tehlikenin boyutunu daha artırmaktadır.

Proses şartlarında önceden ön görülmeyen bir durumun sonucu oluşabilecek kaza tesis içerisinde diğer prosesleri, birbirine komşu olan tesisleri ve hatta bölgede yaşayan yerel halkı dahi tehdit edebilir. Bu çalışmada “domino etkilerinin” nasıl yönetilebileceği konusunda yol göstermeyi amaçlamaktadır. Tesis yönetimi ve organize sanayi bölge yönetimini yaşanan kazaların domino etkilerinden kaynakları doğru kullanarak nasıl önleyeceklerini ve etkilerini nasıl azaltabileceklerini optimize etmektedir.

Tesislerde büyük endüstriyel kazaya yol açan bazı birincil kaza senaryolarının tespiti çok zor değildir. Fakat bu birincil kazanın sebep olduğu büyük endüstriyel kazaların tespiti ve etkilerinin belirlenmesi için daha detaylı çalışmalar gerekmektedir. Tesis içi domino etkileri ve dış domino etkileri diye ikiye ayırarak tesislerin öncesinde bu iç domino etkilerini yönetmekle ilgilenmesi gerekmektedir. Aslında tesis içi yapılan bu çalışma tesis dışını etkileyebilecek dış domino etkilerini de azaltmakta olsa da tamamen ortadan kaldırmamaktadır. Dahası bu tür dış etkileri yönetmek tesisler arası yönetim gereksinimleri gerekliliğini de ortaya çıkarmaktadır.

Ortak emniyet prosedürleri (harici domino risklerini tanımlama, değerlendirme ve sürekli optimizasyonu) tesislerin birbirleri arasında işbirliğine dayanmaktadır. Tesisler arası işbirliğini geliştirmek ve bu etkileri doğru öngörebilmek için mutlak bilime dayalı bir takım yazılımlar kullanılması gerekliliğini getirmektedir.

Bu yazılımlardan birisi kullanılarak hala faaliyette olan bir sanayi bölgesi içerisinde tesislerin kendi içerisinde ve komşu tesislere olan domino etkileri modellenmesi, önlenmesi ve yönetilmesi için çalışma yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Büyük endüstriyel kaza, modelleme, domino etkisi, patlama, Phast.

ABSTRACT

MODELING, PREVENTING AND MANAGING OF DOMINO EFFECT OF MAJOR INDUSTRIAL ACCIDENTS

Although the developing industry has made our daily lives easier, its ability to offer these opportunities has brought some dangers. Especially hazardous processes, especially integrated facilities and organized industrial zones where these facilities come together increase the extent of the danger.

The accident that may occur as a result of an unforeseen situation in the process conditions may threaten other processes within the facility, neighboring facilities and even local people living in the region. In this study, it aims to guide how "domino effects" can be managed. Facility management and organized industry optimize regional management how to prevent accidents from domino effects by using resources correctly and how to reduce their effects.

It is not very difficult to detect some primary accident scenarios that lead to major industrial accidents in the facilities. However, more detailed studies are required to detect the major industrial accidents caused by this primary accident and to determine their effects. The facilities should be concerned with managing these internal domino effects by dividing them into two as internal domino effects and external domino effects. In fact, this in-house study reduces the effects of external dominoes that may affect the exterior of the facility, but does not completely eliminate them. Moreover, managing such external impacts reveals the need for cross-site management requirements.

Joint safety procedures (identifying, assessing and continuous optimization of external domino risks) are based on the cooperation of the facilities. It is necessary to use absolute science based software in order to develop cooperation between facilities and to predict these effects correctly.

Using one of these softwares, an effort was made to model, prevent and manage domino effects on the plants within and within neighboring facilities within an industrial zone that is still in operation.

Keywords: major industrial accidents, modelling, domino effect, explosion, Phast.

TEŞEKKÜR

İŞ gvenliği uzmanlığı yüksek lisans programında üzerimde emekleri bulunan sevgili hocalarıma,

Özellikle, çalıŐmam esnasında her türlü ilgi, alaka ve yardımı esirgemeyen, bilgileri ile çalışmama ıŐık tutan hocalarım Sayın ÖĞr. Gör. Efari Bahevan, Dr. ÖĞr. Üyesi Nuri Bingöl ve özellikle çalıŐmamın danıŐmanını Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Rüştü Uçan'a teşekkür ederim.

Őüphesiz ki, çalıŐmalarımnda ve hayatımda ailemin desteği benim için çok önemlidir. Aileme yüksek lisans eğitimim ve bu çalışmanın hazırlanması sırasında göstermiŐ oldukları desteklerden dolayı en içten dileklerimle teŐekkürlerimi sunarım.

BEYAN FORMU

Bu çalışmadaki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, yararlandığım kaynaklara bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu, tezimin kaynak gösterilen durumlar dışında zgn olduğunu, tarafımdan üretildiğini ve şkdar niversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzuna göre yazıldığını beyan ederim

14.02.2020
Cüneyt ÇAKIR
İmzası

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
BEYAN FORMU	iv
İÇİNDEKİLER	v
TABLOLAR DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Domino Etkileri Üzerine Tarihsel Geçmiş ve Çalışmanın Önemi	3
2.2. Domino Etkilerinin Önlenmesi İçin Emniyet ve Güvenlik	7
2.3. Domino Etkileri ve Kimyasal Sanayi Alanları	9
2.3.1. Patlama.....	10
2.3.2. Yayılım	11
2.3.3. Toksik Etki.....	13
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	14
3.1. Patlama.....	14
3.1.1. BLEVE Patlaması	14
3.1.1.1. Matematiksel Model	15
3.1.1.1.A. Bleve Patlamasının Mekanizması	15
3.1.1.1.B. Patlama Enerjisi	16
3.1.1.1.C. Tanklarda Patlama Parametreleri	19
3.1.2. Buhar Bulutu Patlaması	21
3.1.2.1. Çoklu Enerji Modeline Genel Bakış	23

3.1.2.2. Baker-Strehlow-Tang Modeline Genel Bakış.....	24
3.1.2.3 Buhar Bulutunun Engellenmemiş ve Engellenmiş Kısımları	26
3.2. Yayılım	28
3.3. Toksik Etki.....	31
3.3.1. Rüzgâr Kıvrımının Konsantrasyonlar Üzerinde Etkisi-Ortalama Süre Etkisi	32
3.3.2. Toksik Salınımlar İçin Ortalama Sürenin Değerlendirilmesi	33
3.3.2.1. Mevcut Değerlendirme	33
3.3.2.2. Konsantrasyondan Kaynaklanan Toksik Etki	33
3.3.2.3. Maruz Kalınan Dozdan Kaynaklanan Toksik Etki	33
3.3.2.4. Maruz Kalma Süresinin Değerlendirilmesi	34
3.4. Salınım Kaynaklarının Etki Mesafelerinin Modellenmesi	34
4. BULGULAR.....	36
4.1. Genel Bilgiler.....	36
4.2. Modellemeler ve Etki Mesafeleri	38
4.2.1. A Tesisi	39
4.2.2. B Tesisi	43
4.2.3. C Tesisi	47
4.2.4. D Tesisi	78
5.TARTIŞMA.....	84
5.1. Domino Etki Değerlendirmesine Yaklaşım.....	86
5.1.1. Domino Tehlikesinin Ön Analizi.....	88
5.1.2. Domino Senaryolarının Kantitatif Risk Analizi	91
5.1.3. En Kötü Durum veya Beklenen Maksimum Kaza Şiddeti Analizi	93
5.2. Domino Etkilerinin Tasarım Tabanlı Bir Bakış Açısı ile Yönetim	95
5.2.1. Kazanın Etkisi İçin Emniyet Mesafeleri.....	95
5.2.2. Güvenlik Bariyerleri	96
5.2.2.1. Doğal Güvenlik Bariyerleri	97

5.2.2.2. Pasif Güvenlik Bariyerleri	99
5.2.2.3. Aktif ve Prosedür Güvenlik Engelleri	100
5.3. Kimyasal Tesislerde Domino Etkilerini Yönetim	101
5.3.1. Dahili Domino Etkilerini Yönetim	103
5.3.1.1. Yaklaşım 1 “İnsan”	103
5.3.1.2. Yaklaşım 2 “Prosedür”	107
5.3.1.3. Yaklaşım 3 “Teknoloji”	113
5.3.2. Harici Domino Etkilerini Yönetim	114
5.3.2.1. Yaklaşım 1 “İnsan”	114
5.3.2.2. Yaklaşım 2 “Prosedür”	119
5.3.2.3. Yaklaşım 3 “Teknoloji”	125
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	127
KAYNAKLAR	130
EKLER	142
Ek 1. Özgeçmiş	142

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 1: 2012/18 / AB Direktifinin Domino Etkisine İlişkin 9. Maddesinin Gereklilikleri	4
Tablo 2: 2012/18 / AB Üye Devletleri Domino Etkilerine İlişkin Rapor Gereksinimleri	5
Tablo 3: Emniyet ve Güvenlik Arasındaki Farkların Listesi	8
Tablo 4: Kaza Etkisinin Artması için Önerilen Eşik Değerleri ve Güvenlik Mesafeleri Örneği	89
Tablo 5: Farklı birincil senaryolar için dikkate alınan kaza şiddetini artırıcı eşikler ve emniyet mesafeleri	96
Tablo 6: Domino Hazop analiz rehberi kelimeler ve anlamları.....	112
Tablo 7: Domino Hazop analiz parametreleri.....	113
Tablo 8: Domino Hazop çalışması.....	113
Tablo 9 : Olası domino etkileriyle mücadelede, önleme ve koruma önlemleri.....	115
Tablo 10 : Acil durum planlama matrisi örneği.....	123

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1: Anında salınan bir madde bulutunun evrimi.....	13
Şekil 2: Çoklu Enerji Eğrileri İçin Temel Olarak İdeal Buhar Bulutu Patlaması.....	24
Şekil 3: BST patlama eğrilerinin temeli olarak İdeal Buhar Bulutu Patlaması	25
Şekil 4: Belirli Bir Zamanda Bulut Sınırları Örneği	26
Şekil 5: Engellenen Bir Bölgeden Başlayan Buhar Bulutu Örneği.....	27
Şekil 6 : Birleşik yayılım modelinde sürekli yayılım için bulut geometrisi	29
Şekil 7: Birleşik yayılım modelinde çeşitli senaryolar için bulut dağılımındaki aşamalar	31
Şekil 8: Rüzgar kıvrımının konsantrasyon profiline etkisi.....	32
Şekil 9: Organize Sanayi Bölgesi Krokisi.....	37
Şekil 10: Patlama Modellemesi Yüksek Basınç Etki.....	38
Şekil 11: Toksik Etki Modellemesi ve Mesafesi	39
Şekil 12: 6 m ³ LNG tankı -katastrofik yarılma- en kötü senaryo erken patlama aşırı basınç etkisi kuşbakışı görünümü	39
Şekil 13: 6 m ³ LNG tankı -katastrofik yarılma- dağılım modellemesi yandan görünüm.....	40
Şekil 14: 6 m ³ LNG tankı -katastrofik yarılma- erken patlama aşırı basınç etkisi	40
Şekil 15: 6 m ³ LNG tankı sızıntı(10 cm)- en kötü senaryo geç patlama etkisi kuş bakışı görünümü	41
Şekil 16: 6 m ³ LNG tankı- sızıntı(10 cm)- dağılım modellemesi yandan görünüm.....	41
Şekil 17: 6 m ³ LNG tankı- sızıntı(10 cm)- en kötü senaryo geç patlama aşırı basınç etkisi	42
Şekil 18: 6 m ³ LNG tankı- sızıntı(10 cm)- geç patlama en kötü senaryo etkisi	42
Şekil 19: 4 m ³ aerosol - katastrofik yarılma- geç patlama en kötü senaryo etkisi kuş bakışı görünüm	43
Şekil 20: 4 m ³ aerosol -katastrofik yarılma-dağılım modellemesi yandan görünüm	43
Şekil 21: 4 m ³ aerosol- katastrofik yarılma-en kötü senaryo geç patlama aşırı basınç etkisi	44
Şekil 22: 4 m ³ aerosol- katastrofik yarılma-geç patlama en kötü senaryo etkisi.....	44
Şekil 23: 4 m ³ aerosol -sızıntı (10 cm) - dağılım modellemesi yandan görünüm	45
Şekil 24: 4 m ³ aerosol sızıntı (10 cm)-en kötü senaryo geç patlama aşırı basınç etkisi .	45
Şekil 25: 4 m ³ aerosol sızıntı (10 cm)-geç patlama en kötü senaryo etkisi	46

Şekil 26: 60 m ³ white spirit 1-2 katastrofik yarılma-dağılım modellemesi yandan görünüm.....	47
Şekil 27: 60 m ³ white spirit 1-2 katastrofik yarılma- en kötü senaryo geç patlama aşırı basınç etkisi.....	47
Şekil 28: 60 m ³ white spirit 1-2 katastrofik yarılma- geç patlama etn kötü senaryo etkisi	48
Şekil 29: 60 m ³ white spirit 1-2 sızıntı(10 cm)-dağılım modellemesi yandan görünüm	48
Şekil 30: 60 m ³ white spirit 1-2 sızıntı(10 cm)-en kötü senaryo geç patlama aşırı basınç etkisi.....	49
Şekil 31: 60 m ³ white spirit 1-2 sızıntı(10 cm)-geç patlama en kötü senaryo etkisi	49
Şekil 32: Metil Etil Keton 12 ton- katastrofik yarılma- geç patlama en kötü senaryo etkisi	50
Şekil 33: Metil Etil Keton 12 ton- katastrofik yarılma- dağılım modellemesi yandan görünüm.....	50
Şekil 34: Metil Etil Keton 12 ton katastrofik yarılma-en kötü senaryo geç patlama aşırı basınç etkisi.....	51
Şekil 35: Metil Etil Keton 12 ton katastrofik yarılma-geç patlama en kötü senaryo etkisi	51
Şekil 36: Metil Etil Keton 12 ton sızıntı(10 cm)-en kötü senaryo geç patlama aşırı basınç etkisi.....	52
Şekil 37: Metil Etil Keton 12 ton sızıntı(10 cm)-geç patlama en kötü senaryo etkisi	52
Şekil 38: Ksilen 12 ton katastrofik yarılma-dağılım modellemesi yandan görünüm	53
Şekil 39: Ksilen 12 ton sızıntı(10 cm)- en kötü senaryo geç patlama kuş bakışı görünüm	53
Şekil 40: Ksilen 12 ton sızıntı(10 cm) –en kötü senaryo geç patlama aşırı basınç etkisi	54
Şekil 41: Ksilen 12 ton sızıntı(10 cm)-geç patlama en kötü senaryo etkisi.....	54
Şekil 42: Aseton 12 ton katastrofik yarılma- en kötü senaryo geç patlama kuş bakışı görünüm.....	55
Şekil 43: Aseton 12 ton katastrofik yarılma-dağılım modellemesi yandan görünüm	55
Şekil 44: Aseton 12 ton katastrofik yarılma –en kötü senaryo geç patlama aşırı basınç etkisi.....	56
Şekil 45: Aseton 12 ton katastrofik yarılma-geç patlama en kötü senaryo etkisi.....	56
Şekil 46: Aseton 12 ton sızıntı(10 cm)- en kötü senaryo geç patlama etkisi kuş bakışı görünüm.....	57

Şekil 47: Aseton 12 ton sızıntı(10 cm)-dağılım modellemesi yandan görünüm	57
Şekil 48: Aseton 12 ton sızıntı(10 cm) – en kötü senaryo geç patlama aşırı basınç etkisi	58
Şekil 49: Aseton 12 ton sızıntı(10 cm) – geç patlama en kötü senaryo etkisi	58
Şekil 50: N-butanol 12 ton katastrofik yarılma-dağılım modellemesi yandan görünüm	59
Şekil 51: N-butanol 12 ton sızıntı(10 cm)-dağılım modellemesi yandan görünüm	59
Şekil 52: N-butanol 12 ton sızıntı(10 cm)-en kötü senaryo geç patlama aşırı basınç etkisi	60
Şekil 53: N-butanol 12 ton sızıntı(10 cm) –geç patlama en kötü senaryo etkisi	60
Şekil 54: N-butil asetat 12 ton katastrofik yarılma- dağılım modellemesi yandan görünüm	61
Şekil 55: N-butil asetat 12 ton sızıntı(10 cm)-en kötü senaryo geç patlama aşırı basınç etkisi.....	61
Şekil 56: N-butil asetat 12 ton sızıntı(10 cm)-geç patlama en kötü senaryo etkisi	62
Şekil 57: Aseton 18 ton katastrofik yarılma- en kötü senaryo(geç patlama) kuş bakışı görünüm	62
Şekil 58: Aseton 18 ton katastrofik yarılma-dağılım modellemesi yandan görünüm	63
Şekil 59: Aseton 18 ton katastrofik yarılma- en kötü senaryo geç patlama aşırı basınç etkisi.....	63
Şekil 60: Aseton 18 ton katastrofik yarılma- geç patlama en kötü senaryo etkisi.....	64
Şekil 61: Aseton 18 ton sızıntı(10 cm)- en kötü senaryo geç patlama etkisi kuş bakışı görünüm	64
Şekil 62: Aseton 18 ton sızıntı(10 cm)- dağılım modellemesi yandan görünüm	65
Şekil 63: Aseton 18 ton sızıntı(10 cm)- en kötü senaryo geç patlama aşırı basınç etkisi	65
Şekil 64: Aseton 18 ton sızıntı(10 cm) – geç patlama en kötü senaryo etkisi	66
Şekil 65: Tolüen 1-2 44 ton katastrofik yarılma- en kötü senaryo geç patlama kuş bakışı görünüm	66
Şekil 66: Tolüen 1-2 44 ton katastrofik yarılma-dağılım modellemesi yandan görünüm	67
Şekil 67: Tolüen 1-2 44 ton katastrofik yarılma- en kötü senaryo geç patlama aşırı basınç etkisi.....	67
Şekil 68: Tolüen 1-2 44 ton katastrofik yarılma- geç patlama en kötü senaryo etkisi ...	68
Şekil 69: Tolüen 1-2 44 ton katastrofik yarılma- ölümcül toksik etkisi	68

Şekil 70: Toluen 1-2 44 ton sızıntı (10 cm)- en kötü senaryo geç patlama kuş bakışı görünüm.....	69
Şekil 71: Toluen 1-2 44 ton sızıntı (10 cm)- dağılım modellemesi yandan görünüm	69
Şekil 72: Toluen 1-2 44 ton sızıntı (10 cm)-en kötü senaryo geç patlama aşırı basınç etkisi	70
Şekil 73: Toluen 1-2 44 ton sızıntı (10 cm)- geç patlama en kötü senaryo etkisi	70
Şekil 74: Toluen 1-2 44 ton sızıntı (10 cm)- ölümcül toksik dağılım etkisi.....	71
Şekil 75: Tiner 6 ton katastrofik yarılma-en kötü senaryo geç patlama kuş bakışı görünüm	71
Şekil 76: Tiner 6 ton katastrofik yarılma-dağılım modellemesi yandan görünüm	72
Şekil 77: Tiner 6 ton katastrofik yarılma- geç patlama aşırı basınç etkisi.....	72
Şekil 78: Tiner 6 ton katastrofik yarılma-geç patlama en kötü senaryo etkisi	73
Şekil 79: Tiner 6 ton katastrofik yarılma-ölümcül toksik etkisi	73
Şekil 80: Tiner 6 ton sızıntı(10 cm)-en kötü senaryo geç patlama etkisi kuş bakışı görünüm.....	74
Şekil 81: Tiner 6 ton sızıntı(10 cm)-dağılım modellemesi yandan görünüm	74
Şekil 82: Tiner 6 ton sızıntı(10 cm)-en kötü senaryo geç patlama aşırı basınç etkisi	75
Şekil 83: Tiner 6 ton sızıntı(10 cm)-geç patlama en kötü senaryo etkisi	75
Şekil 84: Tiner 6 ton sızıntı(10 cm)-ölümcül toksik etkisi	76
Şekil 85: Nitroselüloz TNT patlama modellemesi etkisi kuş bakışı görünüm	76
Şekil 86: Nitroselüloz TNT patlama modellemesi etkisi.....	77
Şekil 87: Amonyok tankı 30m ³ -kastrofik yarılma-toksik doz kuşbakışı görünümü....	78
Şekil 88: Amonyok tankı 30m ³ -kastrofik yarılma-dağılım modellemesi yandan görünüm.....	78
Şekil 89: Amonyak tankı 30m ³ -kastrofik yarılma-erken patlama aşırı basınç etkisi... 79	79
Şekil 90: Amonyak tankı 30m ³ -kastrofik yarılma-ölümcül toksik etki	79
Şekil 91: Amonyak tankı 30m ³ -kastrofik yarılma- toksik doz kuşbakışı görünümü... 80	80
Şekil 92: Amonyok tankı 30m ³ -sızıntı (10 cm)- toksik doz kuşbakışı görünümü.....	80
Şekil 93: Amonyok tankı 30m ³ -sızıntı (10 cm)-dağılım modellemesi yandan görünüm81	81
Şekil 94: Amonyok tankı 30m ³ -sızıntı (10 cm)-erken patlama aşırı basınç etkisi	81
Şekil 95: Amonyok tankı 30m ³ -sızıntı (10 cm)- toksik doz ölümcül etkisi kuşbakışı görünüm.....	82
Şekil 96: Amonyok tankı 30m ³ -sızıntı (10 cm)-toksik doz kuşbakışı görünümü.....	82

Şekil 97: amonyum nitrat 20 ton- tnt patlaması-erken patlama aşırı basınç etkisi genel görünümü	83
Şekil 98: hidrojen tüpleri-sızıntı (10 cm)-geç patla en kötü senaryo etkisi genel görünüm	83
Şekil 99: Domino etki analizi için gerekli adımlar	87
Şekil 100: Tehlikeli madde, salınımın şekline ilişkin emniyet mesafelerinin basitleştirilmiş grafikleri	90
Şekil 101: Domino senaryolarının kantitatif risk değerlendirmesinde gerekli adımlar ..	93



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AFAD	:Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
BLEVE	:Boiling liquid expanding vapor explosions – Kaynayan Sıvı Genleşen Buhar Patlaması
CCPS	:Center for chemical process safety – Kimyasal proses güvenliği merkezi
ETA	:Event tree analysis – Olay ağacı analizi
F-N	:Frequency-Number of fatality – Frekans-Ölüm sayısı
FTA	:Fault tree analysis – Hata ağacı analizi
HAZOP	:Hazard and operability – Tehlike ve İşletilebilirlik
HSE	:Health and Safety Executive
İSG	:İş Sağlığı ve Güvenliği
LOC	:Loss of Containment – Bütünlük kaybı
LOPA	:Layer of protection analysis – Koruma katmanları analizi
OSHA	:İş Sağlığı ve Güvenliği Ajansı
PFD	:Probability Failure on Demand – Talep anındaki hata olasılığı
PHA	:Process Hazard Analysis - Proses tehlike analizi
PHAST	:Process hazard analysis software tool – Proses tehlike analizi yazılım aracı
QRA	:Quantitative risk assessment – Kantitatif risk değerlendirmesi
SEVESO	:Avrupa Birliği Büyük Endüstriyel Kazaları Önleme Direktifi

1. GİRİŞ

Endüstri günümüzün yaşamları için ihtiyaçların çoğunu sağlar. Giderek artan bir nüfus ve buna bağlı olarak daha fazla mal ve malzeme ihtiyacı ve ürün ve süreçlerde inovasyona olan artan gereksinim nedeniyle, özellikle kimyasalların üretiminde son on yıllarda ciddi bir artış olduğunu bilinir. Bu nedenle, tehlikeli maddelerin kullanımı, depolanması, işlenmesi ve taşınması da artan bir eğilim ile karakterize edilir. Sonuç olarak, dünyanın her yerinde, yoğunlukla organize sanayi bölgelerine kimyasal tesisler inşa edilmektedir. Böylece, küresel ölçekte tehlikeli kimyasalları içeren faaliyetlerde ve nüfus yoğunluklarında birleşik bir artış gözlemlenmektedir.

Dünya çapındaki bu durum daha fazla servet ve daha kolay yaşamın yanı sıra potansiyel tehlikelerin artmasına da neden olmaktadır. Kimya endüstrisinin emniyet skorları genellikle yüksek olsa bile, büyük kazaların, eğer gerçekleşirse, bu sanayi sektöründe ciddi sonuçlara yol açması muhtemeldir. Organize sanayi bölgeleri içerisinde kimyasal tesis kümeleri içindeki faaliyetlerin yoğunlaşması, birkaç tesis üzerinde eşzamanlı olarak etkili olan kazalara yol açabilir, bu da can kaybı, çevresel kirlenme, büyük varlık hasarı ve önemli finansal sonuçlara ve toplum hayatının kesintiye uğramasıyla topluluk yaşamının bozulmasına neden olabilir. En yıkıcı büyük kazalar arasında, bir “domino etkisinin” meydana geldiği, birincil kazanın büyümesine ve muhtemelen birden fazla tesisi içeren birincil olayın yayılmasına neden olan kazalardır.

“Domino etkisi” nedeniyle tehlike iyi bilinmekte ve emniyet standartları ve mevzuatında ele alınmaktadır. Felekaet (katastrofik) kazaları, 1984 yılında bir tesisin neredeyse tamamen yok edildiği ve 500'den fazla kişinin öldüğü Meksiko'da olduğu gibi, bu özel kaza kategorisi nedeniyle yüksek bir tehlike algısına yol açmıştır.

Bununla birlikte, domino etkilerinin değerlendirilmesi için modellemeler kaza senaryosu ve oluşumunun karmaşıklığı nedeniyle talep edilmektedir. Domino senaryolarından kaynaklanan risklerin nicel değerlendirmesi ve yönetiminin nedeni budur. Bu tür kazaların son derece düşük olasılıkları ile birlikte genellikle kimyasal faaliyetlerin emniyet değerlendirmesinden ayrılmasına yol açar.

Bu çalışma kimyasal ve proses endüstrisindeki domino etkilerini önleme, modelleme ve yönetimiyle başa çıkmak için en gelişmiş öngörüler, modeller, teoriler, kavramlar, çerçeveler, teknolojiler ve metodolojileri sunar. Proses ve tesis güvenli

tasarım ve operasyonda artan olayları ele almak zorunda olan her profesyonel için standart bir destek aracı ve aynı zamanda konuyla ilgili daha fazla araştırma için en son teknolojiyi belirten bir referans noktası olması amaçlanmıştır.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Domino Etkileri Üzerine Tarihsel Geçmiş ve Çalışmanın Önemi

Proses güvenliğinin ilk zamanlarından bu yana, “domino etkisi” içeren kazalardan kaynaklanan potansiyel tehlikeler kabul edilmiştir. Kimya ve proses endüstrileri içinde aktif olan tesislerin büyük entegre tesislere (“kimyasal kümeler” olarak adlandırılır) yoğunlaşması 1960'larda başladı. Entegrasyon artışı ve işletme maliyetlerinin azaltılması ile ihtiyaç duyulan tek tesislerin üretim potansiyelindeki artış, sanayi sitelerinin karmaşıklığında ve genişlemesinde kademeli bir artışa yol açtı. Bu, geniş endüstriyel alanlarda bulunan tehlikeli madde envanterinin büyümesine karşılık geldi ve böylece "domino etkileri" olarak adlandırılan ciddi kazaların potansiyelini artırdı.

Genel olarak kimya endüstrisinde dünya çapında büyük kazaların (European Directive 69/82/EC) meydana geldiği üzüntüyle açıktır. Bunlar arasında, kimyasal ve proses tesisleri için ilgili sayıda ciddi “domino” kazası belgelenmiştir (Lees 1996; Rasmussen 1996; Delvosalle 1996; Kourniotis 2000; Darbra 2010; Abdolhamidzadeh 2011). Büyük kazalar endüstrinin (kendiliğinden şikayetçi) tutumu ile birlikte, belirli bir zamanda kimyasal proses endüstrisinin emniyet algısında bir değişikliğe yol açtı. 1974'te meydana gelen Flixborough kazası ve 1976'da meydana gelen Seveso kazası Avrupa'da bir dönüm noktasını temsil eder. Toplum, kimyasal endüstriyel faaliyetlerin tehlike ve risklerinin çok yüksek derecede olduğunu anlamaya başlamıştı ve endüstride daha aktif bir önleme politikasının gerekli olduğuna karar verilmiştir.

Bununla birlikte, bazı kimyasal kazalarda meydana gelen ölüm ve büyük yıkım nedeniyle yüksek risk algısı, Avrupa'da büyük kaza tehlikelerinin kontrolü için gelişmiş bir mevzuatın kabul edilmesine yol açmıştır. İlk “Seveso” Direktifi (82/501 / EEC Direktifi) kimyasal ve proses sahalarında emniyetin kapsamlı bir değerlendirmesini istemiştir. “Domino” kaza olasılığını değerlendirme gereği bu Direktifte zaten belirtilmiştir, ancak o zaman bu tür senaryoların tanımlanmasına ve değerlendirilmesine izin verecek teknik bir yaklaşım veya özel bir araç mevcut değildir.

Muhtemelen iyi bilinen domino kazalarından biri olan 1984'te Mexico City felaketinin neden olduğu büyük yıkım, etkisinin artması tehlikesine istinaden bir endişe yarattı. Domino etkilerini içeren kazaların potansiyel şiddetinin gösterilmesi, o zamandan beri domino kaza senaryolarının önlenmesi için önemli çabalara yol açmıştır. Büyük kaza

tehlikesinin kontrolü ile ilgili teknik standartlar ve mevzuat domino etkilerini değerlendirmek, kontrol etmek ve önlemek için önlemler içermektedir. Çeşitli teknik standartlar, domino olaylarının olasılığını kontrol etmek ve azaltmak için önleyici tedbirler getirmektedir.

Yukarıda belirtildiği gibi Avrupa’da domino etkilerinin tehlikesi “Güvenlik Raporu” yükümlülüğü altından olan tüm tesislerde domino tehlikelerinin değerlendirilmesi ilk Seveso Direktifi’nden (82/501 / ECC Direktifi) bu yana bilinmektedir. Seveso II Direktifi’nin 8. maddesi (96/82 / EC sayılı Direktif) ve şu anda Seveso-III Avrupa Direktifi’nin (2012/18 / EU sayılı Direktif) 9. maddesi özellikle domino etkilerine adanmıştır. Yakınında bulunan tesislere birincil kazayı aktarabilecek domino senaryolarının değerlendirilmesini gerektiren ve aşağıda da paylaşılan tablo en son Seveso Direktifi’nin 9.maddesinin gerekliliklerini özetlemektedir.

Tablo 1: 2012/18 / AB Direktifinin Domino Etkisine İlişkin 9. Maddesinin Gereklilikleri

2012/18 / AB Direktifinin Domino Etkisine İlişkin 9. Maddesinin Gereklilikleri
1. Üye Devletler, yetkili makamın 7 ve 10. Maddelere göre operatörlerden aldığı bilgileri kullanarak veya yetkili makamdan ek bilgi talebini takiben veya 20.Madde uyarınca yapılan incelemeler yoluyla tüm alt kademeleri ve büyük bir kazanın riskinin veya sonuçlarının, bu konunun coğrafi konumu ve yakınlığı ve tehlikeli madde envanterleri nedeniyle artırılabilceği üst düzey kuruluşlar veya kuruluş grupları.
2. Yetkili makamın 7 (1) maddesinin (g) maddesi uyarınca işletmeci tarafından sağlanan bilgilere ek bilgi olması halinde, bu maddenin uygulanması için gerekli olması halinde, bu bilgiyi söz konusu işletmeciye ulaştıracaktır.
3. Üye Devletler, paragraf 1 uyarınca tanımlanan tesislerin işletmecilerinin: a) bu kuruluşların MAPP'lerinde, emniyet yönetim sistemlerinde, güvenlik raporlarında ve iç acil durum planlarında meydana gelen büyük bir kazanın genel tehlikesinin niteliğini ve kapsamını dikkate almalarını sağlayacak uygun bilgi alışverişinde bulunmak; b) bu Direktifin kapsamı dışında kalan kamu ve komşu alanların bilgilendirilmesi ve dış acil durum planlarının hazırlanmasından sorumlu makama bilgi sağlanması konusunda işbirliği yapmak

Dolayısıyla Domino etkileri, büyük kaza tehlikeleriyle ilgili olarak Avrupa Direktifinde resmen tanınmaktadır. Önleyici mevzuat olan madde, büyük kazaları önleme tedbirleri hakkında şirketler arası değiştirilebilir bilgilerle açıkça ilgilidir. Direktif, bir domino etkisi neyin oluşturduğuna dair kesin bir tanım sunmamakla birlikte, 24. Madde, Komisyon tarafından bu özel nokta ve daha genel olarak domino etkisi konusunda rehberlik sağlanması olasılığını öngörmektedir.

Seveso Direktiflerinin pratik uygulamasında Komisyon, üye devletlere bu Direktiflerin uygulanmasına ilişkin anketlere dayanarak periyodik raporlar talep etmektedir (belge 2002/605 / EC - Konsey Direktifi ile ilgili anketle ilgili 17 Temmuz 2002 tarihli Avrupa Komisyonu Kararı) 96/82 / EC). Aşağıdaki tabloda ilk raporlama dönemi için hazırlanan ankette (2003-2005) domino etkisi ile ilgili gerekliliklere genel bir bakış sunmaktadır.

Tablo 2: 2012/18 / AB Üye Devletleri Domino Etkilerine İlişkin Rapor Gereksinimleri

AB Üye Devletleri Domino Etkilerine İlişkin Rapor Gereksinimleri (AT, 2002)			
Gerekli Bilgi	1. Yıl	2.Yıl	3.Yıl
Genel arka plan bilgileri	Sayısal olmayan	Sayısal olmayan	Sayısal olmayan
Kaç kuruluş grubu?	✓	✓	✓
Grup başına ortalama işyeri sayısı?	✓	✓	✓
En küçük gruptaki işyeri sayısı?	✓	✓	✓
En büyük gruptaki işyeri sayısı?	✓	✓	✓
Uygun bilgi alışverişinin sağlanması için strateji?	Sayısal olmayan	Sayısal olmayan	Sayısal olmayan

Arazi kullanım planlaması (LUP) da domino kazaları ile yakından ilgilidir. Bir yandan, kaza senaryolarının artmasını önlemek için farklı tesisler ve kritik birimler arasındaki emniyet mesafeleri çok önemlidir. Öte yandan, domino kazalarının sonuçları potansiyel olarak güvenilir olarak kabul edilebilecek en şiddetli durumlar arasındadır. Bu nedenle, domino senaryolarının muhasebeleştirilmesi, nüfusun büyük kazaların sonuçlarından korunması için kilit bir noktadır.

Geçtiğimiz yıllarda Avrupa üye devletlerinin mevzuatında domino kazaları için meydana gelme eşiği kriterlerini ve emniyet mesafelerini tanımlama konusundaki artan ilgiye rağmen, bazı paydaşlar domino etkilerine aşına değildir ve bir domino kazasının meydana gelme olasılığını azaltma konusunda yetersizdirler. Ayrıca, karmaşık endüstriyel alanlarda, bölgedeki tüm tesislerin koordineli çabaları sonucunda domino etkisinden korunma elde edilebilir. Aslında, sadece tek bir tesis domino etkilerine karşı önlem alırsa, komşu tesislerden gelebilecek olan etkilerinin önüne geçilmesi çok zor olacaktır. Bununla birlikte, eğer birçok şirket proaktif olarak domino riskleri ile başa çıkmaya karar verirse, sanayi alanları büyük ölçüde daha güvenli olacaktır, bunun nedeni birçok şirketin (işbirliği ve akıllı önlem alma yoluyla) birlikte hareket etmesinin önemli

olduğunu kanıtlamasıdır. Bu nedenle, bu süreci tetiklemek için, en son teknolojiye sahip bilgi ve rehberliğin mevcut olması, risk karar vericilerine domino etkilerine karşı nasıl yeterli koruma sağlanacağı konusunda teknoloji ve yönetim önerileri sunması önemlidir. Bu çerçevede, bilgi boşluklarını doldurmaya yönelik araştırma çabaları hala temel öneme sahiptir.

Emniyet bilimini işlemek için domino etkisi kaza senaryolarının ortaya koyduğu temel kavramsal sorun karmaşıklığıdır. Aslında bir domino senaryosu, sadece parçalarının işleyişini değil, arızalarını önlemek için tüm karmaşık bir sistemin işleyişini dikkate almanın gerekli olduğu eşiğin ötesindedir (Leveson, 2004). Bazı öncü çalışmalar bu konuyu tanıdı ve domino etkilerinin analizini ele aldı. Muhtemelen, literatürde mevcut olan konuyla ilgili ilk sistematik çalışma, 1991 yılına dayanan ve tırmanma değerlendirmesine ilk yaklaşım öneren Bagster ve Pitblado'dur (Bagster ve Pitblado, 1991). 1995'ten sonra domino değerlendirmesi için kalitatif metodolojilerle ilgili başka çalışmalar da yapılmıştır (Contini 1996; Gledhill ve Lines, 1998; Delvosalle, 1998). Sorunun bazı belirli yönlerine (örneğin domino frekans tahmini, termal radyasyona bağlı domino etkilerinin deterministik tahmini gibi) önemli katkılar sağlanmıştır. Bununla birlikte, iki ana konu 1990'larda domino etkilerinin niceliksel değerlendirmesini engelledi: birincisi sonuç değerlendirmesiyle doğrudan ilişkili olarak coğrafi bilgilerle başa çıkabilen entegre yazılım araçlarının yetersiz gelişimi ve ikincisi yapısal hasar hakkında bilgi eksikliği domino etkileri ve/veya olasılığının değerlendirilmesi için kilit nokta olan ekipman arızalarıdır. Son yıllarda çeşitli araştırma atılımları, ikincil kazaların önlenmesini ve domino kazalarıyla ilişkili riskin yönetimini amaçlayan domino senaryolarının nicel olarak değerlendirilmesine yol açtı. Coğrafi Bilgi Sistemlerinde desteklenen domino senaryolarına bağlı riskin nicel değerlendirilmesine yönelik araçlar geliştirilmiştir. Domino kümelerinin tanımlanması ve analizine "Oyun Teorisi" adıyla yeni bir yaklaşım önerilmiştir (Reniers 2005; Reniers ve Dullaert, 2007, 2008). Oyun teorisi, karar vericilerin kimyasal kümelerde domino etkilerine karşı (başkaları ile işbirliği içinde ya da değil) önlem alıp almayacaklarına karar vermelerine yardımcı olmak için matematiksel bir araç olarak tanıtılmıştır. (Reniers, 2010). Ayrıca, ekipman hasarının değerlendirilmesi için geliştirilmiş modeller geliştirilmiştir (Cozzani ve Salzano, 2004a, 2004b; Zhang ve Jiang, 2008; Landucci ve ark., 2009). Elde edilen ilerleme, domino kazalarının kantitatif risk değerlendirmesi ve domino senaryolarıyla ilgili riskin tanımlanması ve yönetimi için metodolojilerin sağlamlaştırılmasına olanak tanımıştır. Bu

perspektifte, kavram, teori, yöntem ve araçların geliştirilmesi gibi içsel güvenliğe (Cozzani ve diğerleri, 2007) dayalı yaklaşımların uygulanmasından ve domino etkilerinin değerlendirilmesi için emniyet ve güvenliğin bütünleştirilmesinden (Reniers, 2010) daha iyi sonuçlar beklenmektedir.

Aslında, sahada yapılan ilgili çalışmalar, domino risk değerlendirmesi için kullanıma hazır ve güncel araçların elde edilmesini sağladı, daha güvenli ve daha sürdürülebilir kimyasal endüstriyel tesislerin tasarımı ve işletilmesi için daha ileri bir adım için destek sağlayabildi.

2.2. Domino Etkilerinin Önlenmesi İçin Emniyet ve Güvenlik

Risk değerlendirmeleri ve daha sonra güvenlik ve emniyet için önleyici tedbirler büyük ölçüde benzerdir, ancak bazı farklılıklar vardır. Bu farklılıklar, emniyet riskleri ve güvenlik riskleri arasındaki farkın daha kapsamlı bir açıklaması ile anlaşılabilir. “Risk” terimi, örneğin kesinlikten ziyade ihtimal veya frekans olarak ifade edilen belirsizliği ifade eder.

CCPS (2000) 'de emniyet riski, “kaza ihtimali ve kayıp yada yaralanmanın büyüklüğü açısından bir insan yaralanması, çevresel zarar veya ekonomik kayıp ölçüsü” olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla, bir emniyet riski tanımı, kazara olma önerisini taşımaktadır. Kayıp veya yaralanmanın büyüklüğü, riskin küçültmeden felakete kadar sürekli bir ölçekte nasıl tanımlanacağını belirler. Kirchsteiger (1998) tarafından işaret edildiği gibi, risk sadece ihtimal ve sonuç değerleri arasında bir ürün tipi fonksiyon değil, aynı zamanda olayın meydana gelme kaynağını çevreleyen “tüm” durum faktörlerinin son derece karmaşık birçok parametrelili fonksiyonudur.

Açık bir şekilde kimyasal tesislere zarar vermek isteyen biri (kasıtlılığı düşündüren) “ tanımlı bir tehdit, belirli bir sonuç kümesine neden olmak için belirli bir çekici hedefin veya hedeflerin kombinasyonunun belirli bir savunmasızlığından yararlanır ”(CCPS, 2003), güvenlik riski açısından değerlendirilmelidir.

Dolayısıyla emniyet ve güvenlik olayları doğasında farklıdır: emniyet kasıtsızdır, güvenlik ise kasıtlıdır. Bu, güvenlik durumunda fiziksel ortamdan ve kişisel faktörlerden etkilenen bir saldırganın mevcut olduğu anlamına gelir. Bu nedenle güvenlik

değerlendirmeleri sırasında bu parametreler dikkate alınmalıdır. Saldırgan kuruluş içinden (kurum içinden) ve kuruluş dışından (kurum dışı) hareket edebilir. Güvenlik açısından olasılıkları belirlemek çok zordur. Bu nedenle, tehditlerin tanımlanması ve güvenlik açısından önlemlerin geliştirilmesi zorlayıcı bir görevdir, bu da büyük ölçüde niteldir.

Güvenlik ve emniyet de proaktif yaklaşımlarında farklılık gösterebilir. Emniyet riski değerlendirmeleri durumunda, riskler sonuçlar ve olasılıklar (veya frekanslar) kullanılarak tespit edilir ve analiz edilir. Güvenlik riski değerlendirmelerinde tehditler, sonuçlar, güvenlik açıkları ve hedef çekicilik kullanılarak tespit edilir ve analiz edilir. Farklı proaktif yaklaşım bazen güvenlik ve emniyet durumunda farklı ve tamamlayıcı koruma önlemlerine ihtiyaç duyulmasına yol açar. Aşağıdaki tabloda güvenlik ve emniyet ile ilgili farklı özelliklere genel bir bakış sunmaktadır

Tablo 3: Emniyet ve Güvenlik Arasındaki Farkların Listesi

Emniyet ve Güvenlik Arasındaki Farkların Listesi	
Emniyet	Güvenlik
Bir olayın niteliği doğal bir risktir	Olaya bir insan eylemi neden olur
Kasıtsızdır	Kasıtlıdır
Saldırgan insan yoktur	Saldırgan insandır
Emniyet ile ilgili risklerin ihtimalleri ve frekansları mevcuttur	Sadece güvenlikle ilgili risklerin nitel ihtimalleri mevcuttur. (örneğin terörizm)
Riskler rasyonel niteliktedir	Tehditler sembolik nitelikte olabilir

Bu tür konulara gerekli proaktif yaklaşımlardaki farklılıklara rağmen, güvenlik ve emniyetin birçok önemli benzerliği vardır. Birincisi, ister kazayla ister kasıtlı olsun belirli bir eylemin sonuçlarının ele alındığı yaklaşım güvenlik ve emniyet için aynıdır. Bu yanlışlıkla veya kasıtlı eylemlerin etkilerinin genellikle karşılaştırılabilir olması gerçeğiyle açıklanabilir: bir endüstriyel kazanın neden olduğu yangın, aynı şekilde söndürülecektir. Bununla birlikte, suçluların planlarını yürütmek için kasıtlı olarak en iyi yolu aradıklarını ve amaçlarının mümkün olduğunca fazla zarar vermek olduğunu dikkate almak önemlidir. Özellikle domino etkileri söz konusu olduğunda bu çok önemli bir gerçek olabilir. İkinci olarak etkili önleyici güvenlik önlemleri güvenlik risklerini de azaltabilir. Önemli bir istisna (veya karşı örnek) bilginin kullanılabilirliğidir. Risk

haritaları ve tehlikeli maddelerin etiketlenmesi gibi güvenlik önlemlerinin güvenliği olumsuz etkilediği açıktır (CCPS, 2003).

2001'deki New York Dünya Ticaret Merkezi saldırılarından önce, kimyasal bir tesise başarılı bir kasıtlı saldırı (örneğin teröristler tarafından) olası değildi (terörist tehditler bu tarihten önce uzun zamandır tanınmasına rağmen). 11 Eylül sonrası sonuçlar, fiziksel ve ekonomik hasar açısından daha yüksek güvenlik riskini içermektedir. Özellikle kimya endüstrisi için, büyük kazalara (domino etkileri gibi) yol açabilecek risklere maruz kalması nedeniyle, günlük operasyonlar için güvenlik etkilerinin kasıtlı olarak hasara neden olmak için tasarlanan olayların önlenmesinde çok önemli olduğu kanıtlanabilir.

2.3. Domino Etkileri ve Kimyasal Sanayi Alanları

Bu bölümün başında belirtildiği gibi, (petro) kimya endüstrisinde, kapsam ekonomileri, çevresel faktörler, sosyal güdüler ve yasal gereklilikler genellikle şirketleri “kümelenmeye” zorlar. Bu nedenle, kimyasal tesisler çoğunlukla fiziksel olarak gruplar halinde bulunur ve nadiren ayrı olarak bulunur. Açıkçası, bu tür endüstriyel alanlar, ekipmanın ve alanın bir parçası olan altyapılar arasındaki karşılıklı tehlike ile karakterizedir. Canvey alanının ilk çalışmasından ve Avrupa'daki bazı diğer çalışmalarda bu tür kimyasal kümelerdeki risk tüm endüstriyel alanlar göz önünde bulundurularak analiz edilmiştir. (Organize sanayi bölgeleri gibi)

Kimyasal kümeler içinde, ekipman ve altyapılar arasındaki somut olmayan bağımlılıklar emniyet (ve güvenlik) açısından mevcut olabilir. Her kimyasal tesis, mevcut madde miktarına, maddelerin fiziksel ve toksik özelliklerine ve özel işlem koşullarına bağlı olarak bir tehlikeyi temsil eder. Dolayısıyla, bu tür tesisler - az ya da çok ölçüde - bölgedeki diğer tesisler için tehlike arz eder.

Birçok kimya şirketi sanayi parkları olarak gruplandırılrsa da, emniyet ve güvenlik çabaları şu anda bireysel kimyasal tesisler üzerinde yoğunlaşmaktadır. Günümüzde, güvenlik ve emniyet konularında şirketler arası işbirliğini arttırmak için çok sınırlı yaklaşımlar veya kavramlar mevcuttur. Bununla birlikte, şirketler arası tehditlerle uğraşmak domino risklerini azaltmada çok önemli olabilir. Bu nedenle, güvenlik ve emniyet açısından şirketler arası afet yönetimi (birden fazla tesisi kapsayan potansiyel olarak domino etkilerinin önlenmesi ve hafifletilmesi ile ilgilenme) ihtiyacına daha fazla

dikkat edilmelidir. Kimyasal endüstri parklarında kümelenmeyi oluşturan şirketler arasında sistematik ve rehberli işbirliği yoluyla şirketler arası büyük tehlikelere karşı yönetim stratejileri geliştirilmelidir.

Yoğun işbirliği yoluyla kendi emniyet ve güvenlik standartlarını belirleyecek olan kimyasal endüstriyel kümelenmeler yavaş yavaş ortaya çıkıyor. Kimyasal süreçlerin, organizasyonların ve kimyasal lojistiğin artan karmaşıklığı, bağımsız iş birimlerine sahip küresel şirketler, yerel uygulama ile kurumsal hedef belirleme politikaları, kesintisiz dış kaynak kullanımı ve halkın artan katılımı, kimyasal endüstri parklarının uğraşırken potansiyel domino senaryolarıyla dikkate alması gereken eğilimlerdir.

Özetle, bu çalışmadaki tüm teoriler, kavramlar, tanımlar, araçlar ve metodolojiler kimyasal sanayi alanlarına uygulanabilir. Bir sanayi bölgesi veya bir kimyasal tesis olabilir, fakat aynı anda bir veya birkaç kimyasal tesis de olabilir. Bu çalışma boyunca akılda tutmalıdır.

Kaza sonrası oluşacak domino etkileri çok farklı sonuçları içeriyor olsa da çalışmamızda bu etkilerin sadece patlama, yayılım ve toksik etkileri ele alınacaktır. Bu sonuçları meydana getirmesi açısından oluşum nedenleri aşağıdaki başlıklar çerçevesinde incelenmiştir.

2.3.1. Patlama

Bir patlama, insanlara ve fiziksel alandaki özelliklere zarar veren basınç dalgalarının üretilmesiyle atmosferdeki enerjinin hızlı salınması olarak tanımlanabilir. Proses endüstrilerindeki tipik büyük endüstriyel kazalar buhar bulutu patlamaları (örn. Flixborough, 1974; Beek, 1975; BP Texas City, 2005; Buncefield, 2005), Kaynar Sıvı Genişleyen Buhar Patlamaları (BLEVE'ler) (örn. Feyzin, 1966) ve katı patlamalarıdır (örneğin, Toulouse, 2001'deki amonyum nitrat patlaması veya trinitrotoluen (TNT) yükünün patlaması).

Bu kazaların ortak bir özelliği, patlamanın merkezinden radyal olarak uzaklaşan ve karşılaştığı yapı ve ekipmanı etkileyen tesadüfi bir basınç dalgasının oluşmasıdır. İlk dalga (basınç ve darbe) yansıtılır ve yapının veya ekipmanın bozulmasına neden olabilir.

Genelde “domino etkileri” nin (yapının veya ekipmanın başarısızlığının sonuçları, ilk patlamanın sonuçlarından daha kötü olduğu) endüstriyel kazalarda, ilk patlamanın ölçeği nedeniyle çok nadir olduğu kabul edilmektedir.

Bununla birlikte domino etkilerini içeren endüstriyel kazaların yaklaşık % 30-50'sinin bu fenomene yönelik olabileceğini iddia edilmektedir. Bununla birlikte, tesisi tasarımı sırasında Domino etkileri yoğun bir şekilde incelenmelidir. Aşağıdaki iki yaklaşım yaygın olarak önerilmektedir:

- Her bir kazara patlama senaryosu için çevre yapı ve ekipman üzerindeki etkilerin (basınç, darbe) hesaplandığı ve bu yapı ve ekipman için potansiyel hasarın değerlendirildiği kapsamlı yaklaşım.
- Maksimum sonuca neden olan ekipmanın bir patlama etkisinden etkilenip etkilenmeyeceğini (“başarısız”) kontrol ettiği rasyonel yaklaşım.

Her iki yaklaşımda da olası patlamanın patlama yük parametrelerini belirlemek ve yapının veya ekipmanın yüke (dinamik) tepkisini hesaplamak gerekir.

Patlamaya ilişkin domino etkilerinin ana konularına bakıldığında aşağıdaki biçimde değerlendirilmelidir. Birincisi, patlama fiziğine ve kaynağın toplam enerjisine bağlı olarak kaynak noktasından yayılan basınç dalgasının karakterizasyonu ile ilgilidir. İkincisi, basınç dalgasının, ekipman tasarımına açıkça bağlı olan hedef ekipmanla etkileşimi, yani endüstriyel yapının basınç yüküne göre esnekliği ile ilgilidir. Üçüncü bölüm, hedef sistemden çevreleme kaybının (LOC) (tehlikeli maddeler) yoğunluğunun ve modalitesinin değerlendirilmesi için basitleştirilmiş modelleri ele alır; bu da yangın, patlama ve toksik dağılım gibi ikincil felaket olaylarına veya bunların kombinasyonlarına yol açabilir.

2.3.2. Yayılım

Endüstriyel tesislerde kazaların çoğu gaz veya sıvı maddeleri taşımak veya depolamak için kullanılan boru ve ünitelerde kontrol kaybı nedeniyle meydana gelir. Bu maddelerin çoğu sağlık ve çevre için bir tehdittir. Açıkça birinci kaza sonrası serbest kalan madde bir gaz veya buhar bulutuna neden olursa (Bhopal kazasında 1984'te meydana geldiği gibi, kimya endüstrisi tarihinin en büyük kazası) birincil kazanın domino

etkisi olarak düşünülür. Toksik veya yanıcı bir maddenin yayılım davranışını öngörmek, zamanın bir fonksiyonu olarak farklı noktalarda yer alan maddenin konsantrasyonunda değişiklik sağlayacaktır. Bu, kazanın hem dış mekanda hem de iç mekanda, ekipman ve çevre üzerindeki insanlar üzerindeki etkilerinin makul bir şekilde tahmin edilmesini sağlar ve güvenlik önlemleri ve acil durum planları tasarlanırken önemli olan bilgileri sağlar.

Yayılım modelleri belirli bir senaryo için, bir kirlenici bulutunun konumunun ve zamanın bir fonksiyonu olarak evriminin tahmin edilmesine izin veren matematiksel denklemler kümesidir. Önemli bir husus serbest bırakma süresidir. Salımın gerçekleştiği zamana göre emisyonlar iki kategoriye ayrılabilir: anlık ve sürekli

Bir salımın anlık mı yoksa sürekli mi olduğunu belirlemek için birkaç farklı kriter kullanılır. Örneğin,

- anlık bir emisyon: bulutun belirli bir konuma ulaşması için gereken süre, salınım süresinden daha uzun olduğunda. Bir örnek basınçlı gaz içeren bir tankın patlaması olabilir;
- sürekli emisyon: serbest bırakma süresi, bulutun belirli bir konuma ulaşmak için gereken süreden daha uzun olduğunda. Bir örnek, bir yığın tüpleri olabilir.

veya

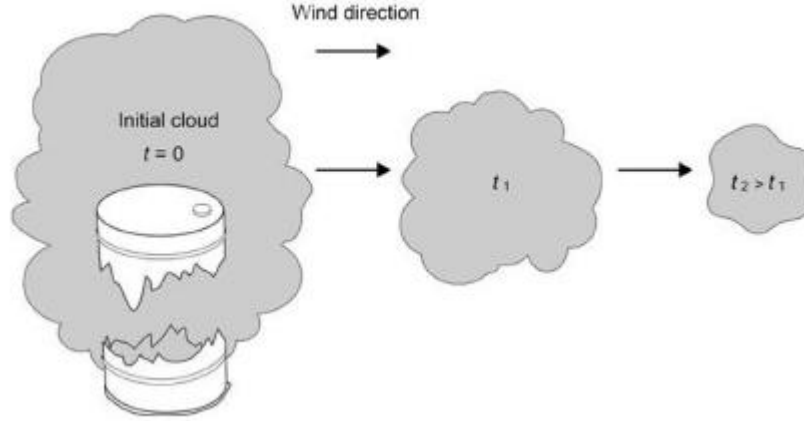
- anlık emisyon: madde bir dakikadan daha kısa sürede atmosfere kaçtığına;
- sürekli emisyon: madde bir dakikadan fazla kaçmaya devam ettiğinde.

Uygulamada, sürekli ve anlık emisyonlar arasındaki ayırım nispeten keyfi ve öznel. Aslında, emisyonların çoğu bir ara davranış sergiler: salınım (tr) süresi sonludur, belirli bir süre boyunca sabit bir duruma ulaşılır ve son olarak bulut dağılır.

Ayrıca, kaynağın yakınında bulunan bir gözlemci için emisyon sürekli olabilirken, daha uzaktaki başka bir gözlemci için anlık olarak düşünülebilir; sürekli kaynak kavramı, belirli bir yerde sabit bir konsantrasyonun var olduğu süreye bağlıdır.

Maddenin anlık emisyonu, atmosfere dağılırken rüzgarla birlikte hareket eden bir bulut (puf) oluşturur. Belirli bir konsantrasyona karşılık gelen yüzeyi alarak, bulut salım

noktasından hareket ettikçe etrafındaki hacim azalır. Buna uygun olarak, puf rüzgarla birlikte hareket ettikçe bulutun hacmi (dış düşük konsantrasyonlar dahil) artar.



Şekil 1: Anında salınan bir madde bulutunun evrimi

2.3.3. Toksik Etki

Toksik özellikleri yani solunduğunda, ağız yoluyla alındığında, deri yoluyla emildiğinde canlı sağlığı üzerinde akut ve kronik hasarlara yada ölümlere yol açan maddeler veya karışımların boşalması halinde etki mesafesi içerisinde bulunan insanlar bunlara maruz kalabilir. Boşalan buharın yanıcı özellikleri varsa, buhar bulutu patlaması, alev topu, bleve, flaş yangını, jet yangını veya havuz yangını olaylarının değerlendirildiği buharlar için toksik maruziyet dikkate alınmaz. Bu gibi durumlarda, toksik maddeye maruz kalma olasılığı eksi yanıcılık olasılığıdır. Rüzgarla birlikte kaynaktan uzaklaşan toksik bir buhar bulutu temiz havayla seyrelir; böylece, toksik madde konsantrasyonu kaynaktan uzaktaki mesafelerde azalır.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bir sanayi bölgesi birçok farklı kimyasal tesisi bünyesinde barındırmaktadır. Her kimyasal tesis, mevcut kimyasal madde miktarına, maddelerin fiziko-kimyasal ve toksik özelliklerine ve özel işlem koşullarına bağlı olarak kendine özgü bir tehlikeye sahiptir. Bu nedenle, bu tür kuruluşlar çevreleri için bir risk oluşturur. Bu doğrultudaki tesisler, birbirlerine maruz kaldıkları tehlike seviyesi açısından karşılıklı olarak bağlantılıdır.

Kimyasalların bulunduğu tesislerde, çeşitli ekipman türleri arasında ayırım yapmak karmaşık bir süreçtir. Bir alandaki her bir tesisat arasındaki tehlike miktarının, özellikle de bu tür tesisatların toplam sayısı yüksek olduğunda tahmin edilmesi daha da zor bir iştir. Ayrıca, bu bölümün ilk paragrafında açıklanan yaklaşımın gerçek bir endüstriyel alana uygulanması, manuel olarak gerçekleştirilemeyen çok sayıda hesaplama gerektirir.

Bu amaçla, PHAST yazılım aracı, domino güvenlik riskleriyle ilgili etkilerin ve sonuçların neler olduğu ile ilgili bilgilerin elde edilmesi amacıyla kullanılmıştır.

Çalışmanın bazı temel ilkelerinin daha iyi kavranması için, kısaca arka plan bilgileri verilmektedir. İlk olarak, belirlenen tesislerden, gerekli bilgiler örneğin; kurulum verileri ve gerçek mesafe verileri, basınçlı depolama tankları, atmosferik depolama tankları, proses kapları, kullanılan tehlikeli kimyasal, depolama şekli, miktarı, ortam sıcaklığı vb. yazılım içerisine girilir. Her tesise ait senaryo başına olası etki mesafelerini hesaplamak için organize sanayi bölgesi tarafından sağlanan ölçekli harita-çizim bilgileri kullanılır. Bu çalışma içerisindeki çeşitli etki mesafelerini hesaplamak için kullanılan modeller ve ilkeler ilerleyen aşamada detaylandırılmıştır

3.1. Patlama

3.1.1. BLEVE Patlaması

"BLEVE" terimi, kaynar sıvı genişleyen buhar patlamasının bir kısaltmasıdır ve tank arızası anındaki normal kaynama noktasının üzerinde bir sıvının ani bir şekilde kaybedilmesi olarak tanımlanabilir. Arıza, esas olarak tank üzerindeki darbe, korozyon, dahili aşırı ısınma ve yapım kusurlarından kaynaklanan çatlakların gelişmesinden kaynaklanabilir. BLEVE'ye yol açan yaygın bir neden, basınç altında sıvı içeren bir

tankın yangın içerisinde kalmasıdır. Sıvı ısındıkça emniyet valfini çalıştırabilen buhar basıncı yükselir, bu da buhar açığa çıktığında kaptaki sıvı seviyesinin düşmesine neden olur. Buharın ısı kapasitesi sıvıdan daha düşük olduğu için, tank duvarlarının buharla temas eden kısmı, ısı ateşten aktarılırken, sıvı ile temas halindeyken nispeten serin kaldıkça sıcaklıkta artar. Bu muntazam olmayan bir genişlemeye ve tank duvarlarının yırtılmasına neden olabilir.

BLEVE olayı bir patlama dalgasına, şarapnel etkisi ve yanıcı bir sıvı söz konusu olduğunda ateş topu, flaş ateşi veya buhar bulutu patlamasına neden olabilir. Bu çalışma sadece bir BLEVE veya gazla doldurulmuş basınçlı kap patlamasından kaynaklanan patlama etkileri ile ilgilidir. Bir BLEVE'nin patlama etkisi, basınç aniden atmosfer basıncına düştüğünde sıvının hızlı yanıp sönmeye ve tank içerisinde üst kısmında buharın genişlemesinden kaynaklanır. İşlem başlangıç hacminden genişleme ile başlar, bu da şok dalgasının ses hızından daha hızlı hareket etmesine neden olur. Sıvı küresel olarak genişler ve ilk önce çevredeki hava ile karışmaz, bu da çevredeki hava ile kabarcık benzeri bir ara yüze neden olur. Sıvının momentumu, dökme sıvının atmosfer basıncının altındaki bir basınca genişlemesine neden olur ve bu da ilk şoku takiben nadir bir dalgalanma dalgasına neden olur. Arayüz maksimum büyümeye ulaştıktan sonra, basınç farkı, daha küçük bir şok üretmek için başlangıç noktasında yansıyan içe doğru hareket eden bir dalgaya neden olur. Sistem salınmaya devam edecek ve enerjisi bitene kadar daha küçük şoklar üretecektir. Belirli bir pozisyonda yapısal hasarı tahmin etmek için en önemli patlama parametreleri birinci veya ana şokun tepe basıncı ve ana şokun pozitif basınç süresi için darbe etkisidir.

Programda kullanılan Bleve patlaması, gazla dolu veya iki fazlı yani ısıtılmış sıvı ve gaz dolu basınçlı kapların patlamasından kaynaklanan aşırı basınç ve pozitif faz impulsunun patlama parametrelerini tahmin eder.

3.1.1.1. Matematiksel Model

3.1.1.1.A. Bleve Patlamasının Mekanizması

BLEVE patlamasının en yaygın olarak kabul edilen teorisi Reid'in aşırı ısınma sınırı teorisi. Bir sıvı kaynama noktasına kadar ısıtıldığında, sıvı, kabın duvarları gibi katı

maddeler ile ara yüzlerde veya genişleyen sıvı içinde safsızlıklar, kristaller veya iyonlarda buhar kabarcıkları oluşturmaya başlar. Genişleyen sıvı içinde çekirdeklenme sahalarında bir eksiklik olduğunda, sıvının sıcaklığı, buhara geçiş olmadan doymuş buhar sıcaklığının üzerine yükseltilebilir ve sıvı aşırı ısınır. Belirli bir basınçta, sıvının aşırı ısınma sınırı olarak bilinen genişleyen sıvı içinde kendiliğinden geliştiği yerde sıvının aşırı ısıtılmadığı bir sınır vardır. Bu nedenle, basınç altındaki bir sıvı, atmosferik basınç için aşırı ısınma sınırının üzerindeki bir sıcaklıkta depolanırsa ve daha sonra kap yırtılırsa, genişleyen sıvı içinde mikroskobik buhar kabarcıkları oluşur ve büyük bir buhar kesimi milisaniye içinde yanıp sönebilir.

Durum denkleminin bağılı olarak atmosferik basınç için aşırı ısınma sınır sıcaklığını tahmin eden bir dizi korelasyon vardır. Reid elde etmek için Redlich-Kwong hal denklemini kullandı:

$$T_{sl} = 0.985 T_c$$

Burada:

T_{sl} = atmosfer basıncında aşırı ısınma sınır sıcaklığı (K)

T_c = kritik sıcaklık (K)

Reid'in teorisi, bir BLEVE 'de üretilebilecek güçlü patlama dalgalarının iyi bir açıklamasıdır. Bununla birlikte, güçlü patlamalara, aşırı ısınma sınır sıcaklığının altında, ancak atmosferik basınçta kaynama noktalarının üzerinde depolanan basınçlı sıvıların kap arızasının ardından hızlı buharlaştırılması da neden olabilir. Bu nedenle CCPS, entegre bir BLEVE patlama yöntemi için muhafazakâr bir varsayım önerir. Bu yöntemde, patlayıcı kaynamanın, normal kaynama noktasının üzerindeki sıcaklıklarda depolanan sıvı içeren kapların arızalanmasının ardından meydana geldiği varsayılmaktadır.

3.1.1.1.B. Patlama Enerjisi

Tüm patlama parametrelerinden patlama enerjisi, tepe aşırı basınç ve pozitif faz impulsu üzerinde en fazla etkiye dolayısıyla bir patlamanın yıkıcı potansiyeline sahiptir. Patlama enerjisini tahmin etmeye yönelik termodinamik yaklaşımlar, kullanım kolaylığı nedeniyle araştırmacılar tarafından büyük ölçüde tercih edilmektedir. Termodinamik bir

yaklaşımında, patlamadan önceki malzemenin durumu, patlamadan sonraki malzemenin durumu ile karşılaştırılır ve iki durum arasındaki iç enerjiler arasındaki fark patlama enerjisini verir. CCPS kılavuzlarında sunulan hesaplama yöntemleri ideal gaz ve ideal olmayan gaz dolu kaplar için farklı yollar izler.

İdeal Gaz

CCPS kılavuzları, ideal bir gaz içeren bir geminin arızası için Brode'nin patlama enerjisi tanımını kullanmanızı önerir. Brode, patlama enerjisinin, sabit bir hacimde bir gazın olgunlaşmasını atmosferik basınçtan arıza basıncına yükseltmek için gereken enerjidir. İdeal bir gazın iç enerjisi aşağıdakiler tarafından verilir:

$$U = \frac{PV}{\gamma - 1}$$

Burada:

U = İç Enerji (J)

P = Mutlak Basınç (P)

V = Hacim (m³)

γ = Sabit basınç oranı C_p , Sabit hacim C_v , Özgül ısı kapasitesi (-)

İdeal bir gaz için C_p , C_v , ve dolayısıyla γ basınçtan bağımsızdır. Bu nedenle Brode $E_{EX,Br}$ tarafından öngörülen patlama enerjisi:

$$E_{EX,Br} = \frac{(P_1 - P_0)V_1}{\gamma_1 - 1}$$

Burada:

P_1 = Arıza durumunda mutlak basınç (P)

P_0 = Ortam havasının mutlak basıncı (P)

γ_1 = Arıza durumunda depolanan gazın özgül ısı oranı (-)

V_1 = Depolanan gazın işgal ettiği hacim (m³)

İdeal Olmayan Akışkan

Önceki bölümdeki ideal gaz yaklaşımı ideal davranışla tarif edilemeyen aşırı ısıtılmış sıvılar veya buharla dolu kaplar için uygun değildir. CCPS tarafından önerilen daha uygun bir yöntem izentropik genişleme olduğu varsayılarak başlangıç ve nihai durumlar arasındaki iç enerji farkını hesaplamaktır. Deneyler, genişleyen buhardan gelen patlama dalgasının yanıp sönen sıvınınkinden ayrı olduğunu gösterse de, CCPS konservatif olarak her bir fazdan gelen patlama dalgalarının birleştirildiğini varsayar. Belirli bir entalpiyi ve ilgili durumdaki spesifik hacmi tahmin etmek için daha sonra iç enerjinin hesaplanmasını sağlayan bir durum denklemi kullanılabilir.

Tanım olarak:

$$h = u + Pv$$

Burada:

$$h = \text{Özgül entalpi (J/kg)}$$

$$u = \text{Özgül iç enerji (J/kg)}$$

$$P = \text{Mutlak basınç}$$

$$v = \text{Özgül hacim (m}^3\text{)}$$

Ayrıca CCPS'ye göre, bir karışımın iç enerjisinin kaba bir tahmini, tek tek bileşenlerin iç enerjilerinin toplanmasıyla yapılabilir. Mevcut özellik modellemesi ile bunu yapmak mümkün değildir, çünkü karışımların eşdeğer sahte bileşenler olduğu varsayılır ve bu nedenle iç enerji, karıştırma kuralları ile hesaplanan diğer sahte bileşen özelliklerinden hesaplanır.

Genleşme enerjisi daha sonra şu şekilde verilebilir:

$$E_{EX} = M (u_1 - u_2)$$

Burada:

$$E_{EX} = \text{Patlama enerjisi (J)}$$

$$M = \text{Sıvı kütlesi (kg)}$$

3.1.1.1.C. Tanklarda Patlama Parametreleri

CCPS tank patlama parametrelerinin tahmini için patlama eğrisi yöntemini önerir. Bu yöntem sistematik bir boyutlu (küresel) sayısal çalışmaya dayanan tam bir patlama eğrileri setidir. Çalışma kinetik enerji olarak tank parçalarına enerji yayılımının etkilerini görmezden gelir. Basınçlı kap patlama eğrileri küresel, serbest hava basınçlı kap patlamaları içerir, zemin yansımalarını içermez.

Bu yöntem eğrileri, önceki modellerde yapay viskozite ile ilişkili aşırı basınç kayıplarını azaltan sayısal bir simülasyon ile geliştirilmiştir. Sonuç olarak, uzak alan tahminleri biraz daha yüksektir. Bu yöntem eğrileri ayrıca, özel patlama basınçları için eğriler geliştirerek ve şok tüpü denkleminin yinelemeli çözüm ihtiyacını ortadan kaldırarak hesaplamaları basitleştirme avantajına sahiptir.

Patlama eğrileri ölçekli R mesafesi, ölçekli aşırı basınç P_s ve ölçekli darbe I ile ilişkilidir.

$$R = r \left[\frac{P_0}{E_{EX}} \right]^{1/3}$$

Burada:

r = Patlama kaynağından uzaklık (m)

$$I = \frac{i_s a_0}{P_0^{2/3} E_{EX}^{1/3}}$$

Burada:

a_0 = ortam havasından ses hızı (m/s)

i_s = darbedeki pozitif faz tarafı (Pa.s)

$$P_s = \frac{P_s}{P_0} - 1$$

Buradan

P_s = Mutlak basınç pik noktası (Pa)

Yükseltilmiş Küresel Tanklar

Yere yakın bir patlama meydana geldiğinde, şok dalgası zemin tarafından yansıtılacaktır. Yansıyan dalga yapıya zarar veren birincinin gücünü artırır. CCPS, bir yansıyan patlama enerjisinin 2 ile çarpılmasını ve küresel tank patlamaları için Ps ve I patlama parametrelerinin düzeltme faktörleriyle çarpılmasını önerir. Düzeltme faktörleri, hem ölçeklenmiş mesafenin hem de tank yüksekliğinin tank yarıçapına oranının bir fonksiyonudur. Yapıyüksekliği, küresel tyapının merkezinden zemin seviyesine kadar ölçülür.

Zeminde Silindirik Tank

Küresel olmayan bir tanktan bir patlama meydana geldiğinde sonuçta meydana gelen patlama dalgası da küresel olmayacak ve böylece iki veya üç boyutta yapılması gereken sayısal hesaplamalara ve deneylerle olan karmaşıklığı artıracaktır. Silindirik bir tankın patlama dalgası, eksenine göre normalin aksine ekseni boyunca daha zayıf olacaktır. Güçlü şok dalgaları zayıf şok dalgalarından daha hızlı hareket ettiğinden, şok dalgasının uzak alanda küresel yaklaşması mantıklıdır. CCPS, patlama parametrelerini tavsiye eder ve silindirik kap patlamalarının modellendiği şeklin etkisi düzeltme faktörlerine sahip küresel kaplar için yukarıda verilen yöntemler kullanılarak öngörülmelidir. Düzeltme faktörleri hem ölçekli mesafeye hem de silindirik kabın uzunluğunun çapına bağlıdır. CCPS'ye göre düzeltme faktörleri, doğrudan zemine yerleştirilen hem dikey hem de yatay silindirlere uygulanabilir. Bununla birlikte, silindirik bir tanktan gelen patlama dalgası ekseni boyunca en zayıftır. Böylece patlama alanı yatay olarak yerleştirilmiş bir kap için asimetrikdir. CCPS tarafından verilen düzeltme faktörleri, tank eksenine normal yön içindir, ancak tüm yönler için uygundur, bu nedenle konservatif tahminler sağlayacaktır.

Yükseltilmiş Silindirik Tanklar

Yükseklik ve tank şekli için her iki düzeltmenin gerekli olduğu durumlarda düzeltme faktörleri çarpılır. Silindirik kaplar için tank yüksekliği, küresel tanklarda olduğu gibi kürenin merkezinden değil, tankın altından ölçülür.

3.1.2. Buhar Bulutu Patlaması

Buhar bulutu patlaması, yakıt-hava karışımından geçen bir alevi içerir. Herhangi bir türbülans jenerasyonunun olmaması durumunda, bulut, yüksek aşırı basınç üretmeden flaş ateşi olarak yanacaktır. Bununla birlikte, bir alevle karşılaşılan engeller, tıkanmış bölgelerde buhar bulutu içinde yayıldığı için önemli türbülans oluşturulabilir. Bu süreç olumlu bir geri bildirim tabidir, böylece daha fazla engelle karşılaşıldıkça daha fazla türbülans oluşur ve bu alev daha da hızlanır. Yoğun hasar potansiyeli olan aşırı basınç oluşturabilen engellerin varlığında meydana gelen patlamalardır. Bu nedenle, engellenen bölgeyi tanımlamak, Engellenen bölge patlamaları uygulamasının çok önemli bir parçasıdır.

Çalışmada kullanılan yazılım engellenen bölge patlama modeli için geliştirilmiş buhar bulutu patlamaları modelidir. TNO Multienergy ve Baker-Strehlow-Tang modellerini içerir ve engellenen bölgelerin ve yanıcı bulutların etkileşimini dikkate alarak buhar bulutu patlamalarının etkilerini tahmin eder. Yayınlanmış literatüre dayanır ve sonuç olarak ve risk değerlendirmelerinde kullanılmak üzere buhar bulutu patlamalarının etrafındaki bölgede pik basınçlar, pozitif faz süresi ve darbe şeklinde patlama hasarını tahmin eder.

Bundan sonraki anlatımlarda Multienergy modeli “ME” ve Baker-Strehlow-Tang modeli ise “BST” olarak alınacaktır.

Engellenen bölge patlama modelindeki ME, ideal bir yarı kimyasal oranlı yakıt-hava yükü için TNO tarafından geliştirilen patlama eğrilerini kullanarak buhar bulutu patlamalarının sonuçlarını, çevresindeki aşırı basınçlar ve patlama çevresindeki bölgede süre olarak tahmin eder. Patlama ile ilgili mesafe belirtilebilir ve daha sonra aşırı basınç ve süre ME kullanılarak hesaplanır. Alternatif olarak bir hedef aşırı basınç veya pozitif faz süresi girilebilir ve ME, patlamanın merkezinden hedeflenen etkiye olan mesafeyi geri döndürür.

Engellenen bölge patlama modelinde BTS alev hızı tablosu ve BST tarafından idealleştirilmiş bir yarı kimyasal oranlı yakıt-hava yükü için geliştirilen patlama eğrileri kullanılarak, patlama çevresindeki pik basıncı ve darbe şeklinde buhar bulutu patlamalarının sonuçlarını tahmin eder. Patlamadan mesafe belirlenebilir ve daha sonra aşırı basınç ve darbe BST kullanılarak hesaplanabilir. Alternatif olarak bir hedef aşırı basınç veya darbe girilebilir ve BST daha sonra patlamanın merkezinden hedeflenen etkiye olan mesafeyi döndürür.

Bu şekilde kullanıldığında model basit fonksiyonlara ve kullanıcının iki korelasyon parametresi olan patlamanın toplam yanma enerjisi ve patlama gücü için patlama kaynağını tanımlaması gerekir.

Buhar bulutu patlamalarının akut hasar potansiyeli, önemli can, mal ve üretim kaybı potansiyeli de dahil olmak üzere dünyadaki yaşanan olaylarla kanıtlanmıştır. 1974'te Flixborough ve 2005'te Texas City ve Buncefield'deki patlamalar buna örnektir. Sonuç olarak buhar bulutu patlamaları, öngörücü modellerin geliştirilmesi de dahil olmak üzere kapsamlı araştırmalara konu olmuştur.

En eski ve en basit model bir patlamada açığa çıkan enerjide verilen hasar seviyesiyle mesafe ile ilişkilendirir. TNT eşdeğeri modeli patlama noktasından uzaklığa karşı pik basınçları tahmin etmek için bunu genişletir. Bu modeller basit ve uygulaması kolaydır. Buhar bulutu patlamalarının fiziği hakkında araştırmalar daha iyi anlaşıldıkça, Computational Fluid Dynamics (CFD) tekniklerine dayalı buhar bulutu patlamalarını yöneten temel denklemleri çözmek için modeller geliştirilmiştir. Ayrıntılı modelleme ile sağlanan deneysel sonuçlar ve öngörü, TNT eşdeğeri modellerin sınırlamalarını açıkça ortaya koymuştur. Bununla birlikte TNT eşdeğeri yaklaşımından daha iyi ancak CFD modellemesinden daha ucuz bir tahmin yöntemi elde etmek için çaba sarf etmişlerdir.

Araştırmadan elde edilen önemli bir fark, buhar bulutu yanarken ve genişledikçe, gazların hareket etmeye başlaması ve türbülansın tipik laminar yanma hızından çok daha yüksek bir alev hızına neden olması için üretilmesi ve dolayısıyla yüksek basınçların üretilebilmesidir. Bu türbülans jenerasyonunun yokluğunda, bulut farklı tehlike sonuçları olan ve en önemlisi yüksek aşırı basınç oluşmadan bir flaş ateşi olarak yanacaktır. Bununla birlikte, bir alevle karşılaşılacak engellenmiş bölgelerde buhar bulutu içinde yayıldığı için önemli türbülans oluşturulabilir. Bu süreç olumlu bir geri bildirim tabidir, böylece daha fazla engelle karşılaşıldıkça daha fazla türbülans oluşur ve bu alevi daha da hızlandırır. Yoğun hasar potansiyeli ile aşırı basınç oluşturabilen engellerin varlığında meydana gelen patlamalardır.

Aşırı basınç üretiminin büyüklüğünü belirleyen bir diğer önemli faktör ise bulutun genişlemesinden kaçınılması gerektiğidir. Bulut yandığında ısınır ve genişler. Eğer bulut sadece 1 veya 2 boyutta genişleyecek şekilde kısıtlanırsa, pozitif geri besleme mekanizması bulutun serbestçe genişleyebileceğinden daha yüksek aşırı basınçlara yol açar. Örneğin, yanma ve böylece genişleyen buhar bulutu 3 boyutta hareket edebiliyorsa, üretilen aşırı basınçlar, bulutun yükseltilmiş bir depolama tankının altında olduğu gibi sadece 2 boyutta veya bir yol tüneline olduğu gibi 1 boyutta genişlemesinin

kısıtlanmasından daha düşük olacaktır. Bu genişleme kısıtı genellikle genişleme derecesi veya hapsetme derecesi olarak adlandırılır.

Bir kimyasal tesiste gerçek dünyadaki bir buhar bulutu patlaması sadece çok tehlikeli bir olay değil aynı zamanda termodinamik ve akışkan dinamiği açısından da çok karmaşıktır. Bu patlamaların doğrudan modellenmesi, Computational Fluid Dynamics kategorisine ait en karmaşık patlama modellerinin konusudur. Bu tür modellerin uygulanması insanlar ve bilgi işlem kaynakları açısından zordur ve bu nedenle yalnızca sınırlı sayıda vaka için mümkün olan en iyi tahminleri elde etmek için özel bir ihtiyaç olduğunda haklı olabilir.

Engelleniş bölge patlamaları, sonuç analizi ve QRA için gerekli ana çıktıları sağlayan çok basitleştirilmiş patlama modelleridir. Bu model aynı zamanda daha basit TNT eşdeğeri modelden, engellerin ve kısmi hapsin etkisi dahil edilerek ayırt edilir. Bu faktörlerin etkilerinin katı patlayıcılardan kaynaklanan patlamalar ile buhar bulutu kaynakları arasında önemli karakteristik farklılıklar verdiği gösterilmiştir. Engelleniş bölge patlamaları kullanımı, bu faktörlerin bir tehlike çalışmasında ve / veya bir QRA'da dikkate alındığı anlamına gelir.

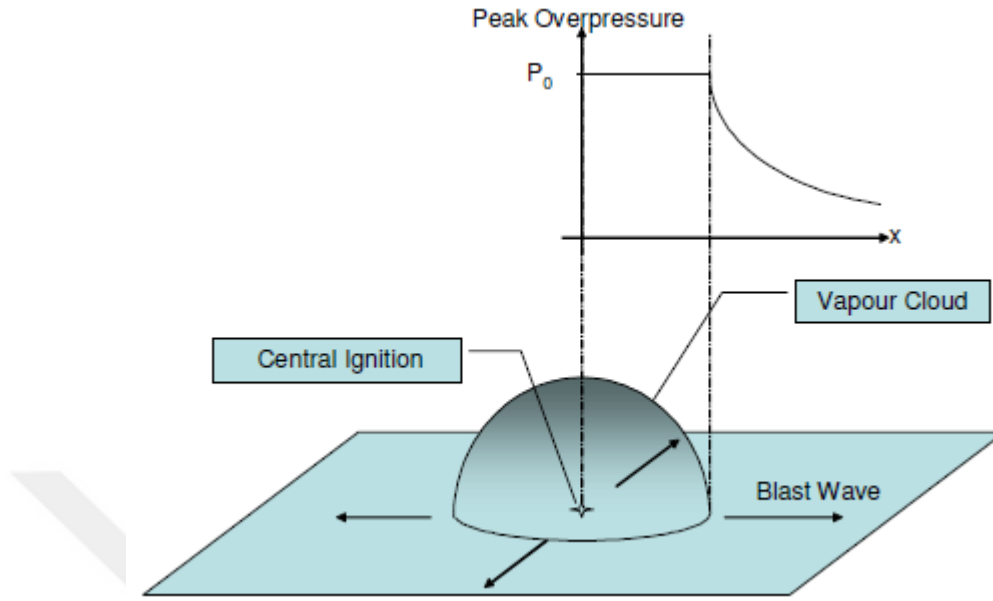
Phast yaklaşımı, bir CFD analizi yapma kararını nitelendirmek ve CFD analizi için kritik vakaları seçmek için bir tarama adımı olarak da kullanılabilir.

3.1.2.1. Çoklu Enerji Modeline Genel Bakış

Patlama etkileri için patlama eğrileri Multienergy modeli, buhar bulutu patlamalarının sonuçlarını tahmin etmek için patlama eğrilerini kullanan bir grup modele aittir. Bu gruptaki diğer modeller TNT eşdeğeri modeli, Baker-Strehlow-Tang modeli ve Tıkanıklık Alanı Değerlendirme modelini (CAM) içerir. Patlama eğrileri genellikle idealize edilmiş vakaların CFD simülasyonlarına dayanarak geliştirilir ve patlamadan uzaklığın bir fonksiyonu olarak aşırı basınç ve darbe veya pozitif aşırı basınç süresi sağlar.

Multienergy modeli, aşırı basınç, dinamik basınç ve mesafeye karşı süre için bir patlama eğrileri ailesinden oluşur. Bu eğriler, ideal bir patlama senaryosu için ayrıntılı model tahminlerinden türetilmiştir. Patlama, ideal oranda yakıt-hava yükü ile dolu, yer seviyesinde bir yarı küresel buhar bulutuna dayanmaktadır. Eğriler ailesini oluşturmak

için farklı alev hızları varsayılır ve bu alev hızlarının patlama sırasında sabit olduğu belirtilir.



Şekil 2: Çoklu Enerji Eğrileri İçin Temel Olarak İdeal Buhar Bulutu Patlaması

Modeli uygulamak için, gerçek dünyadaki kaza senaryosunu mümkün olan en yakın eşdeğer idealize yarım kürecik buhar bulutu patlamasına dönüştürmeli ve ardından patlamanın merkezinden belirli mesafelerde aşırı basınç ve süre değerlerini aramak için uygun eğriyi kullanmalıdır. Bu nedenle model, belirli bir patlamanın matematiksel olarak modellendiği CFD modelinden çok farklıdır. Sonuç olarak CFD modelleri, merkezi ateşleme yerine bir patlama kaynağının kenarında olabilecek zaman ve ateşleme yeri ile aşırı basınç davranışı gibi çok daha ayrıntılı çıktılar tahmin edebilir. Çoklu enerji modelini kullanarak çıktılar, aşırı yüksek basınçlar ve pozitif faz süresi ile sınırlıdır ve patlama simetriktir.

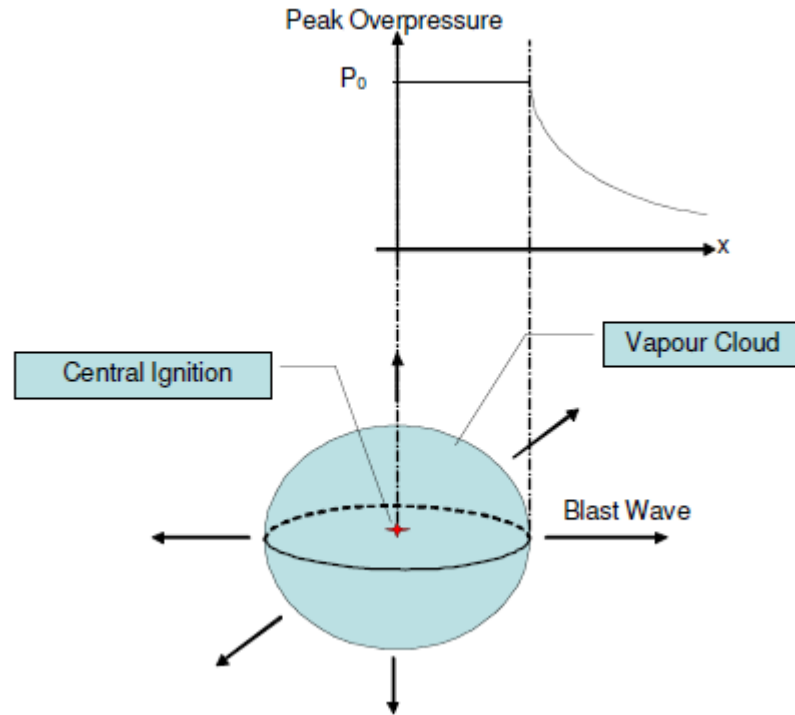
3.1.2.2. Baker-Strehlow-Tang Modeline Genel Bakış

Baker-Strehlow-Tang (BST) modeli, buhar bulutu patlamalarının sonuçlarını tahmin etmek için patlama eğrilerini kullanan Multienergy modeliyle aynı patlama modellerine aittir. Patlama eğrileri genellikle idealize vakaların CFD simülasyonlarına dayanılarak geliştirilir ve patlamadan uzaklığın bir fonksiyonu olarak aşırı basınç ve darbe veya pozitif aşırı basınç süresi sağlar.

Baker-Strehlow modeli ilk olarak 1994 yılında yayınlanmıştır. Patlama enerjisini hapsetme ve tıkanıklık temelinde belirlemek için Alev hızına dayalı patlama eğrilerini seçme ve Multienergy modelinin prosedürlerini kullanır.

Baker-Strehlow metodolojisi, bir alev hızı tablosu ve patlamaya karşı alevlenmeyi kapsayan alev Mach sayılarında aşırı basınç ve darbe için bir patlama eğrileri ailesini içerir. 1994 yılından bu yana, model tehlike analizinde devam eden araştırmalar ve uygulamalar yoluyla gelişmiştir. Alev hızı tablosu, 1998'de bir sınırlama içerecek şekilde güncellendi ve 2005'te yeni bir tablo yayınlandı. Patlama eğrileri 1999'da güncellendi ve model daha sonra Baker-Strehlow-Tang modeli olarak yeniden adlandırıldı.

BST metodolojisi, aşırı basınç için bir patlama eğrileri ailesinden ve buhar bulutu patlamalarının patlama dalgasının pozitif ve negatif fazları için ölçeklendirilmiş mesafeye karşı darbe oluşur. Genellikle daha zararlı etkilere neden olan pozitif faz olduğundan, BST sadece pozitif fazın aşırı basıncını ve darbesini tahmin eder. Bu eğriler, ideal kimyasal karışım konsantrasyonda yakıt-hava yükü ile idealize edilmiş serbest hava patlama senaryolarının ayrıntılı sayısal simülasyonlarından türetilmiştir.



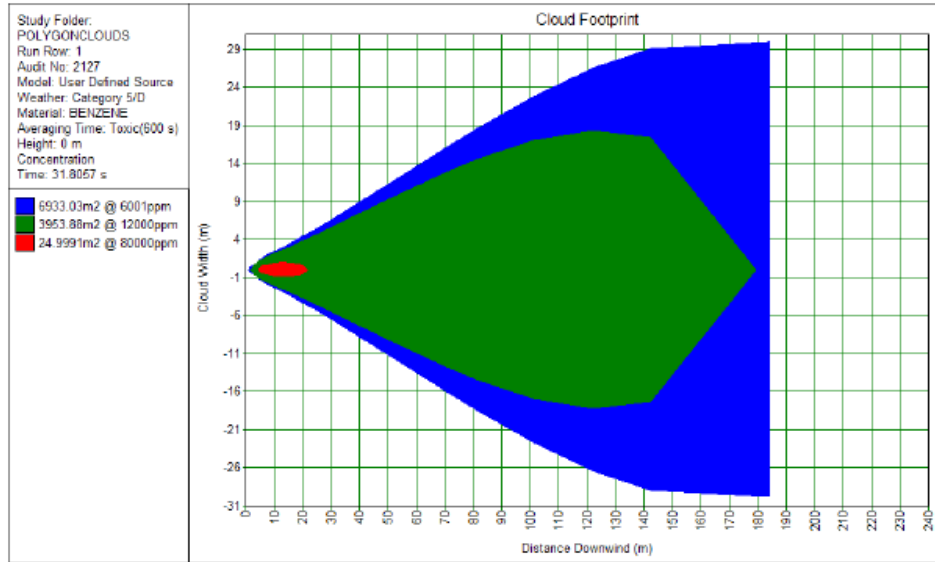
Şekil 3: BST patlama eğrilerinin temeli olarak İdeal Buhar Bulutu Patlaması

Modeli uygulamak için, gerçek dünya senaryosunu mümkün olan en yakın eşdeğer idealleştirilmiş buhar bulutu patlamasına dönüştürmeli ve daha sonra patlama merkezlerinden belirli mesafelerde tepe aşırı basınç ve darbe değerlerini aramak için uygun eğriyi kullanmalıdır. Model, senaryonun ayrıntılı açıklamasıyla belirli bir patlamanın matematiksel olarak modellenmiş olduğu CFD model sınıfından çok farklıdır. Sonuç olarak CFD modelleri, bir patlama kaynağının olabilecek zaman ve ateşleme konumu ile aşırı basınç davranışı gibi çok daha ayrıntılı çıktılar tahmin edebilir. BST modelinde, çıkışlar aşırı basınç ve darbe ile sınırlıdır ve patlama simetriktir.

3.1.2.3 Buhar Bulutunun Engellenmemiş ve Engellenmiş Kısımları

Bir buhar bulutunun belirli bir zamanda yanıcı sınırlar içindeki kısmının neden olduğu patlama tehlikesi ile ilgilenilmektedir. Bu nedenle, belirli bir zamanda bulutun LFL sınırı, bulutun birincil tanımıdır. Ardından, belirli bir zamanda bulutun gerekli açıklamasını elde etmek için çeşitli işleme sonrası işlevler uygulanır.

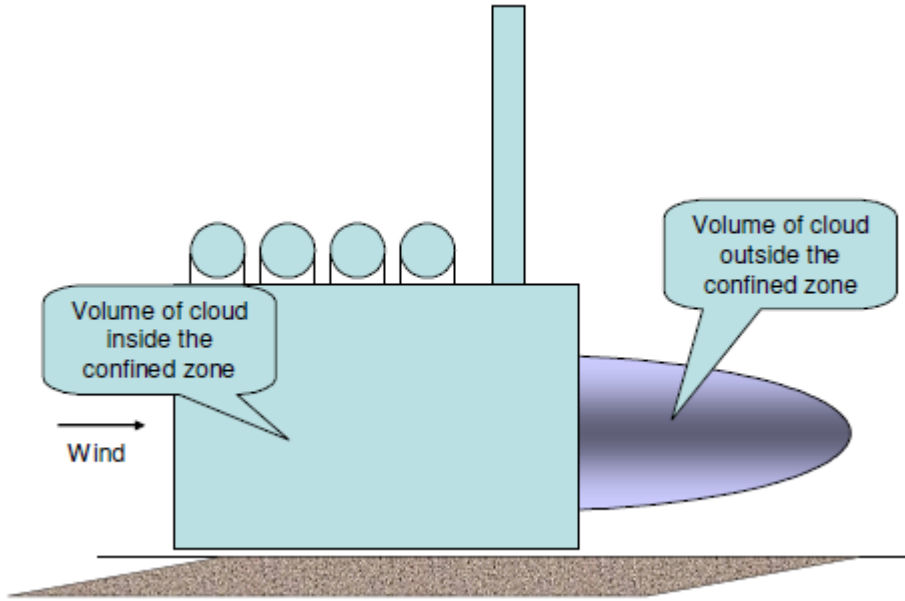
Bulut görünümü, belirli bir boyuta veya belirli bir boyuta sahip adımlara bölünür. Bulut görünümünü tanımlamak için veriler:



Şekil 4: Belirli Bir Zamanda Bulut Sınırları Örneği

Herhangi bir engelli bölgede bir bulut bulunabilir veya bulunmayabilir. Eğer engelli bölge yok ise o zaman Multienergy modeli için bu durum için tek bir serbest patlama kaynağına sahip olabileceğimiz açısından en basit durumdur. Yine de, merkezi tanımlamamız, hangi eğrinin kullanılacağını ve patlamanın toplam yanma enerjisini belirlememiz gerekiyor. Tipik olarak böyle bir patlamadan kaynaklanan patlama hasarı sınırlandırılacaktır, çünkü engeller olmadan aşırı basınç düşük olacaktır. Dolayısıyla, bu tür bir senaryo patlama için büyük önem görmemektedir. Serbest patlama için geçerli olmayan BST modeline gelince, bu durum için herhangi bir patlamamız yok.

Yanıcı hacmin tamamının veya bir kısmının engellerin bulunduğu bölgelerdeki bulutlar, çok daha fazla patlama hasarı verme potansiyeline sahiptir. Aşağıda bu tür bir buhar bulutunun basit bir görünümü gösterilmektedir. BST için sadece bir sınırlı patlama kaynağı, yani engellenen bölgedeki yanıcı kütle için sınırlı bir patlama kaynağını tanımlar. Sınırlı patlamanın yanı sıra ME, engelli bölgenin dışında kalan kısmı tarafından sınırlandırılmamış bir patlama kaynağı da tanımlayabilir.



Şekil 5: Engellenen Bir Bölgeden Başlayan Buhar Bulutu Örneği

Buhar bulutu bu şekilde görüntülenirken önemli bir nokta ortaya çıkar. Kullanılan dağılım modelleri engelleri açıkça modellemez. Yayılım sonuçlarını genel olarak etkileyecek şekilde ayarlanabilen bazı girdiler vardır. Örneğin, salınım 'çarpma' olarak

tanımlanabilir ve / veya yüzey pürüzlülüğü faktörü yüksek olarak ayarlanabilir. Bununla birlikte, bulutun engellerle doğrudan etkileşime girmediği gerçeği devam etmektedir.

3.2. Yayılım

Gazların havada karıştırılması ve yayılması, rüzgârla hareket eden ve giderek hava ile seyreltilen bir gaz bulutu oluşumuna neden olur.

Yayılmı en geniş kapsamda değerlendirecek olunursa birleşik yayılım modeli olarak değerlendirmelidir. Birleşik yayılım modeli zemin seviyesinde veya yükseltilmiş iki fazlı basınçlı tahliye takiben yayılımı modeller. Aşağıdaki şekillerde detaylı olarak gösterilmiştir.

- jet yayılım
- damlacık buharlaşması ve yağmur, temas
- havuz yayılması ve buharlaşma
- ağır gaz yayılımı
- pasif yayılım

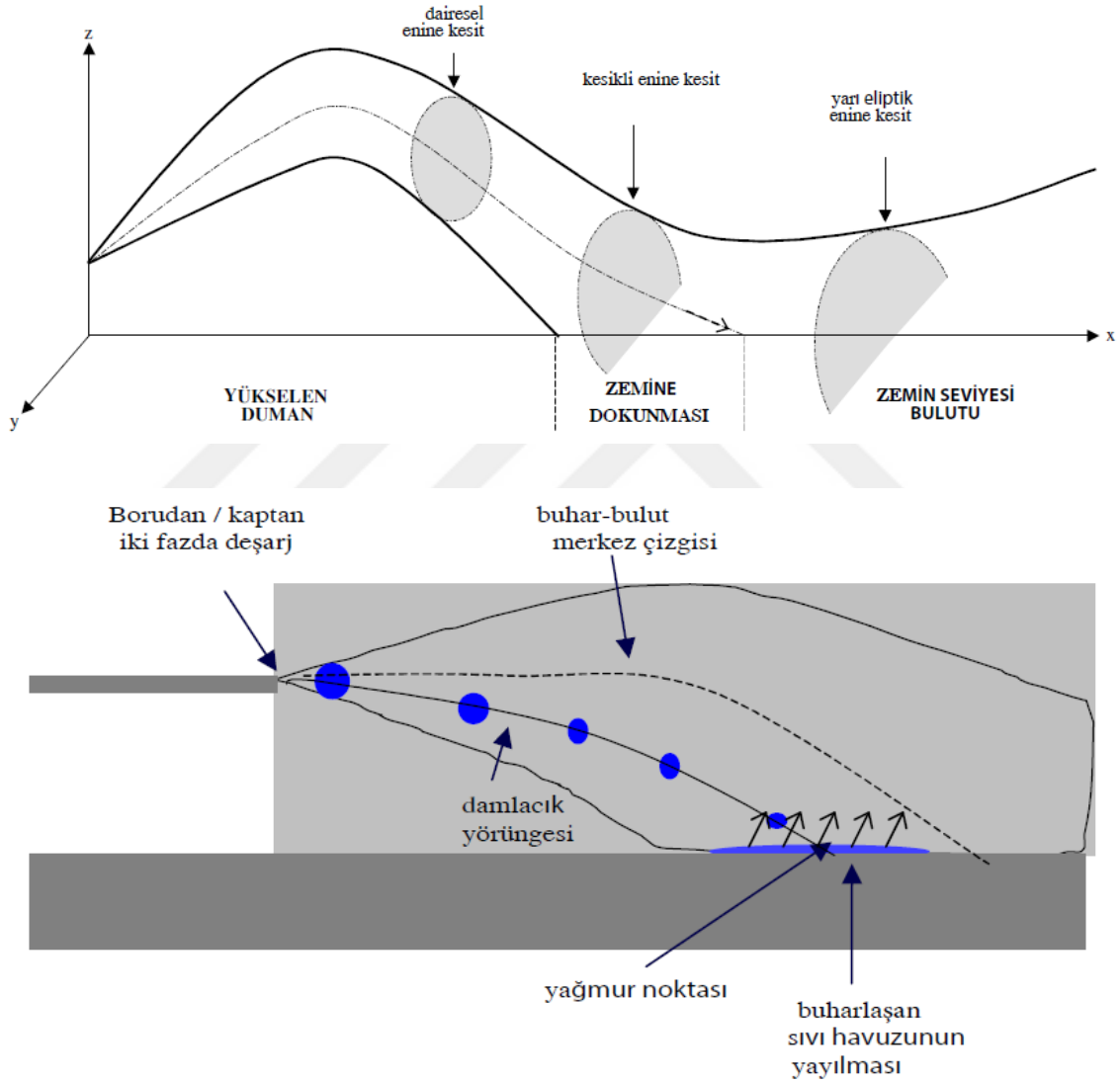
Bir salımın tüm aşamalarını kapsamak için tek bir konsantrasyon profili formu kullanılır. Bu, bir jet salımının ilk aşamalarındaki keskin kenarlı bir profilden yaymanın son pasif aşamasında beklenebilecek yaygın Gauss profiline kadar her şeye izin verir.

Birleşik yayılım modeli, denge olmayan bir model kullanarak damlacık buharlaşmasının etkilerini içerir. Rainout, yayılan ve buharlaşan bir havuz üretir. Buhar, buluta eklenir ve bu ilave buhar akışının zamanla değişmesine izin verilir. Buhar denge olmayan modele ek polimerizasyon efekti de dahil olmak üzere denge olan bir modelde olabilir.

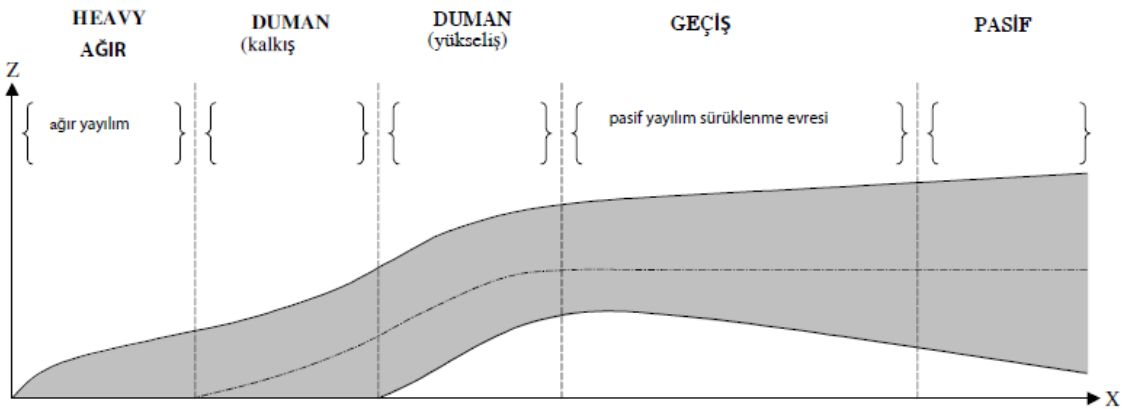
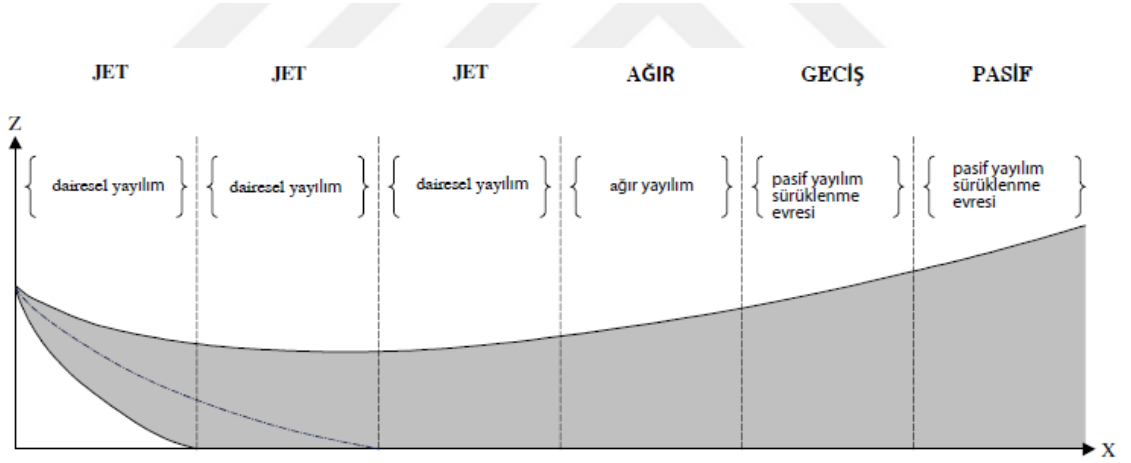
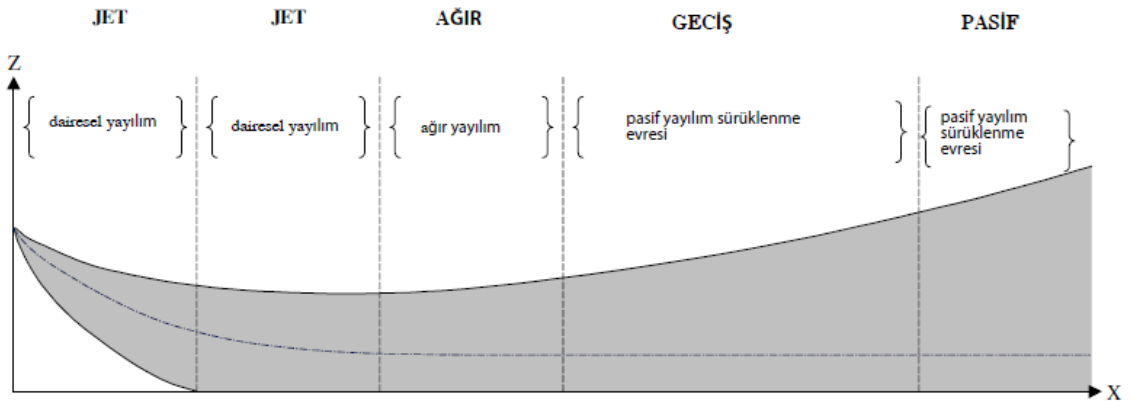
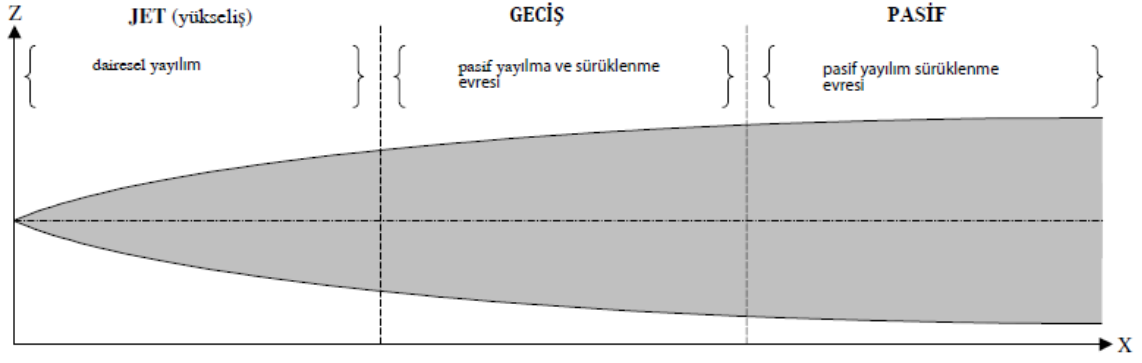
Birleşik yayılım modeli ortam hızı, sıcaklık ve basınçta dikey değişikliklere izin verir. Birleşik yayılım modelinin bir başka özelliği de, topraklanmış bir bulutun yüzer hale geldiği ve havaya yükseldiği olası bulutu kaldırmadır. Yükselen bulutlar, ulaşılması halinde karıştırma tabakası ile sınırlandırılabilir.

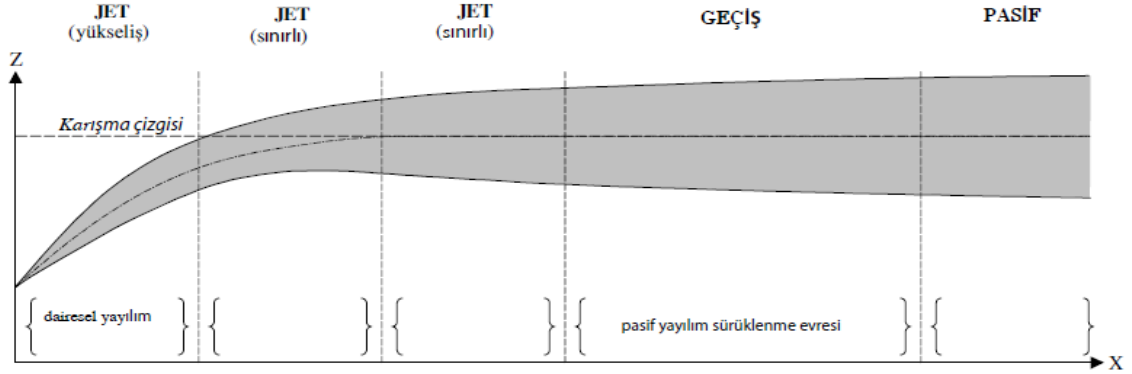
Birleşik yayılım model, sürekli, anlık, sabit sonlu süreli ve genel zamanla değişen yayılımlara izin verir.

Birleşik yayılım model sonuçlarının nispeten büyük bir dizi ayarlama deneyi ile karşılaştırılmasıyla ayarlama katsayılarının elde edildiği bir ayarlama işlemi yapılmaktadır. Bu yaklaşımla ilgili sorun, ayar katsayıları kullanılarak birkaç kod hatası ve / veya gerçekçi olmayan model fiziğinin maskelenmiş olmasıydı. Model katsayıları artık Birleşik yayılım model simülasyonları yapmak ve Birleşik yayılım model sonuçlarını deneysel verilere uydurmak yerine, literatürdeki yerleşik verilerden (deneylere dayalı olarak) doğrudan elde edilmiştir.



Şekil 6 : Birleşik yayılım modelinde sürekli yayılım için bulut geometrisi





Şekil 7: Birleşik yayılım modelinde çeşitli senaryolar için bulut dağılımındaki aşamalar

3.3. Toksik Etki

Toksik kimyasalların atmosfere salınması, zehirli bir bulutun rüzgarın rüzgar yönünde dağılmasına neden olur. Konsantrasyon zamanındaki değişim, hem salım karakteristiklerine (sürekli, sonlu süreli, anlık veya zamanla değişen salım) hem de rüzgar kıvrımının etkilerine bağlı olacaktır. Rüzgar kıvrımının etkileri, uygun bir ortalama sürenin seçilmesiyle dahil edilir. Ortalama süresinin seçimi, sabit bir konumda (x, y, z) bulunan ve C (x, y, z, t konsantrasyonu gözlemleyen 'ortalama' bir insan için toksik etkinin hesaplanması için uygun olmalıdır.), (ppm), t zamanının fonksiyonu olarak.

Çalışmada dağılım modellerinde toksiklerin ortalama süresi t şu anda varsayılan olarak 600 saniyeye eşit olarak seçilmektedir. Pasif dağılım katsayıları için UDM'deki mantık ve ortalama süre seçimi HGSYSTEM, SLAB ve eski TNO sarı kitabı tarafından benimsenen ile tamamen tutarlıdır. Bununla birlikte, CCPS kılavuzları ve EPA'nın "Tehlike değerlendirme yapma kılavuzu" (1995), toksikolojik ilişkilerin sıfır konsantrasyon dönemleri için geçerli olmayabileceğinden, ortalama sürenin her zaman maruz kalma süresine eşit veya daha az olması gerektiğini belirtir.

Çalışmada konsantrasyon hesaplamalarını takiben; toksik doz modeli (TXCS), probit sayısını, ölüm olasılığını, entegre ölüm olasılığını ve maruz kalan gözlemcinin toksik bulutun sınırlı konsantrasyonlarına maruz kalma süreleri hesaplanmalıdır.

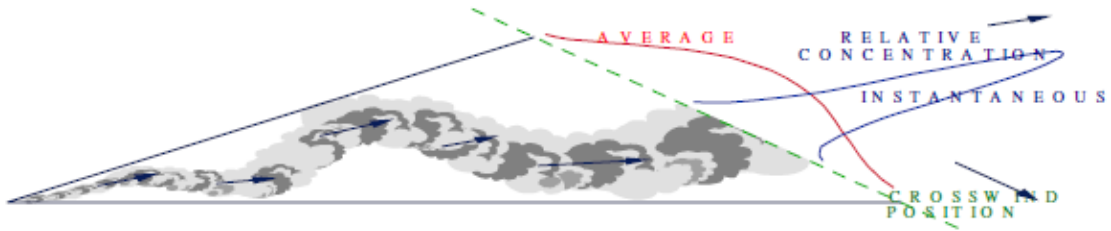
TXCS, çapraz rüzgar yönünde kullanıcı tanımlı bir yükseklik ve kullanıcı tanımlı dengelemeler için aşağıdaki toksik özellikleri hesaplar:

- Toksik doz,
- Probit numarası
- Ölüm olasılığı
- Entegre ölüm olasılığı
- Bir gözlemcinin dağıtıcı bulutun sonlu konsantrasyonlarına maruz kalma süresi / süresi

Salınım malzemesinin bir karışım olduğu durumda, karışımdaki her bir bileşen için doz ve probit sayısı hesaplanabilir. İç ortam konsantrasyonu, iç ortam dozu, ortaya çıkan problemler ve iç ortam olasılığı ve integrali, iç ortam doz modeli ile hesaplanır. Bu model kullanıcıya toksik salınımların iç mekanda yaşayan nüfus üzerindeki etkilerini anlama kabiliyetini verir.

3.3.1. Rüzgâr Kıvrımının Konsantrasyonlar Üzerinde Etkisi-Ortalama Süre Etkisi

Bu amaçla, 'anlık' konsantrasyon $C(x, y, z, t)$ ile ortalama C konsantrasyonu (x, y, z, t) arasında ayırım yapmak önemlidir. C konsantrasyonu (x, y, z, t) rüzgar kıvrımının etkilerini içeren konsantrasyondur (ortalama t süresi ile)



Şekil 8: Rüzgar kıvrımının konsantrasyon profiline etkisi

Rüzgar kıvrımının etkileri sadece pasif yayılım geçişin ardından dahil edilir. İlk jet ve / veya ağır gaz fazı dikkate alınmaz. Saf pasif dağılım durumunda bu şu anlama gelir:

3.3.2. Toksik Salınımlar İçin Ortalama Sürenin Değerlendirilmesi

3.3.2.1. Mevcut Değerlendirme

Toksik salınımlar için ortalama süre seçimi için aşağıdaki seçenekler:

1. Varsayılan toksik ortalama süresi: $t = 600s$

2. Yönergelere karşılık gelen ortalama süre:

- STEL - kısa süreli maruz kalma limiti: 900s
- IDLH - yaşam ve sağlık için hemen tehlikeli: 1800'ler
- ERPG - acil müdahale planlama kılavuzu: 3600s

Toksikolojik ilişkiler normalde en az 10 dakika süreye dayanır ve bu nedenle probit fonksiyonlarının 10 dakikadan daha kısa sürelerde kullanılması daha az doğru sonuçlara neden olabilir. 1 saatlik ortalama alma süresi yerine 10 dakikalık kullanım, konsantrasyonlarda nispeten küçük bir fark yaratır. Toksikologlara göre, bu fark probit fonksiyonuna bağlı olarak toksisitenin beklenen yanlılığından çok daha küçüktür. Sonuç olarak, toksik salınımlar için 10 dakikalık ortalama varsayılan sürelerin varsayılan değeri makul görünmektedir ve bu aynı zamanda literatürde (ayrıca bkz. CCPS Yönergeleri) ve ticari olarak satılan yazılımda en yaygın olarak uygulanan seçimdir.

3.3.2.2. Konsantrasyondan Kaynaklanan Toksik Etki

Bununla birlikte, bazı toksik kimyasallar için, toksik etki modu konsantrasyon (büyük konsantrasyon değeri) tarafından yönlendirilir ve konsantrasyonun elde edildiği gerçek süreye bağlı değildir. Probit fonksiyon üssü N tipik olarak 1'den çok daha büyük olacaktır. Bu toksik kimyasallar için, zaman ortalaması almak uygun olmayacaktır ve bu nedenle anlık zamanın $t = 18.75s$ kullanılması tavsiye edilir.

3.3.2.3. Maruz Kalınan Dozdan Kaynaklanan Toksik Etki

Diğer toksik kimyasallar için, toksik bileşiğin etki şekli, emilen doz tarafından yönlendirilir (probit fonksiyon katsayısı N'nin küçük değeri, yani 1'e yakın). Bu

kimyasallar için ortalama süre, dozun elde edildiği süreye, yani 'maruz kalma süresine' karşılık gelmelidir. Maruz kalma süresinden daha büyük bir ortalama sürenin kullanılması, probit fonksiyonundaki toksik yükün değerlendirilmesinde çok düşük (ortalama) konsantrasyonların kullanılmasına yol açabilir.

3.3.2.4. Maruz Kalma Süresinin Değerlendirilmesi

EPA yönergelerinde maruz kalma süresi, tehlikenin mevcut olduğu, ancak net bir tanım verilmediği süre olarak tanımlanır. Toksikologlar ile tartışmanın ardından, maruz kalma süresinin en uygun tanımı [toksik bileşiğin etki şekli absorbe edilen doz tarafından yönlendiriliyorsa] doz bazında olacaktır. Tamamen alınan toksik yük L'nin belirli bir kısmının elde edildiği zamandır.

3.4. Salınım Kaynaklarının Etki Mesafelerinin Modellenmesi

Salınım kaynağından sonra dağılım etkisi gösteren gaz veya buharın maksimum etki mesafeleri ve zemin kotundan yükseklikleri PHAST 7.2 programı kullanılarak tayin edilmiştir. PHAST 7.2 hakkında kısaca bilgi verecek olursak;

Proses Tehlike Analizi

PHAST dünyanın en kapsamlı proses tehlike analizi tasarımı ve operasyonun tüm aşamaları için en iyi yazılım programıdır. PHAST ilk salınımdan başlayarak bir potansiyel olayın ilerlemesini inceler. Dağılım analizi, havuzu modellemesi, yayılması modellemesi, buharlaşma modellemesi, termal ve toksik etkileri analiz etmemize yardımcı olur.

Sonuç Analizi Aracı

Endüstride kullanılan sonucu analizi dünyada 800'ün üzerinde kuruluş tarafından kullanılan yangıcı, yangın, patlama ve toksik tehlikeleri analiz aracı olarak bilinir. Endüstride yer alan kuruluşlarla birlikte çığır açan model geliştirme araştırması çalışmaları yapan, 30 yılı aşkın bir süredir uzmanlar tarafından sürekli geliştirilmiş, dünya çapında teknik destek ve eğitimleri olan bir araçtır.

PHAST Tehlike Analizi İçin Endüstri Standardı Bir Yazılım

Risk yönetimi hedeflerinizi karşılamak için bir proses tarafından oluşturulan tehlikelerin iyi bir şekilde anlaşılmasına ihtiyaç duyarsınız. Çeşitli tehlikeler türleri tarafından oluşturulan tehdit potansiyellerini hızlı ve doğru bir şekilde değerlendirmek için PHAST kullanılır.

Proses Tehlike Analizi İçin PHAST Yazılımının Temel Avantajları

Güvenilir sonuçlar - entegre modeller sürekli olarak doğrulama imkanı mevcuttur. Kapsamlı raporlama kapasitesiyle sonuçların kolay anlaşılır olmasını sağlamaktadır. Görsel olarak görüntülenmesi için kapsamlı raporlar, çizelgeler, yerleşim haritaları ve kuruluş çevresindeki yerleşim haritaları üzerindeki etkileri elde edilebilmektedir. Geniş uygulanabilirlik alanı mevcuttur. Çeşitli salınım türleri ve kaynakları modellenabilir, örneğin kaçak, boru hattı, boru hatları, boru hatlarında yırtılma, kırılma, emniyet valfleri vb. Çeşitli tehlikeleri değerlendirerek, çok sayıda yanıcı ve toksik tehlikeyi değerlendirme imkânı sunmaktadır.

4. BULGULAR

4.1. Genel Bilgiler

Organize Sanayi Bölgeleri için büyük endüstriyel kazaların önlenmesi ve etkilerinin azaltılması kapsamında Organize Sanayi Bölgesi içerisinde bulunan ve tehlikeli kimyasal bulunduran tesislerde olası büyük bir kazanın domino etkilerinin analiz edilerek sonuçlarının irdelenmesi çalışması yapılmıştır.

Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi Ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik kapsamına giren alt ve üst seviyeli kuruluşlar irdelenmiştir. Bu analizde, organize sanayi bölgesinde bulunan kuruluşlarda oluşması muhtemel tank yarılması, tankta sızıntı olması ve boru hattının yırtılması gibi senaryolar ele alınmıştır. Bu maddelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre BLEVE, buhar bulutu patlamasına ve toksik gaz salınımı oluşma ihtimalleri irdelenerek, tüm organize sanayi bölgesinin toplam domino etkileri analiz edilmiştir. Tank yarılmasının etrafında bulunan tanka uluşması muhtemel etkileri ve toplam etkileri de bu çalışma sırasında analiz edilmiştir.

Kaza senaryoları Dünyada daha önce meydana gelmiş tank kazaları araştırılmış ve incelenmiştir. Buna göre bir senaryonun gerçekleşmesi ve sonuçlarının analiz edilmesi, gerçekleşme olasılığı yüksek olan olaylardan yola çıkılarak gerçekleştirilmiştir.

Bu nedenle salınımdan başlayarak bir potansiyel olayın ilerlemesini incelediğimiz bu senaryolarda yayılım modellemesi, patlama modellemesi ve toksik etki analizleri yapılmıştır. İlk olarak birincil salınım meydana geldiğinde etkisi ve müdahale teknikleri değerlendirilmiş, ikinci aşamada olayın büyüyerek tankın yarılmasına neden olması analiz edilmiş, üçüncü aşamada tankın diğer tanklara ve çevreye olan etkileri incelenmiş ve domino etkileri üzerinde durulmuştur.

Sonuçları Organize Sanayi Bölgesi yönetimi ve itfaiye ile paylaşılmıştır.

Burada kullanılan yazılımların güvenilir sonuçları olması, kullandığı metotların açık olması, entegre modelleri sürekli olarak doğrulama imkânı bulunması, kullanıcı hatalarını en aza indirmesi, yazılım güvenilirliğini arttırmaktadır.

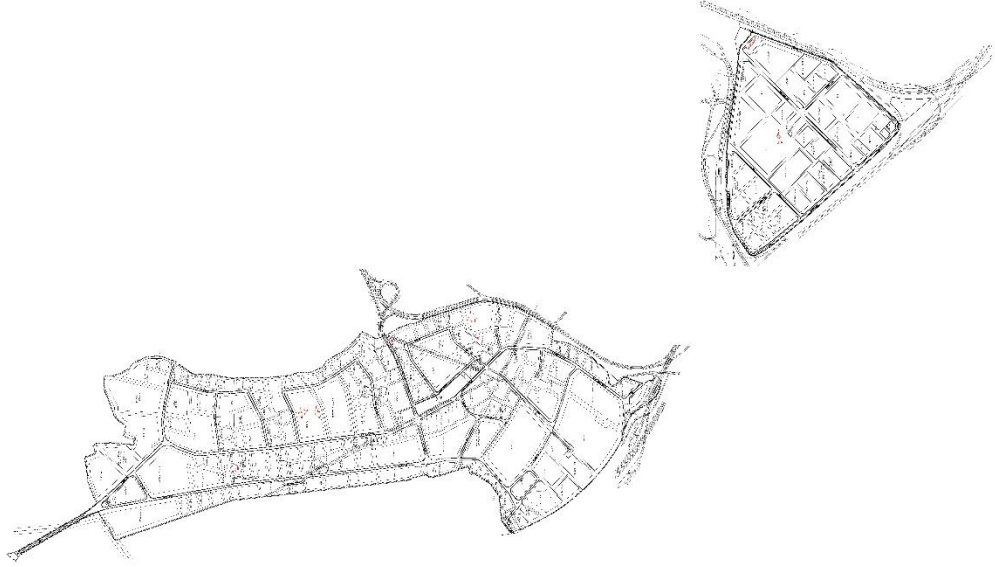
Bu yazılım tek tek her hattın ve her tankın bilgilerini, senaryolarda kullanılan tüm verileri, birlikte tek bir raporda irdelenmesiyle sağlanmaktadır. Görsel olarak

görüntülenmesi için kapsamlı raporlar, çizelgeler, yerleşim haritaları ve kuruluş çevresindeki yerleşim haritaları üzerindeki etkileri görülebilmektedir.

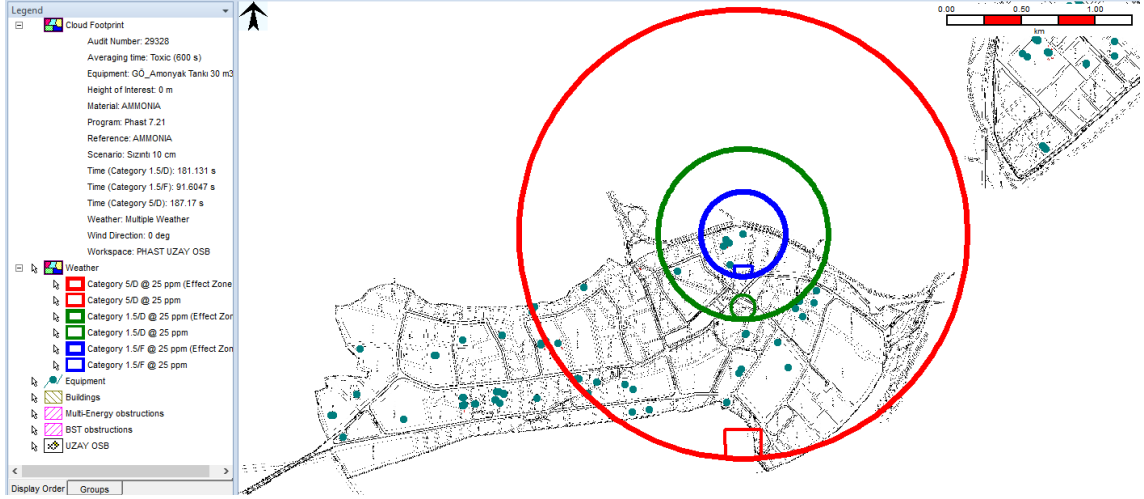
200'ün üzerinde firmanın faaliyet gösterdiği Organize Sanayi Bölgesindeki çeşitli salınım türleri ve kaynakları modellenmiştir.

Çalışmanın sonuçları bakımından organize sanayi bölgesi içerisindeki kuruluşlar başta olmak üzere, itfaiye, AFAD ve çevredeki diğer kuruluşlara müdahale planlarının oluşturulmasına katkı sağlamaktadır.

Çalışmasında, organize sanayi bölgesi içerisindeki tesislerde bulunan kimyasallara ait katastrofik yarıma ve sızıntı(10 cm) modellemeleri esas alınmıştır. Bu modelleme aşamasında akademik linanslı yazılımlardan biri olan PHAST programı kullanılmıştır. Programın yaptığı birçok etki analizi içerisinde yayılım, patlama ve toksik etkileri değerlendirilmiştir.



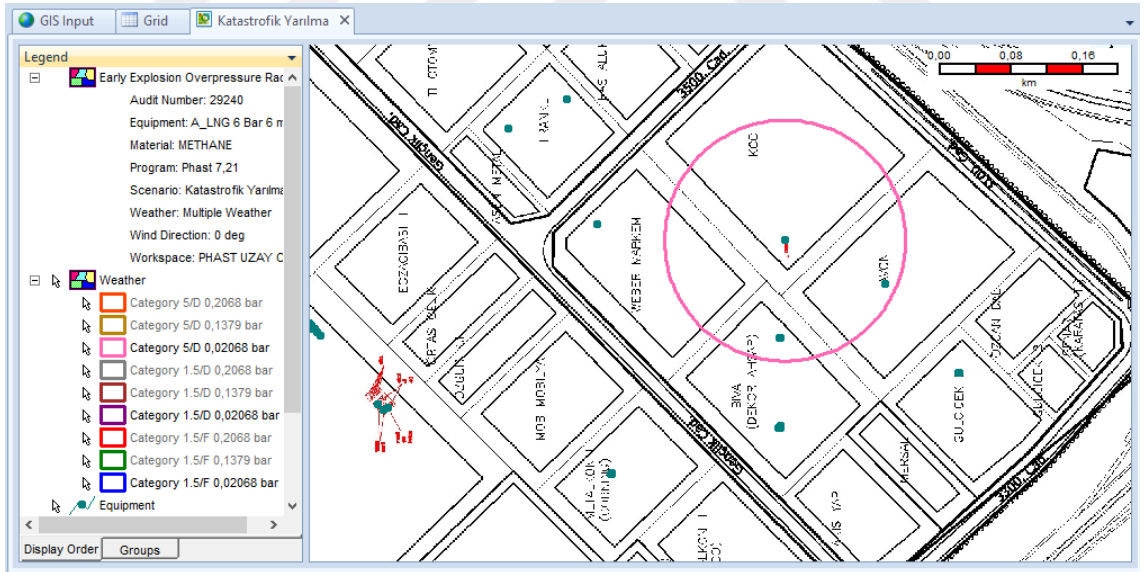
Şekil 9: Organize Sanayi Bölgesi Krokisi



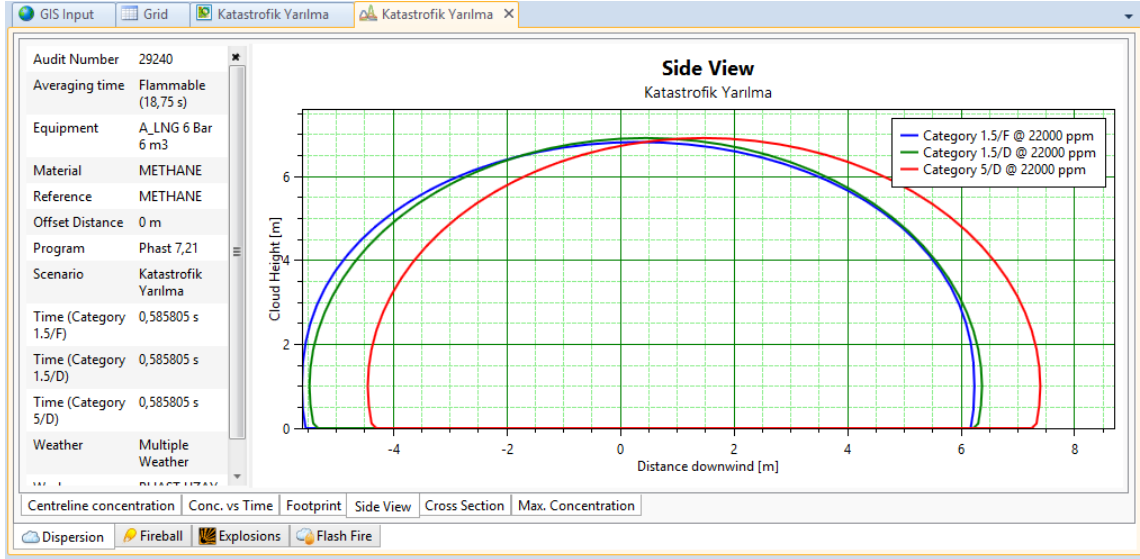
Şekil 11: Toksik Etki Modellemesi ve Mesafesi

Daha öncesinde paylaşılan birincil kazanın etkilerinin diğer tesislerde veya kendi içerisinde meydana getirebilecek kombine etkilerinin yanı sıra bazı tesislere ait yaşanabilecek tek bir olay bazında çalışmalarda aşağıda paylaşılmıştır.

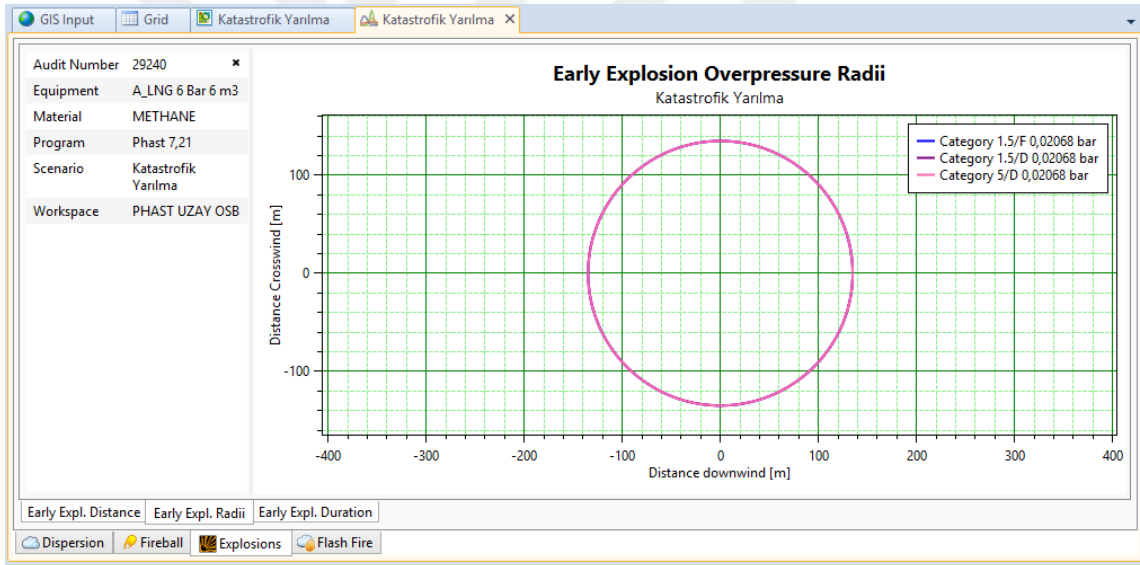
4.2.1. A Tesisi



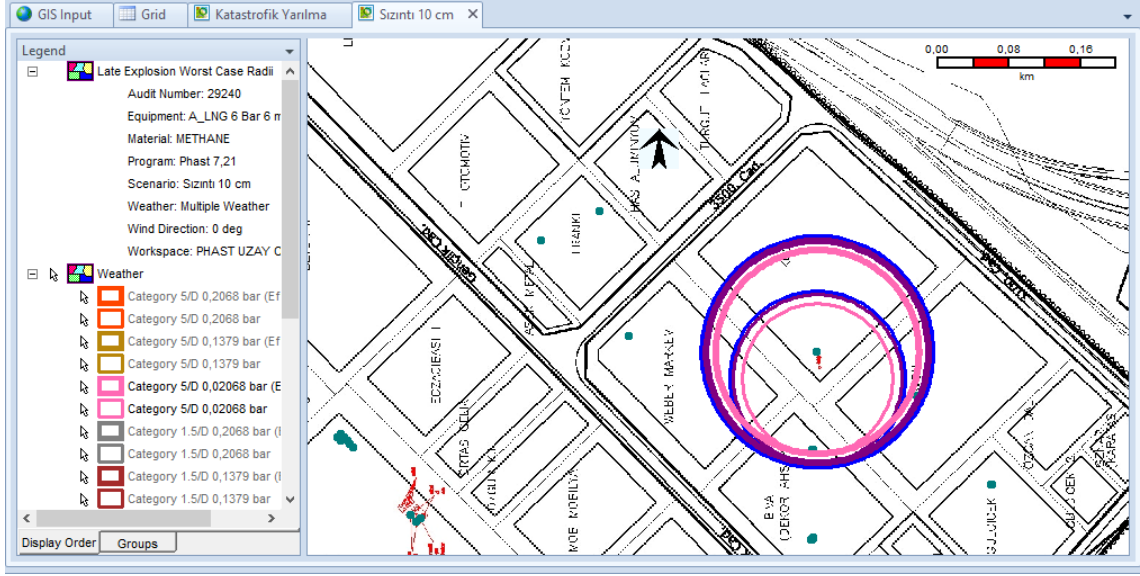
Şekil 12: 6 m³ LNG tankı -katastrofik yarılma- en kötü senaryo erken patlama aşırı basınç etkisi kuşbakışı görünümü



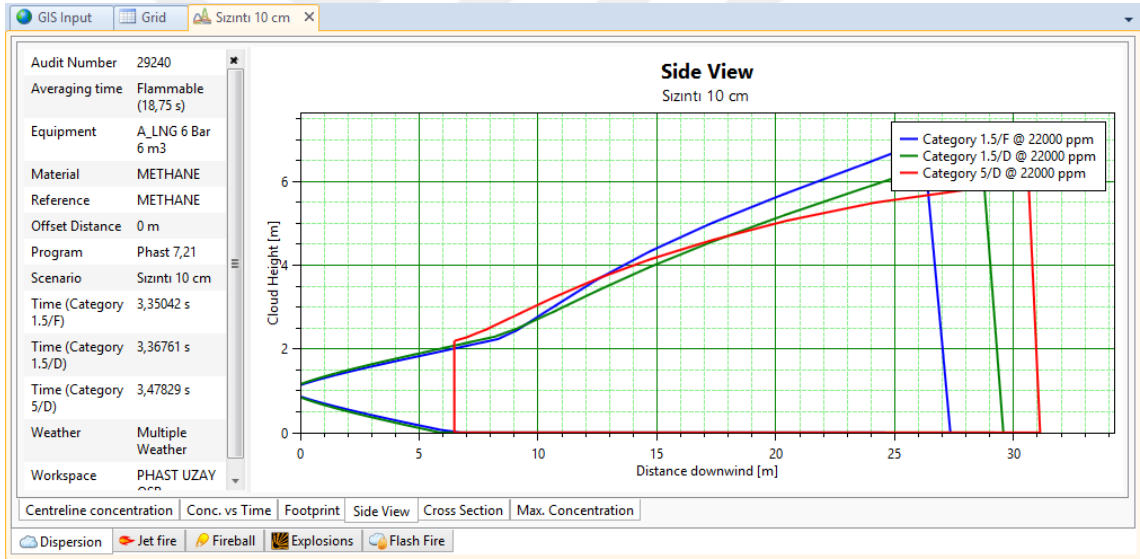
Şekil 13: 6 m³ LNG tankı -katastrofik yarılma- dağılım modellemesi yandan görünüm



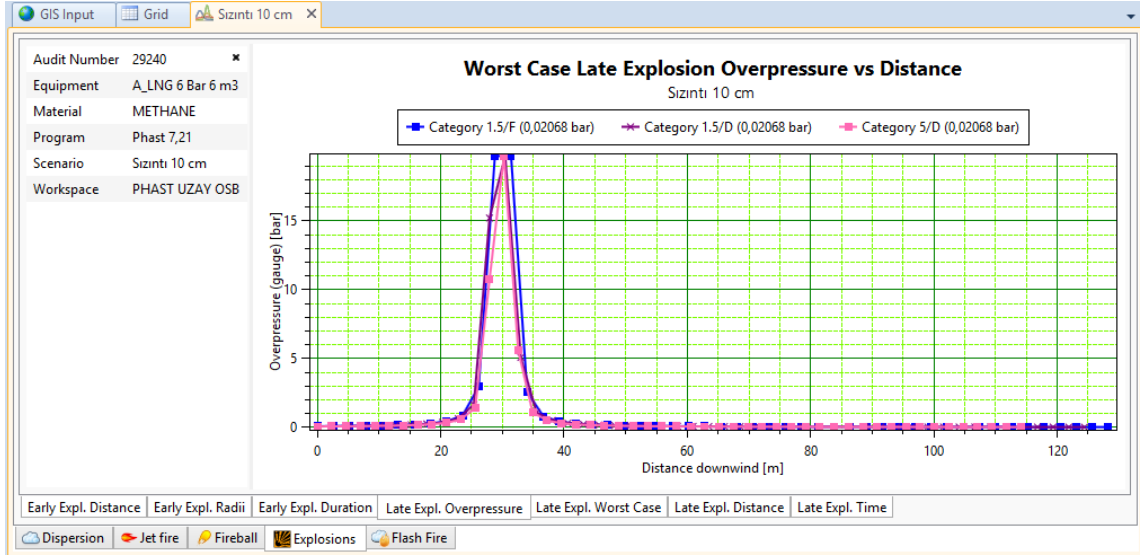
Şekil 14: 6 m³ LNG tankı -katastrofik yarılma- erken patlama aşırı basınç etkisi



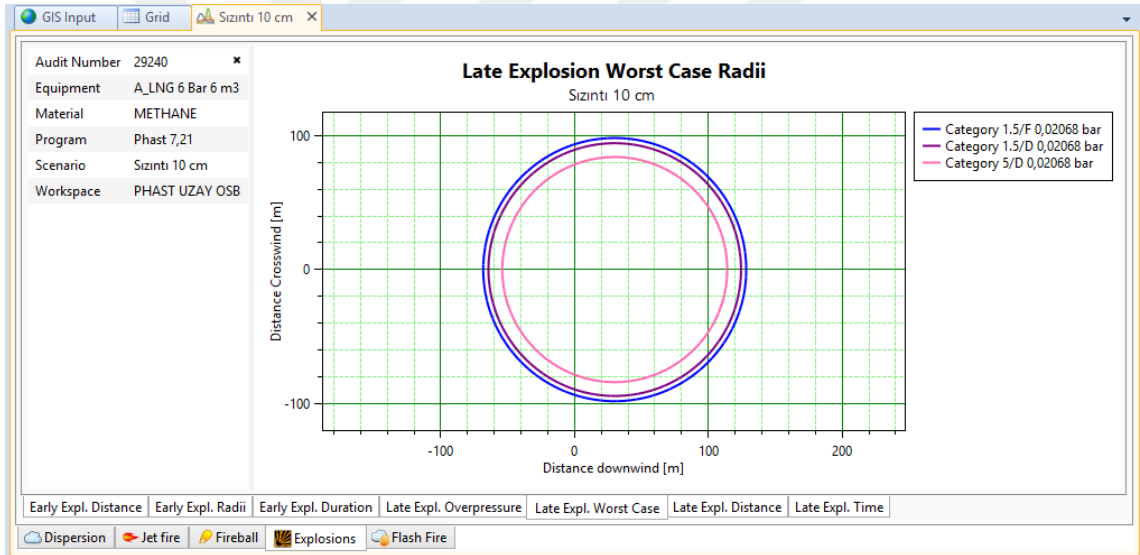
Şekil 15: 6 m³ LNG tankı sızıntı(10 cm)- en kötü senaryo geç patlama etkisi kuş bakışı görünümü



Şekil 16: 6 m³ LNG tankı- sızıntı(10 cm)- dağılım modellemesi yandan görünüm

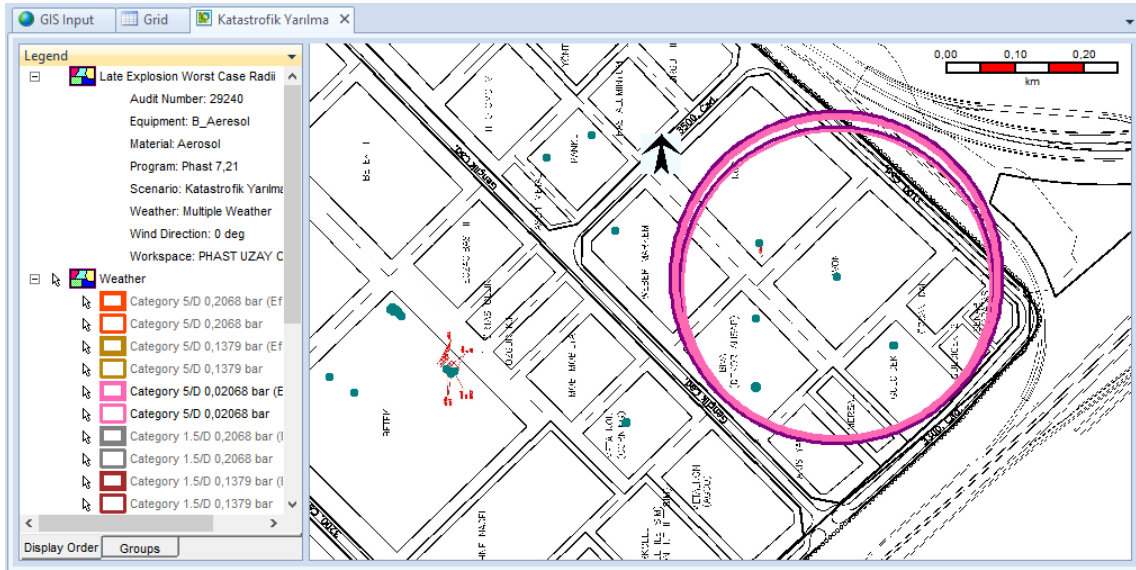


Şekil 17: 6 m³ LNG tankı- sızıntı(10 cm)- en kötü senaryo geç patlama aşırı basınç etkisi

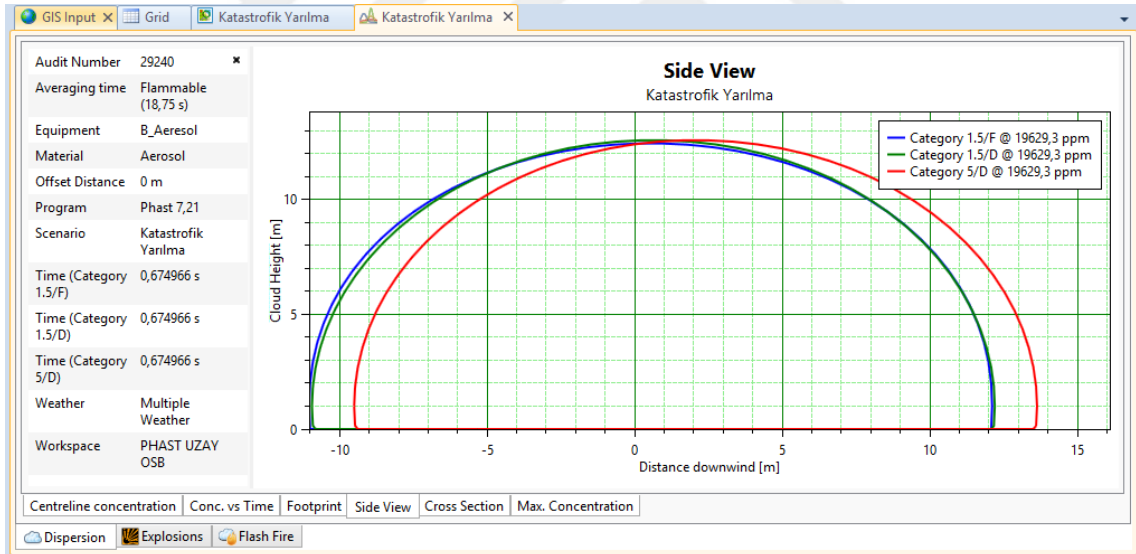


Şekil 18: 6 m³ LNG tankı- sızıntı(10 cm)- geç patlama en kötü senaryo etkisi

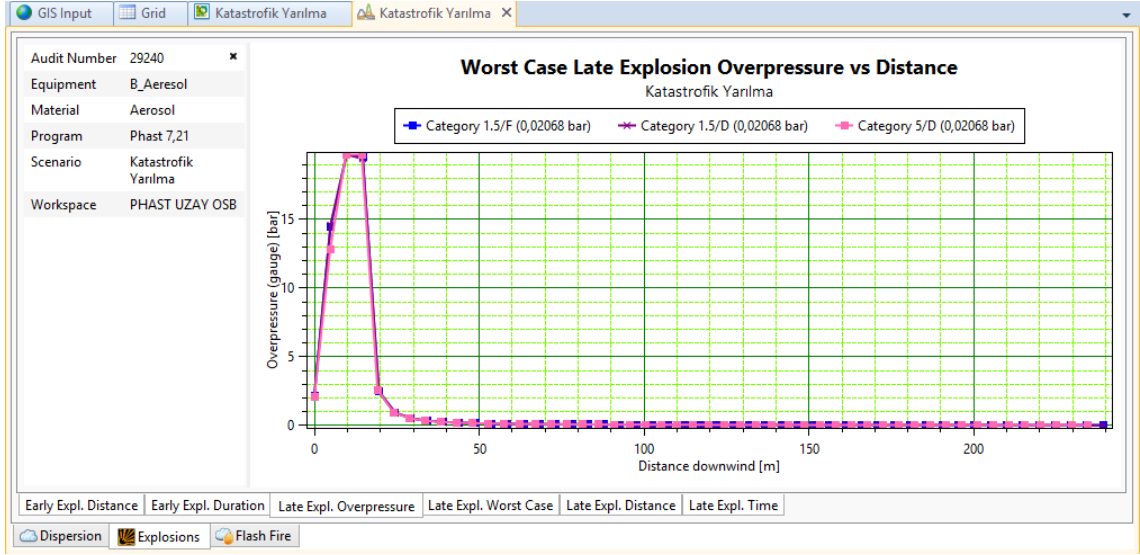
4.2.2. B Tesisi



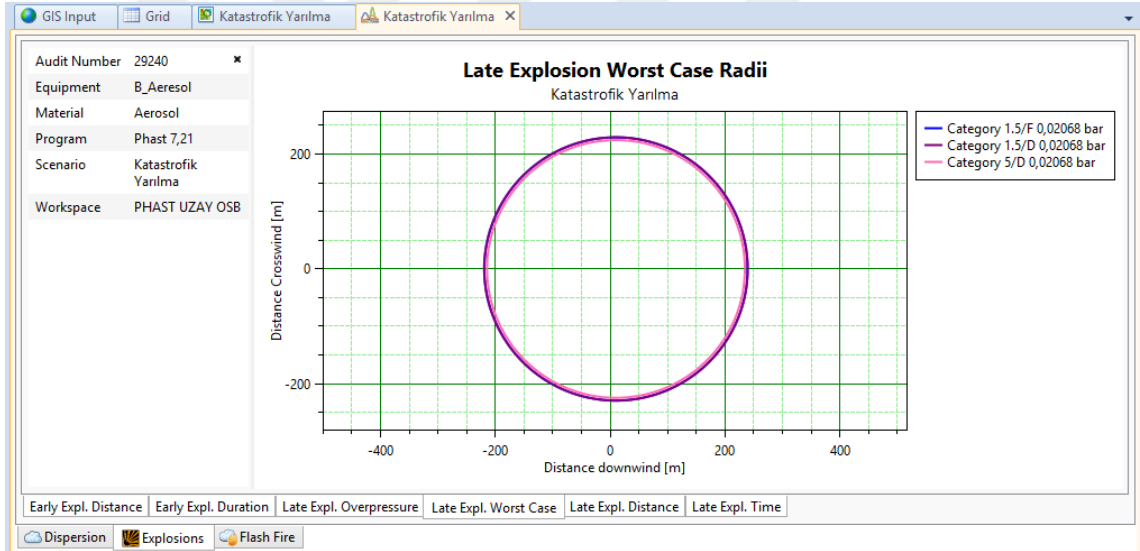
Şekil 19: 4 m³ aerosol - katastrofik yanılma- geç patlama en kötü senaryo etkisi kuş bakışı görünüm



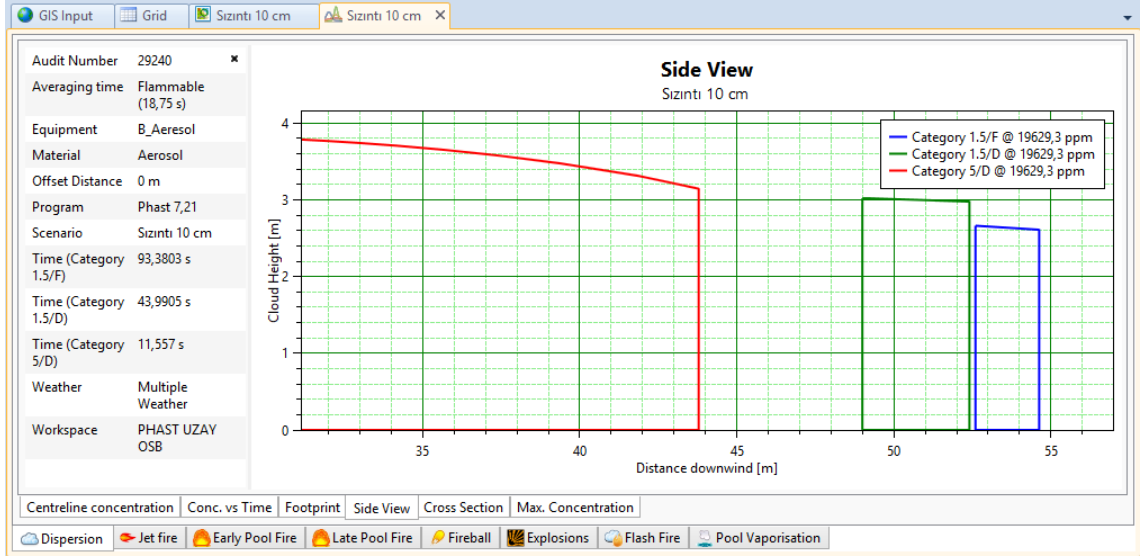
Şekil 20: 4 m³ aerosol -katastrofik yanılma-dağılım modellemesi yandan görünüm



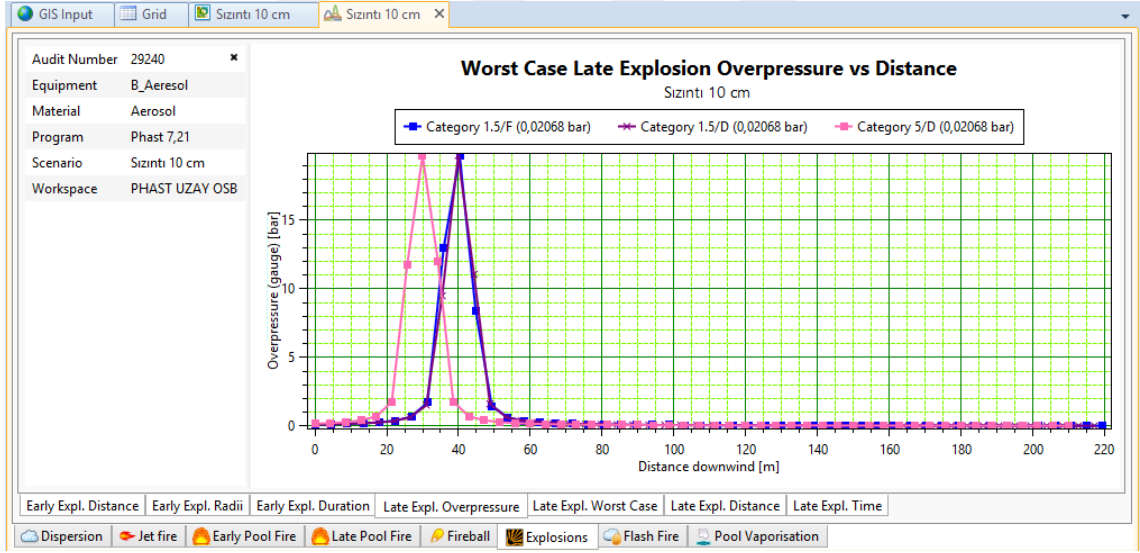
Şekil 21: 4 m³ aerosol- katastrofik yarılma-en kötü senaryo geç patlama aşırı basınç etkisi



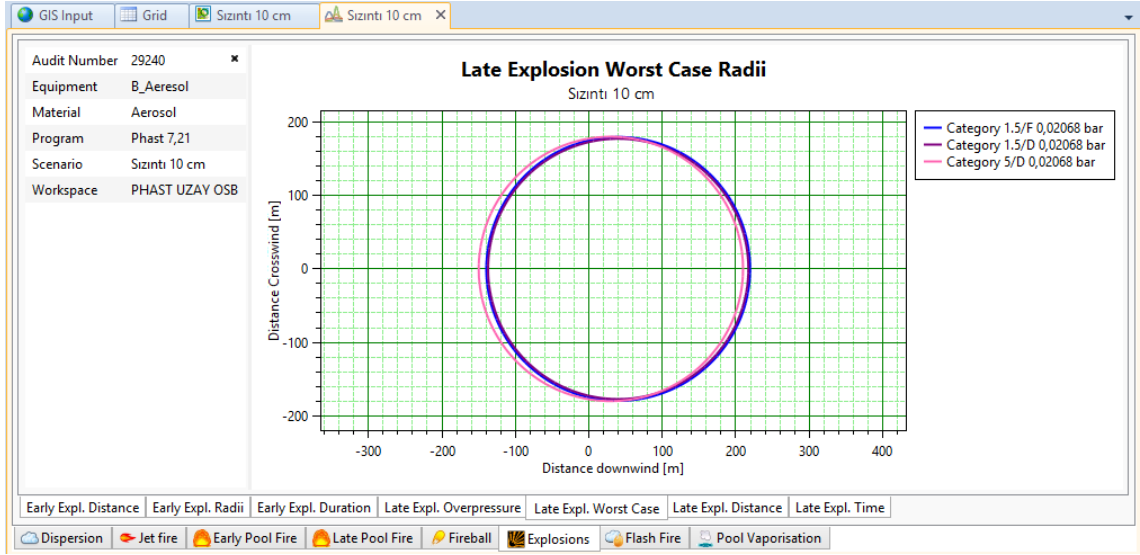
Şekil 22: 4 m³ aerosol- katastrofik yarılma-geç patlama en kötü senaryo etkisi



Şekil 23: 4 m³ aerosol -sızıntı (10 cm) - dağılım modellemesi yandan görünüm

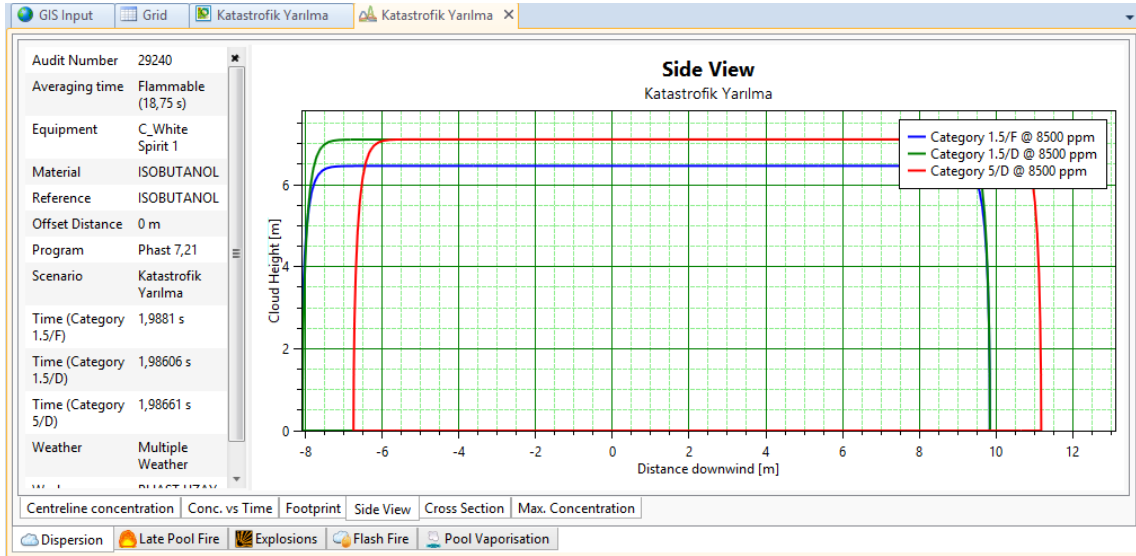


Şekil 24: 4 m³ aerosol sızıntı (10 cm)-en kötü senaryo geç patlama aşırı basınç etkisi

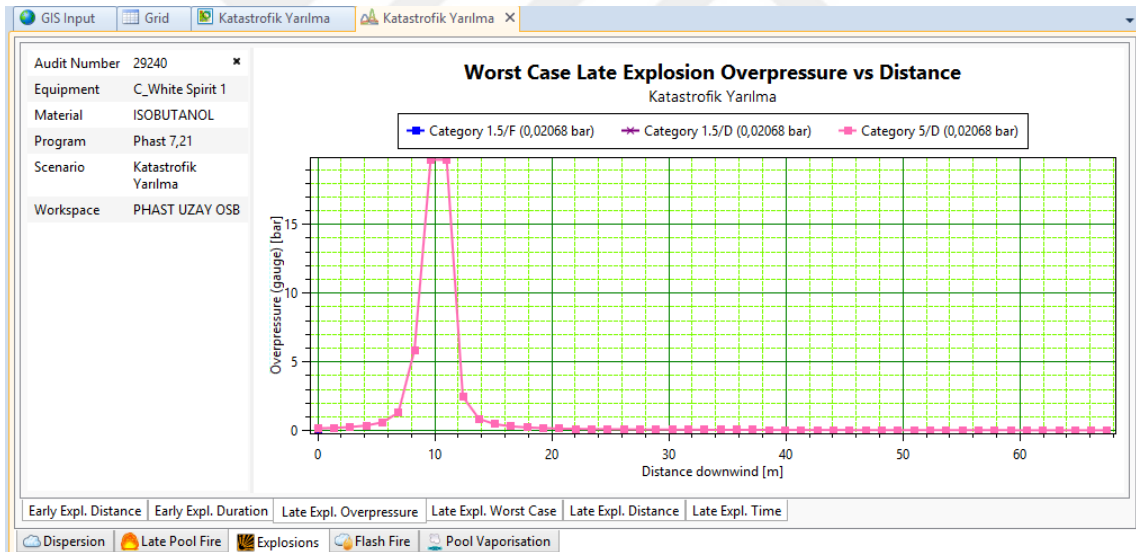


Şekil 25: 4 m³ aerosol sızıntı (10 cm)-geç patlama en kötü senaryo etkisi

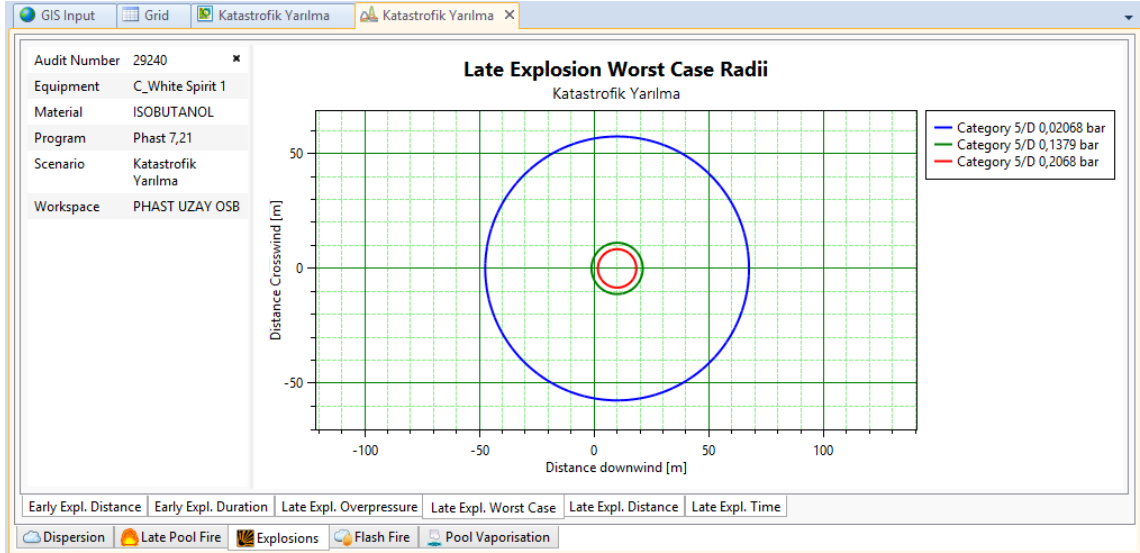
4.2.3. C Tesisi



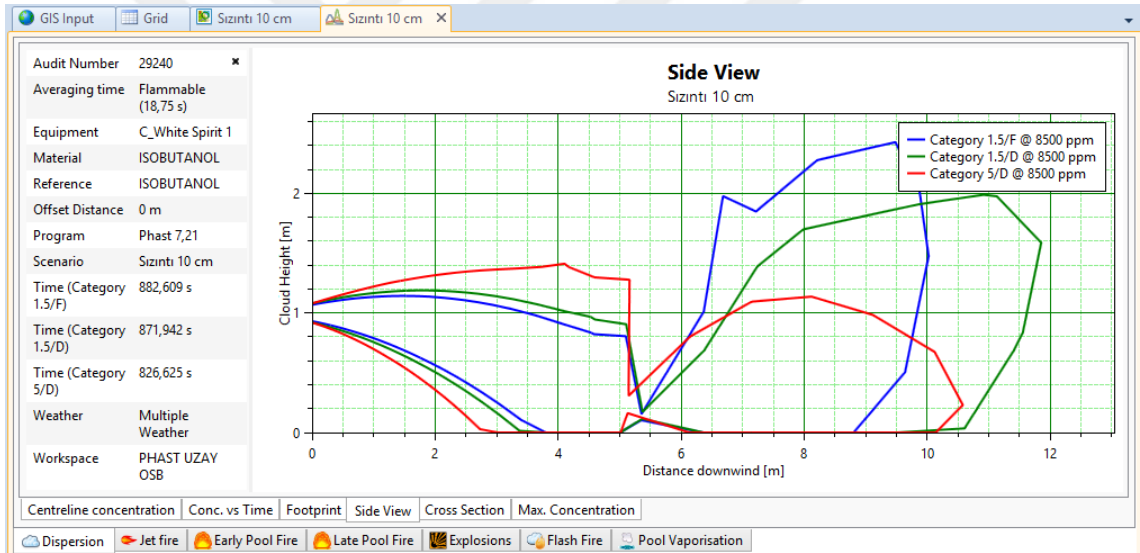
Şekil 26: 60 m³ white spirit 1-2 katastrofik yarılma-dağılım modellemesi yandan görünüm



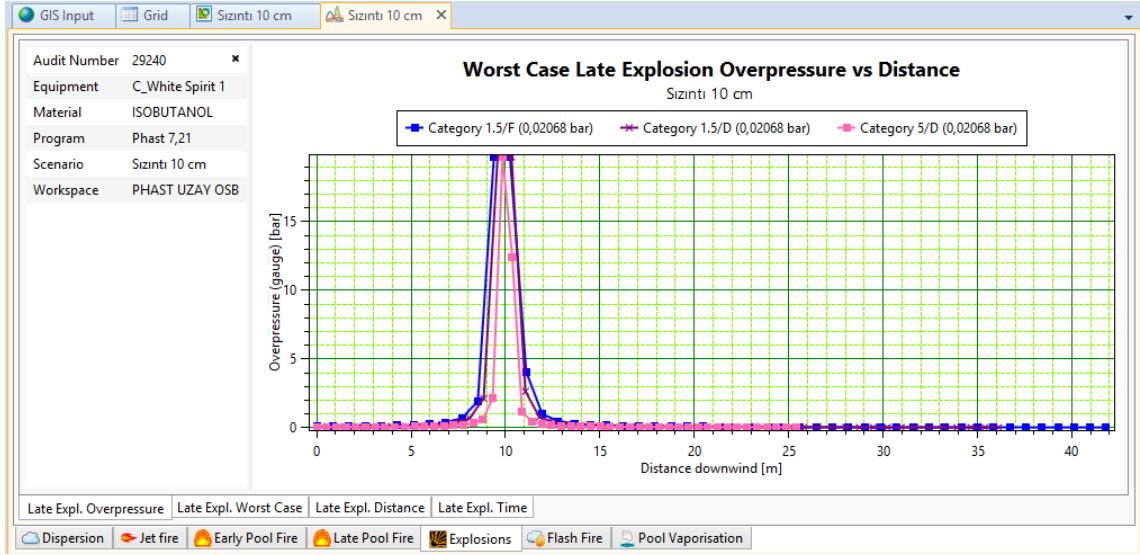
Şekil 27: 60 m³ white spirit 1-2 katastrofik yarılma- en kötü senaryo geç patlama aşırı basınç etkisi



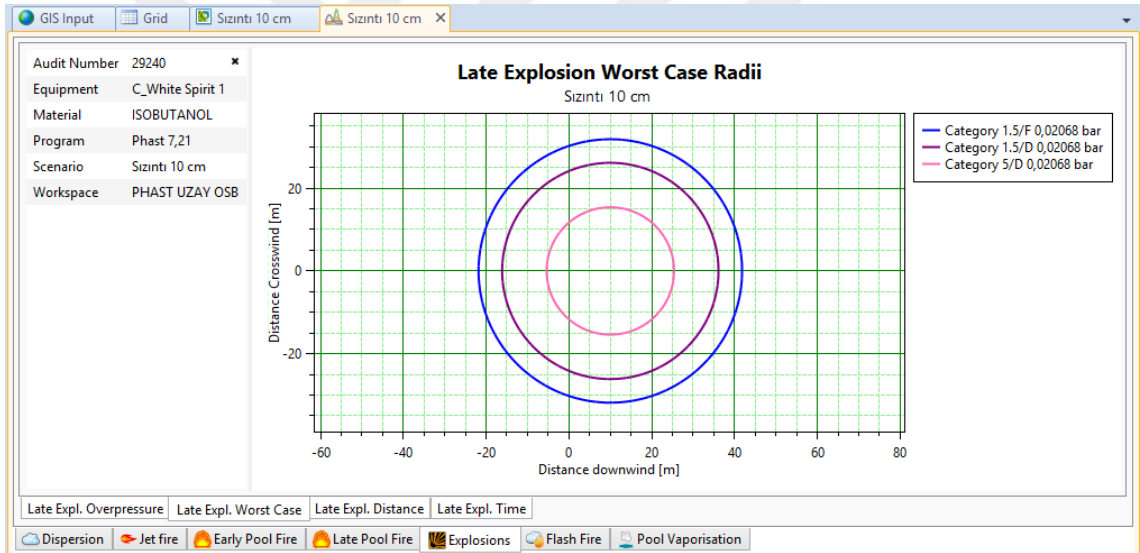
Şekil 28: 60 m³ white spirit 1-2 katastrofik yanılma- geç patlama etn kötü senaryo etkisi



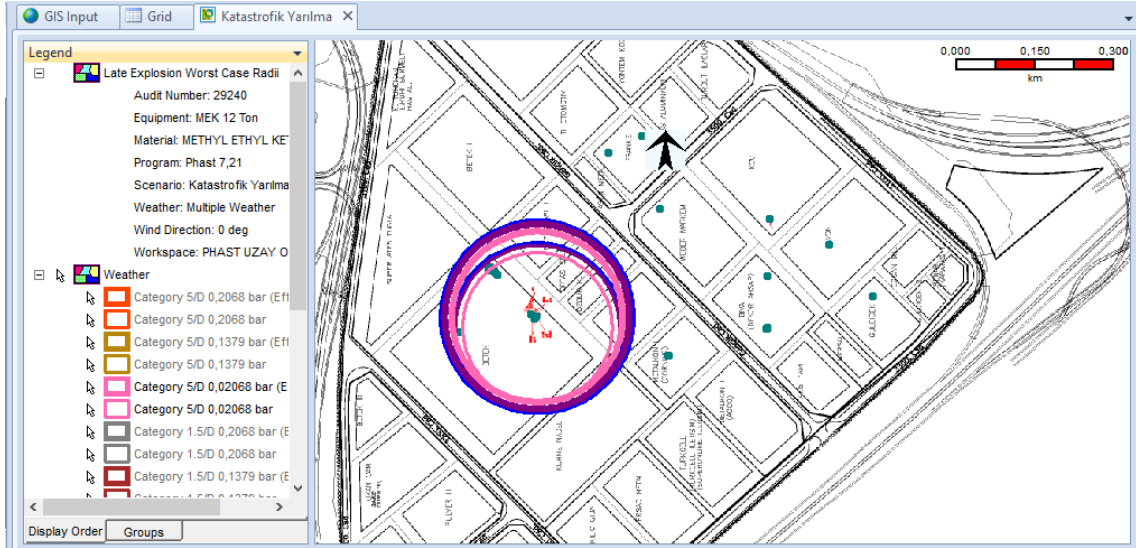
Şekil 29: 60 m³ white spirit 1-2 sızıntı(10 cm)-dağılım modellemesi yandan görünüm



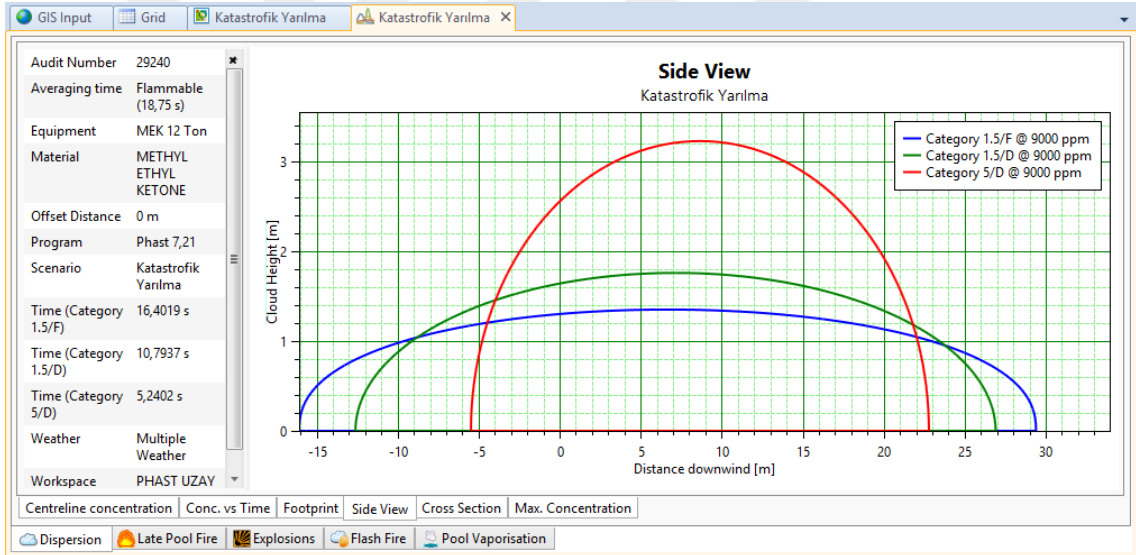
Şekil 30: 60 m³ white spirit 1-2 sızıntı(10 cm)-en kötü senaryo geç patlama aşırı basınç etkisi



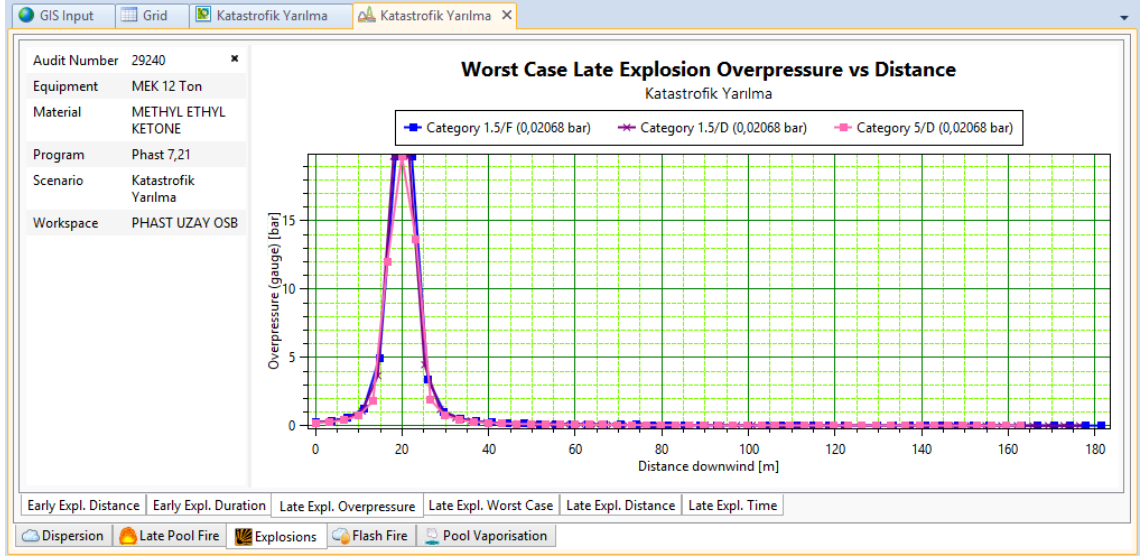
Şekil 31: 60 m³ white spirit 1-2 sızıntı(10 cm)-geç patlama en kötü senaryo etkisi



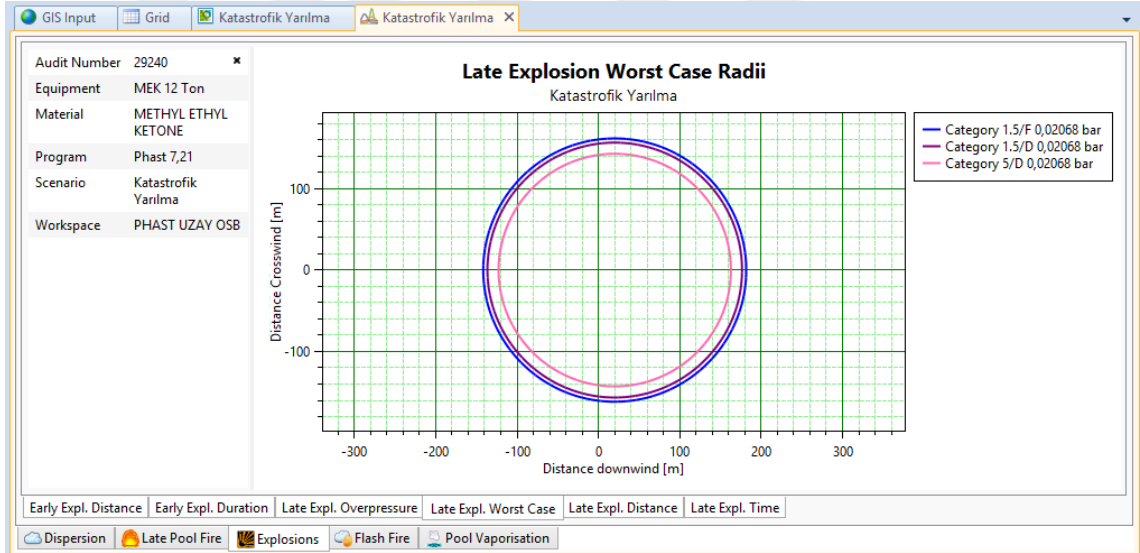
Şekil 32: Metil Etil Keton 12 ton- katastrofik yarılma- geç patlama en kötü senaryo etkisi



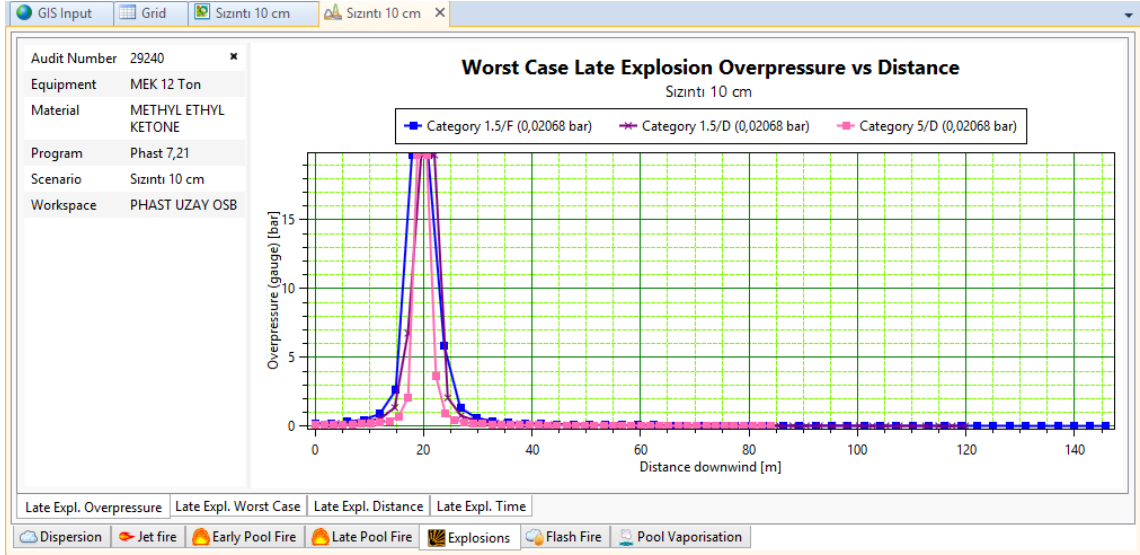
Şekil 33: Metil Etil Keton 12 ton- katastrofik yarılma- dağılım modellemesi yandan görünüm



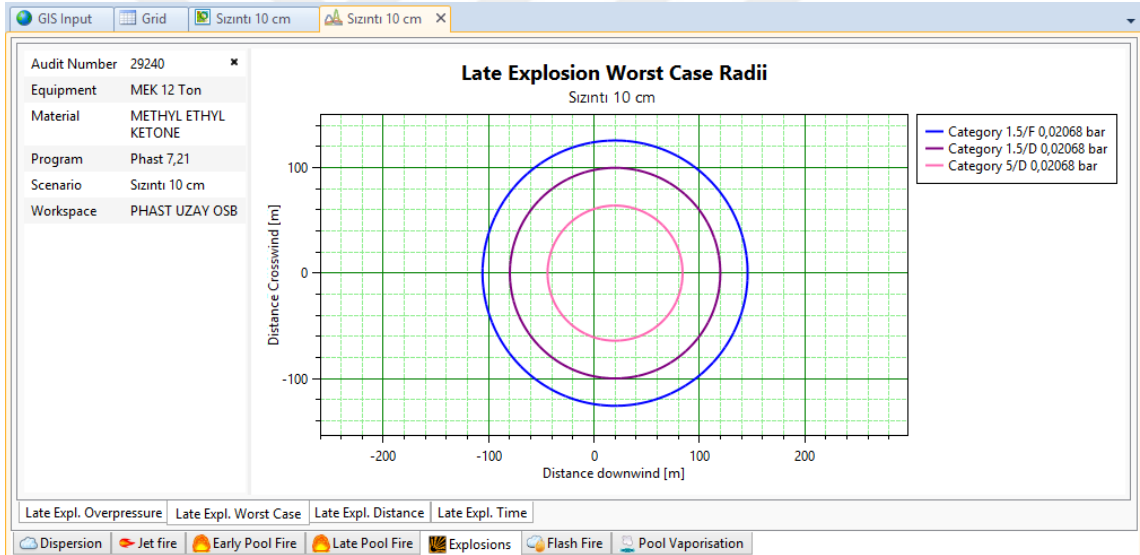
Şekil 34: Metil Etil Keton 12 ton katastrofik yarılma-en kötü senaryo geç patlama aşırı basınç etkisi



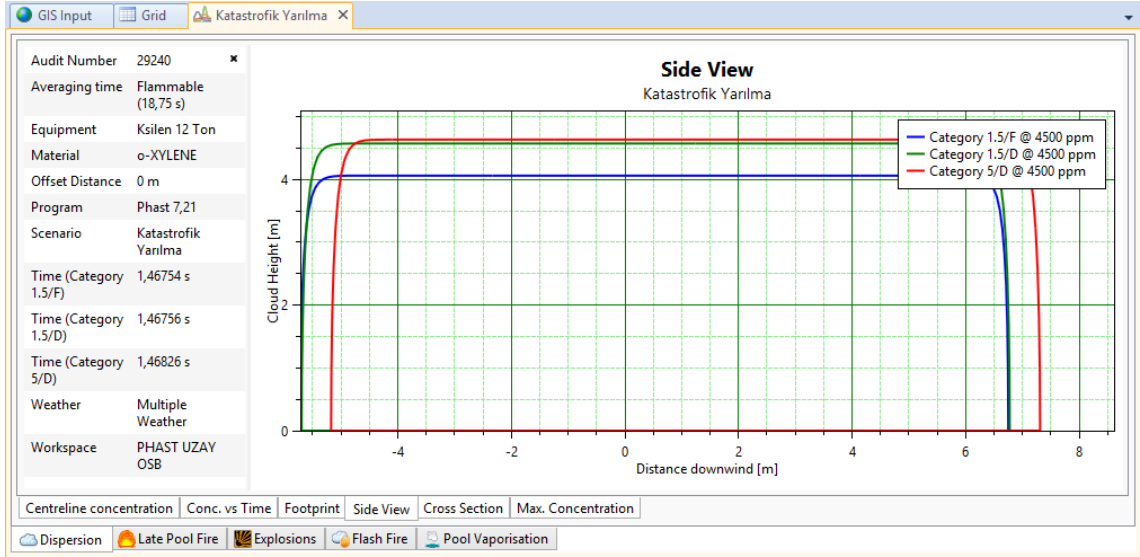
Şekil 35: Metil Etil Keton 12 ton katastrofik yarılma-geç patlama en kötü senaryo etkisi



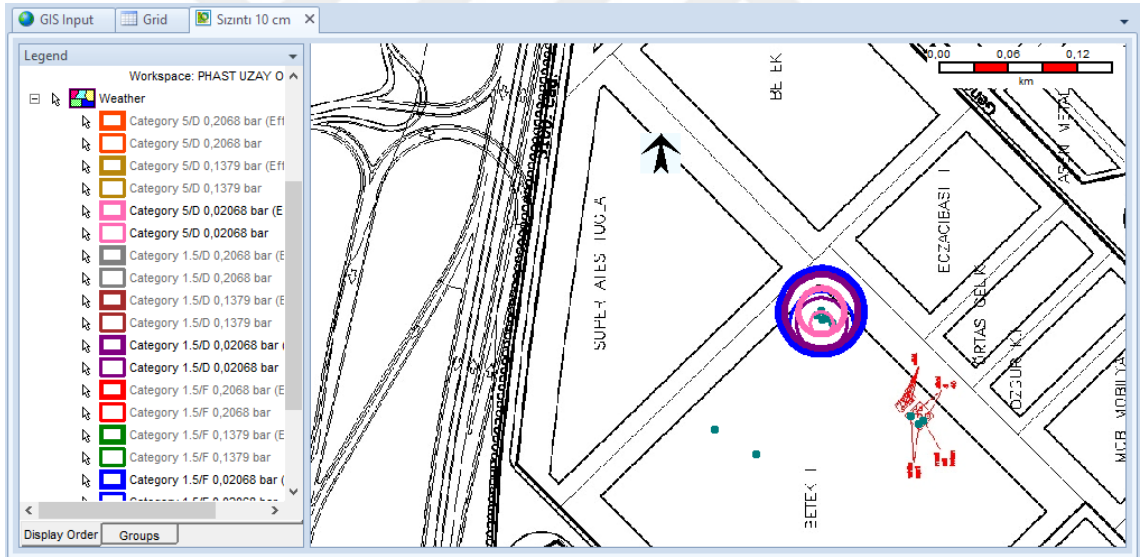
Şekil 36: Metil Etil Keton 12 ton sızıntı(10 cm)-en kötü senaryo geç patlama aşırı basınç etkisi



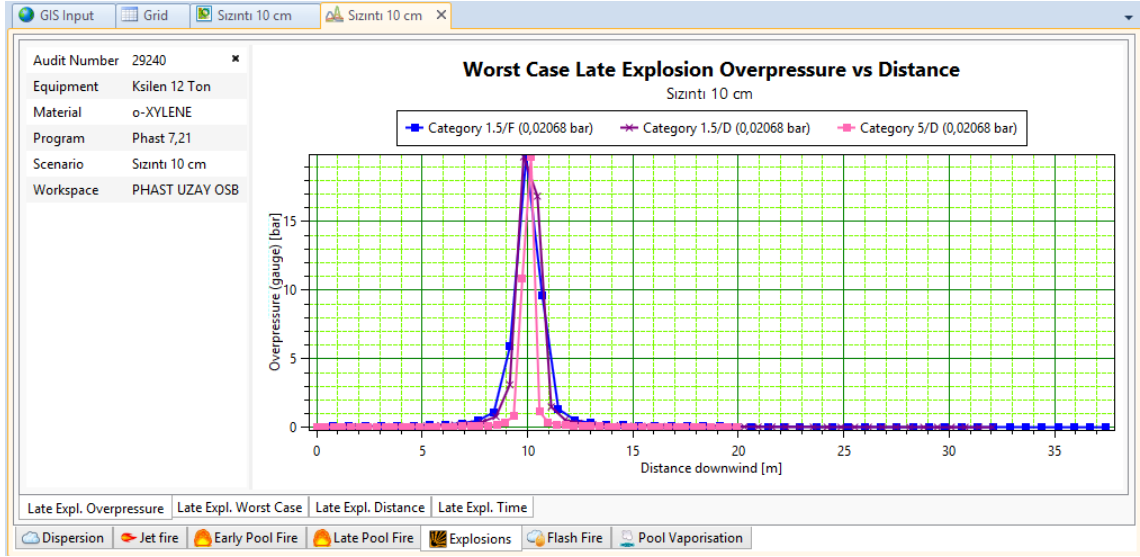
Şekil 37: Metil Etil Keton 12 ton sızıntı(10 cm)-geç patlama en kötü senaryo etkisi



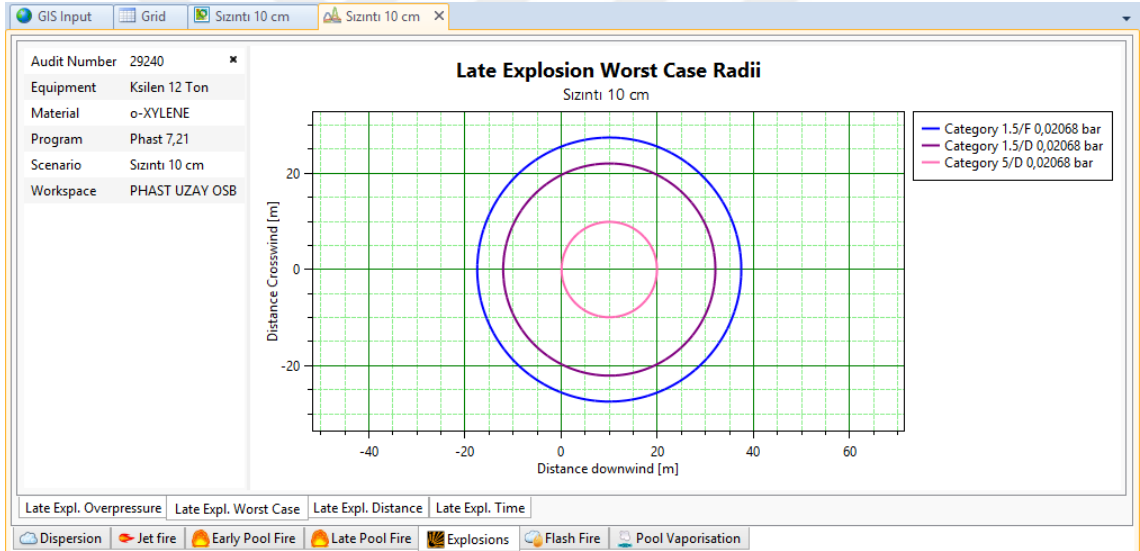
Şekil 38: Ksilen 12 ton katastrofik yanılma-dağılım modellemesi yandan görünüm



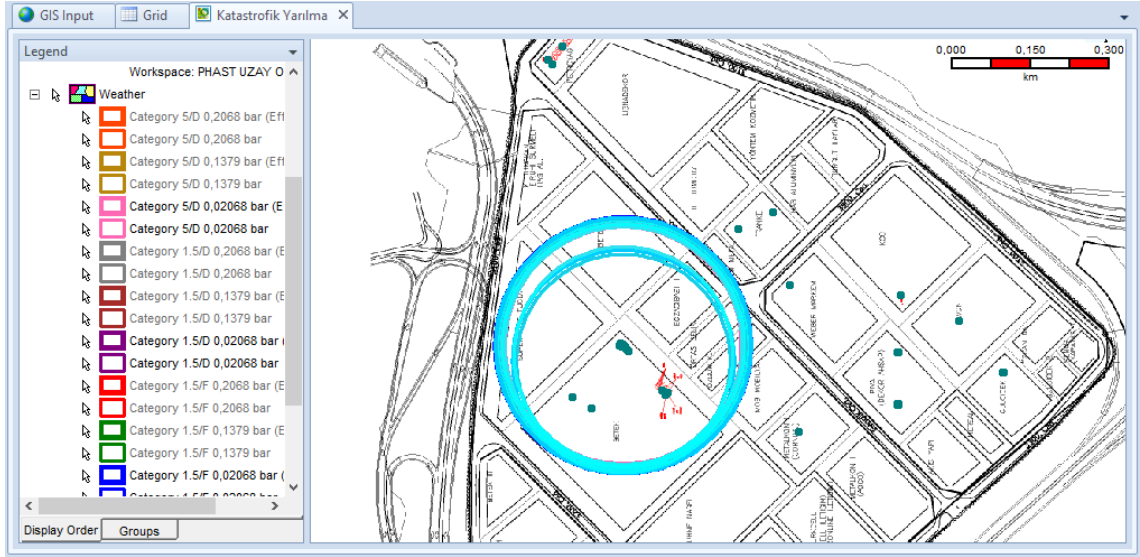
Şekil 39: Ksilen 12 ton sızıntı(10 cm)- en kötü senaryo geç patlama kuş bakışı görünüm



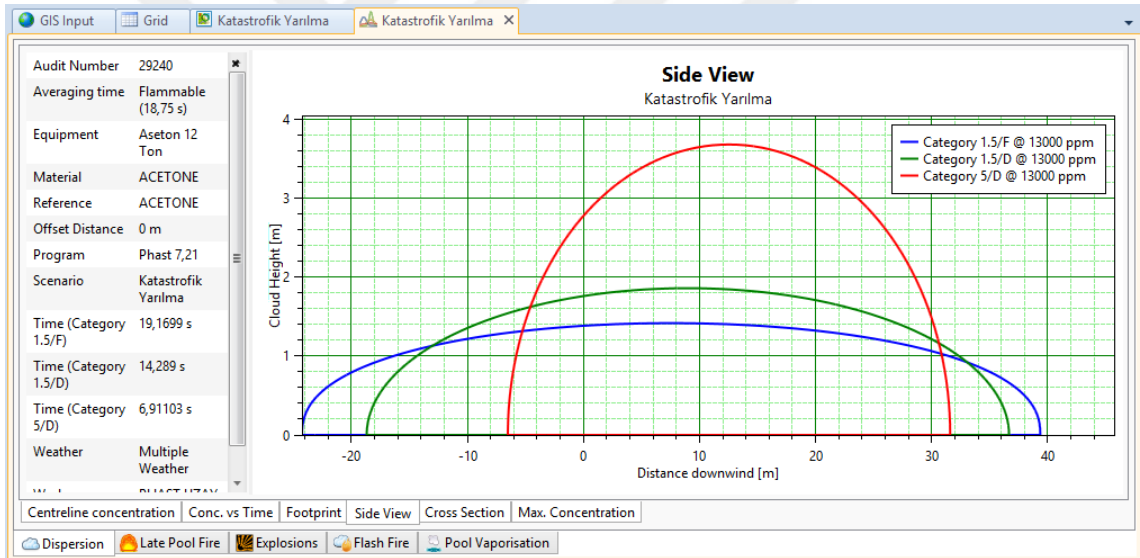
Şekil 40: Ksilen 12 ton sızıntı(10 cm) –en kötü senaryo geç patlama aşırı basınç etkisi



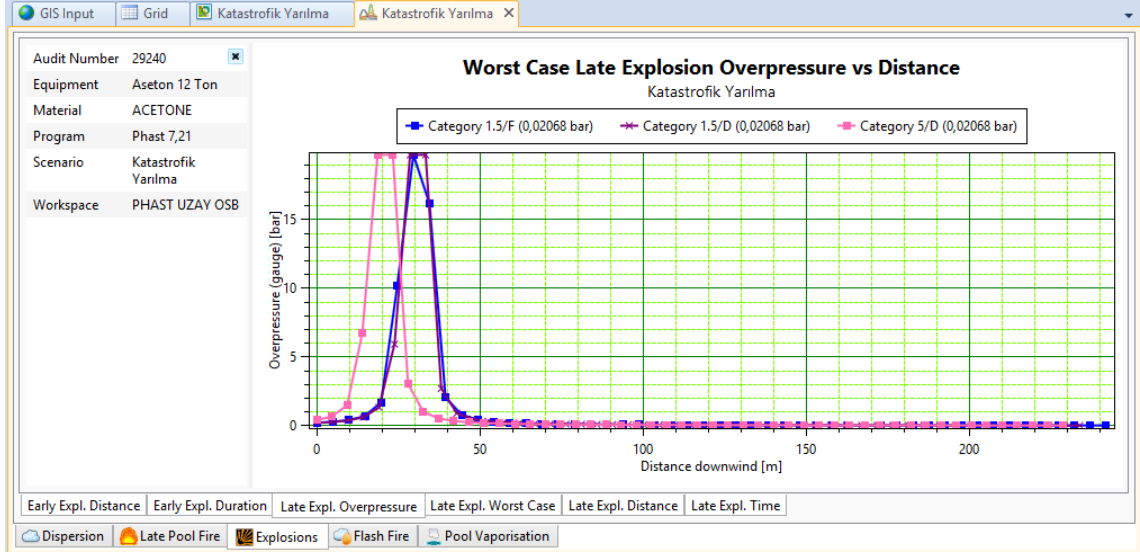
Şekil 41: Ksilen 12 ton sızıntı(10 cm)-geç patlama en kötü senaryo etkisi



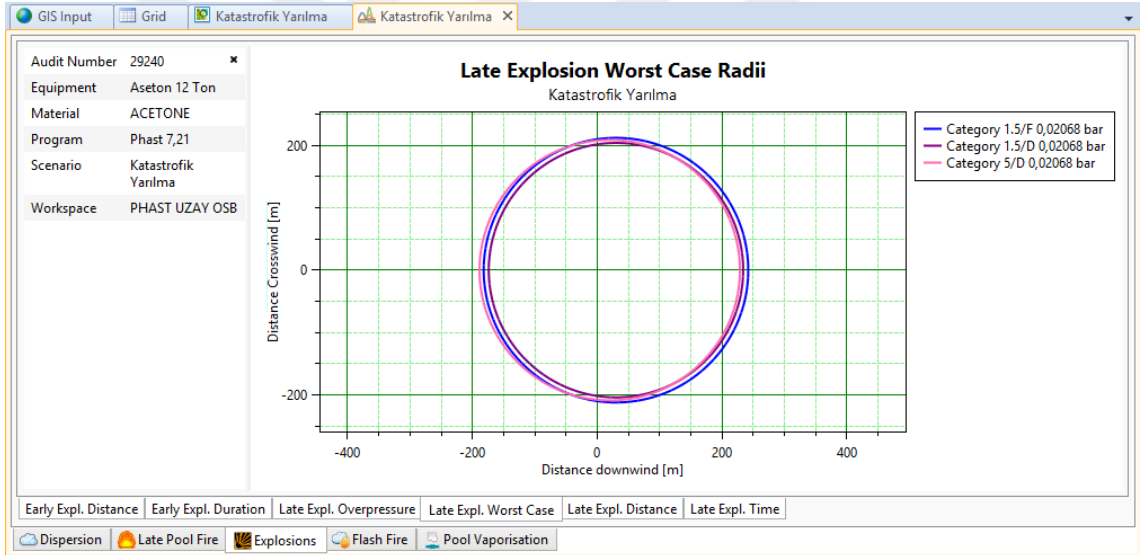
Şekil 42: Aseton 12 ton katastrofik yarılma- en kötü senaryo geç patlama kuş bakışı görünüm



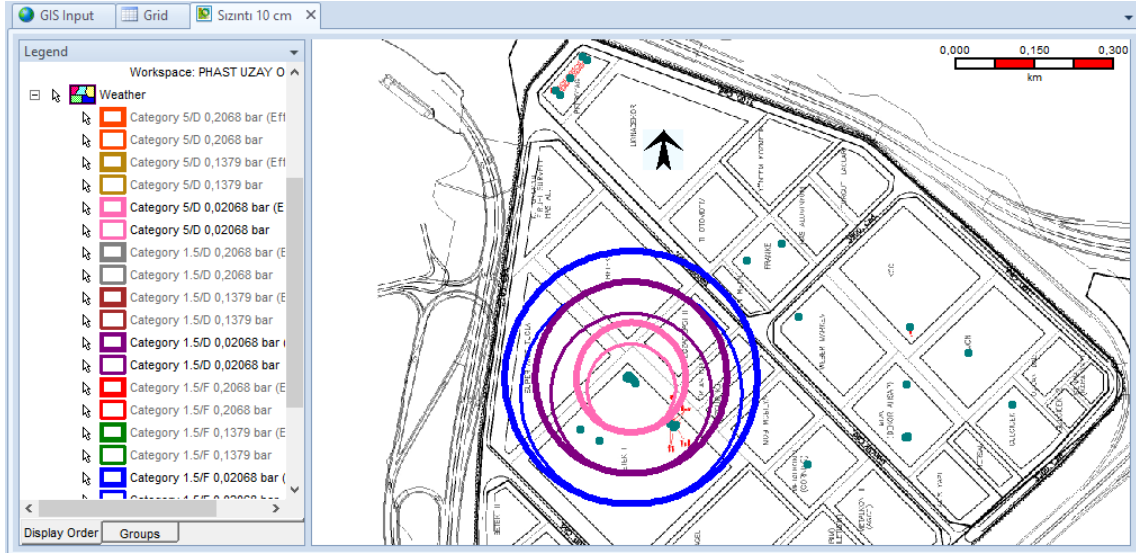
Şekil 43: Aseton 12 ton katastrofik yarılma-dağılım modellemesi yandan görünüm



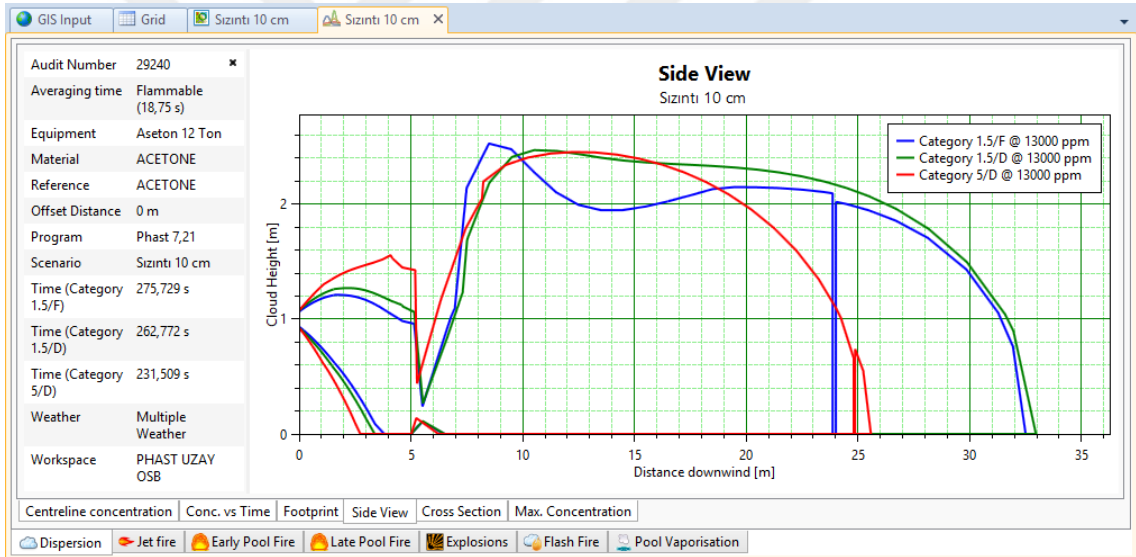
Şekil 44: Aseton 12 ton katastrofik yarılma –en kötü senaryo geç patlama aşırı basınç etkisi



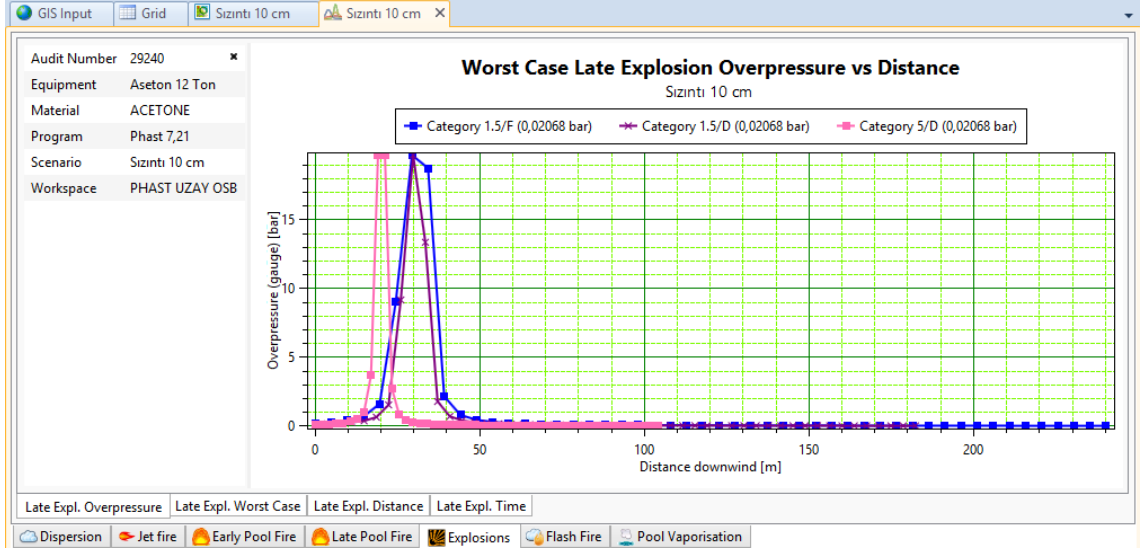
Şekil 45: Aseton 12 ton katastrofik yarılma-geç patlama en kötü senaryo etkisi



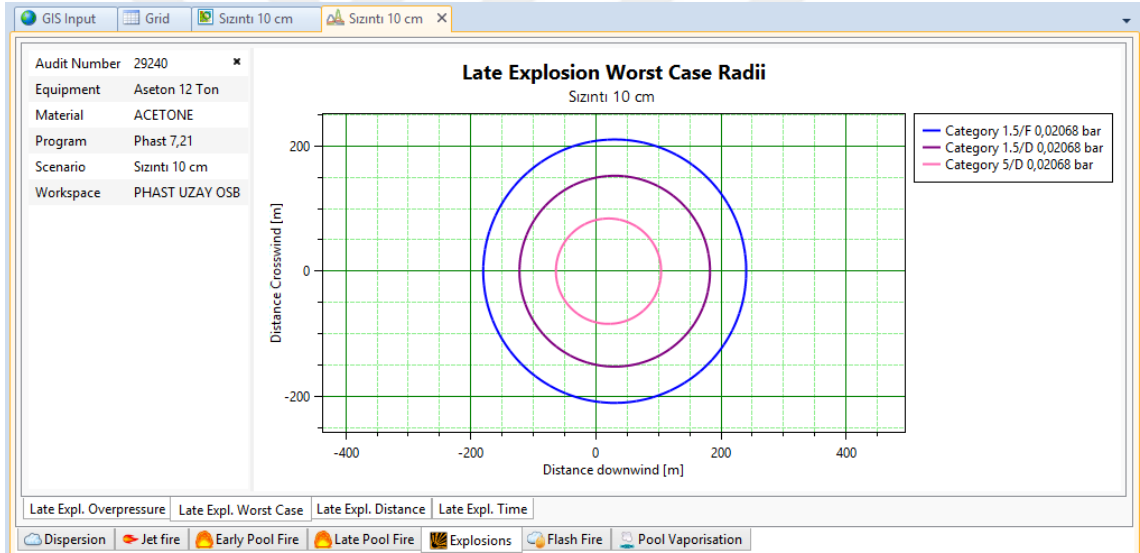
Şekil 46: Aseton 12 ton sızıntı(10 cm)- en kötü senaryo geç patlama etkisi kuş bakışı görünüm



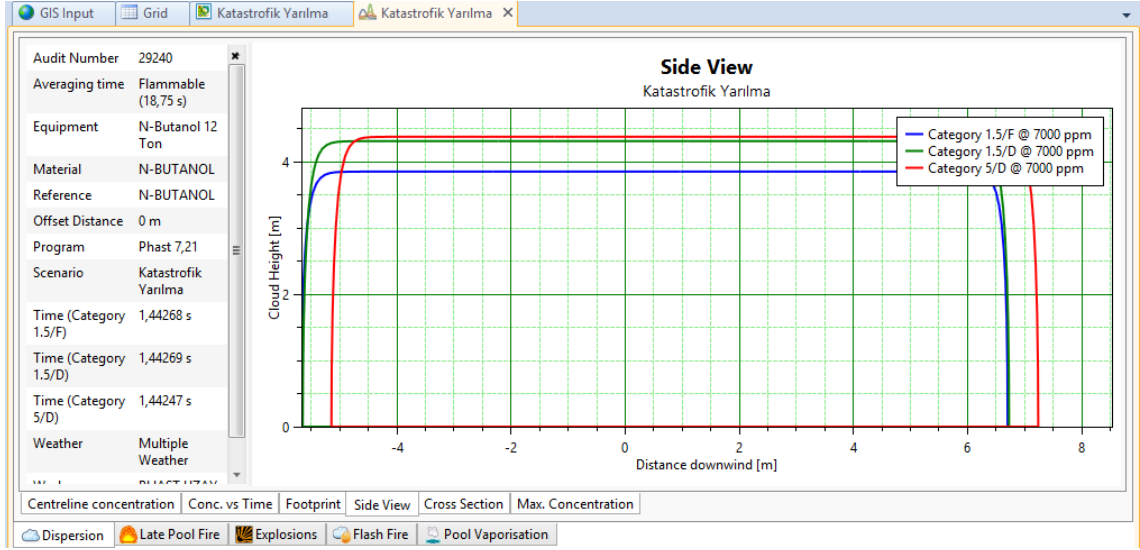
Şekil 47: Aseton 12 ton sızıntı(10 cm)-dağılım modellemesi yandan görünüm



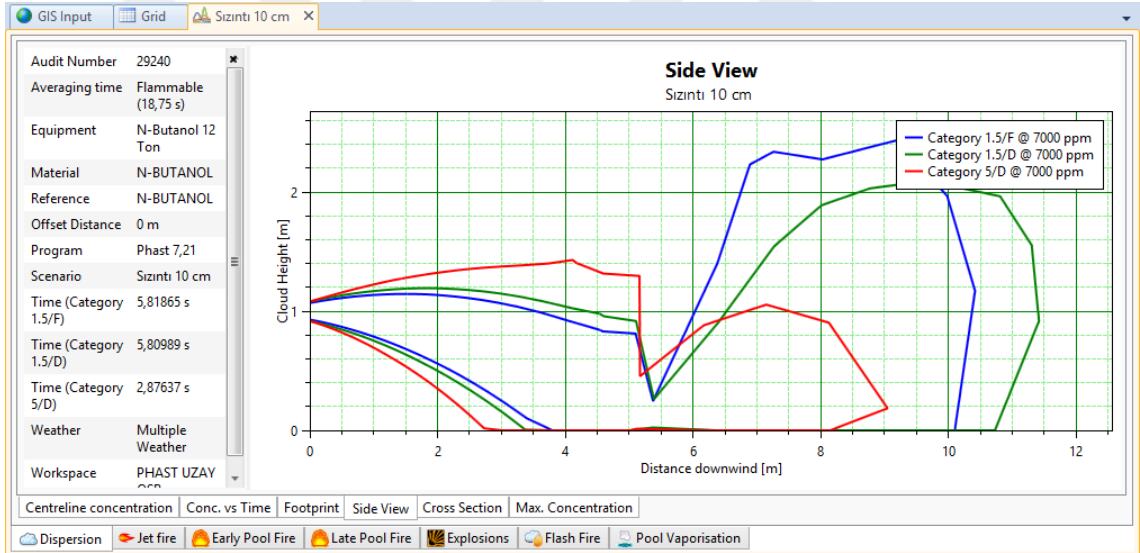
Şekil 48: Aseton 12 ton sızıntı(10 cm) – en kötü senaryo geç patlama aşırı basınç etkisi



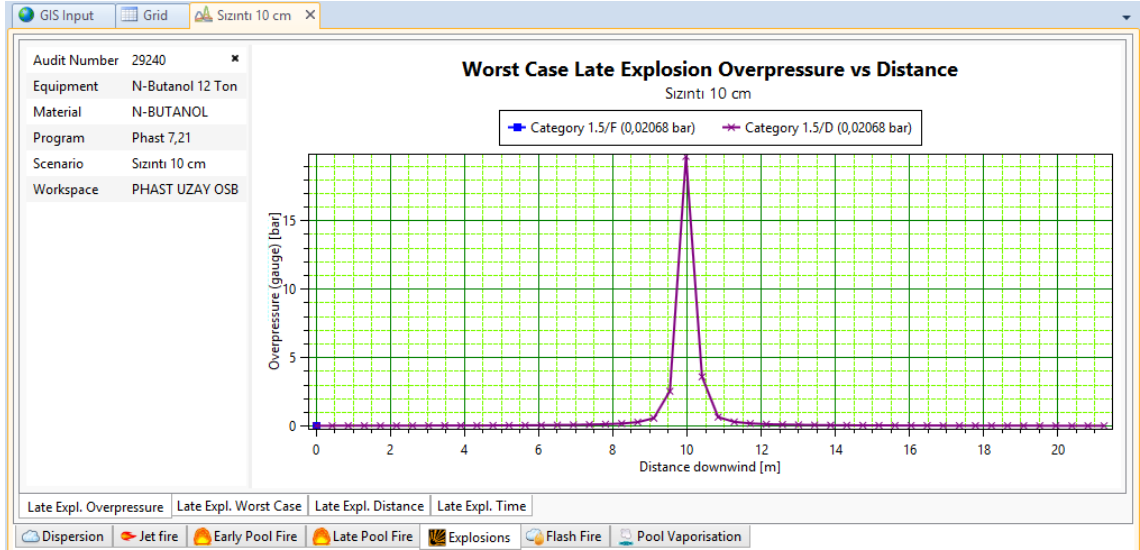
Şekil 49: Aseton 12 ton sızıntı(10 cm) – geç patlama en kötü senaryo etkisi



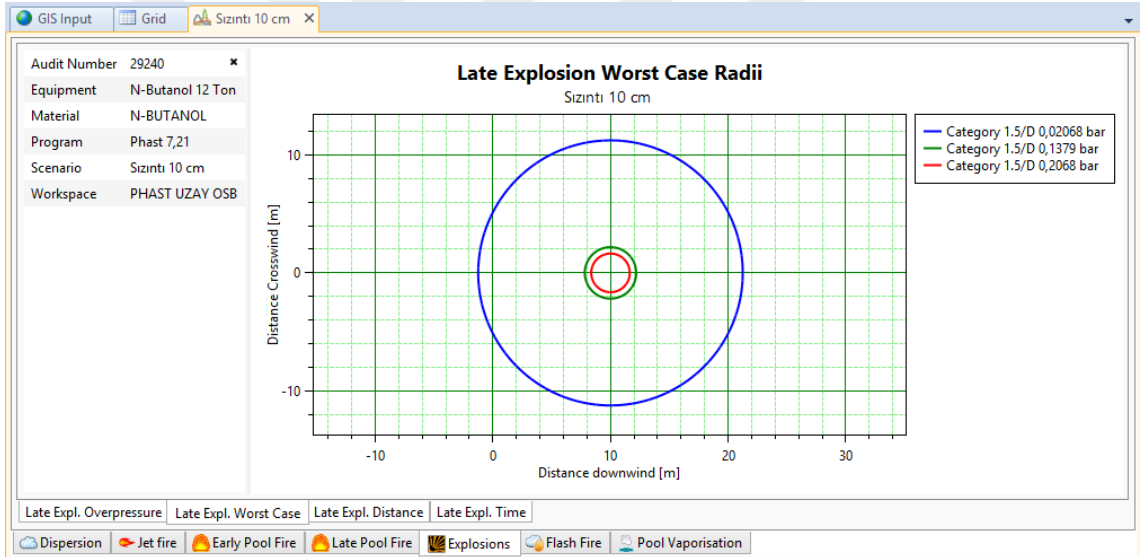
Şekil 50: N-butanol 12 ton katastrofik yarılma-dağılım modellemesi yandan görünüm



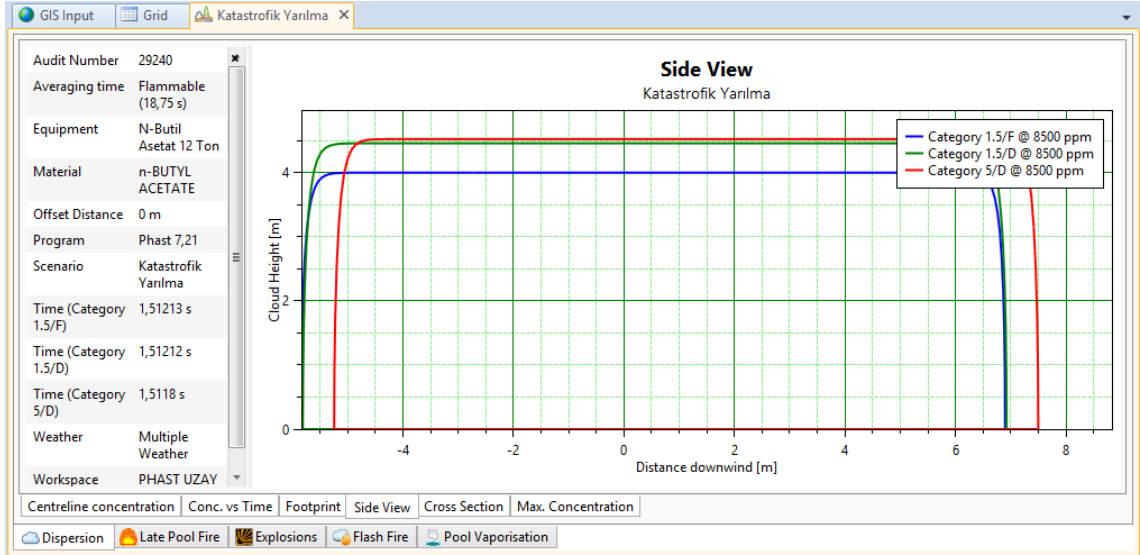
Şekil 51: N-butanol 12 ton sızıntı(10 cm)-dağılım modellemesi yandan görünüm



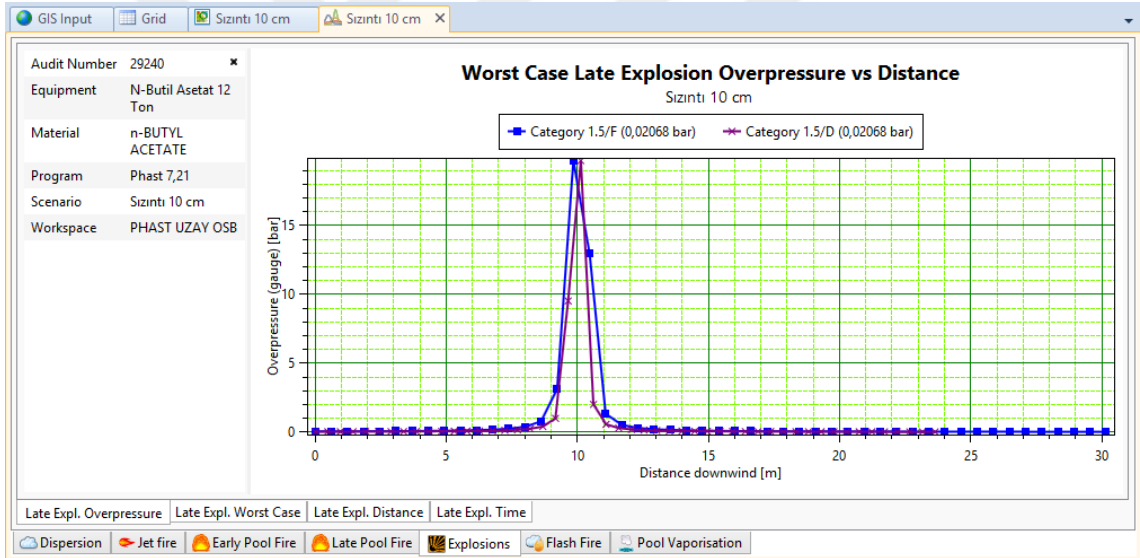
Şekil 52: N-butanol 12 ton sızıntı(10 cm)-en kötü senaryo geç patlama aşırı basınç etkisi



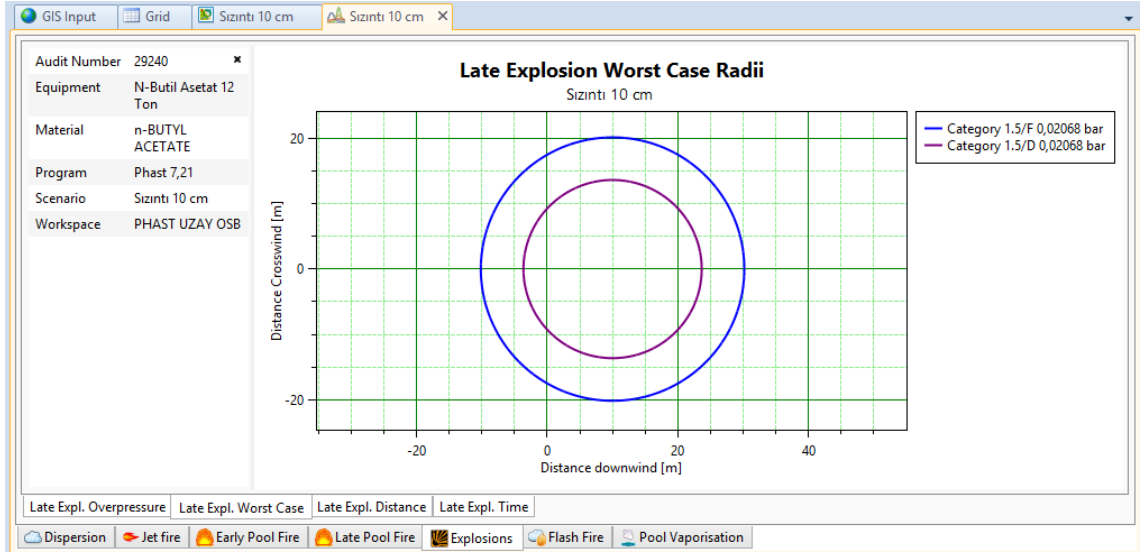
Şekil 53: N-butanol 12 ton sızıntı(10 cm) –geç patlama en kötü senaryo etkisi



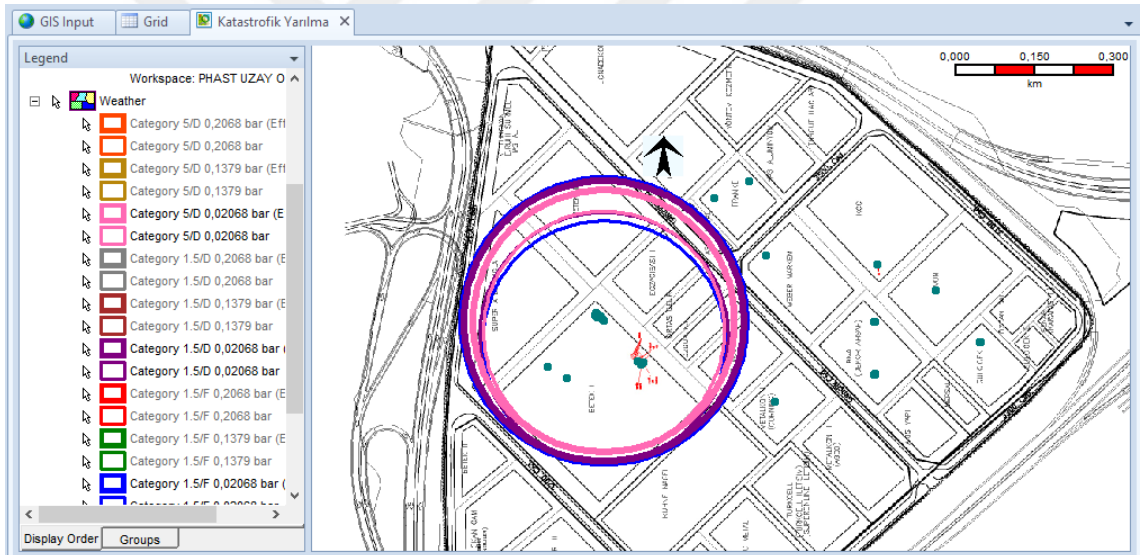
Şekil 54: N-butil asetat 12 ton katastrofik yanılma- dağılım modellemesi yandan görünüm



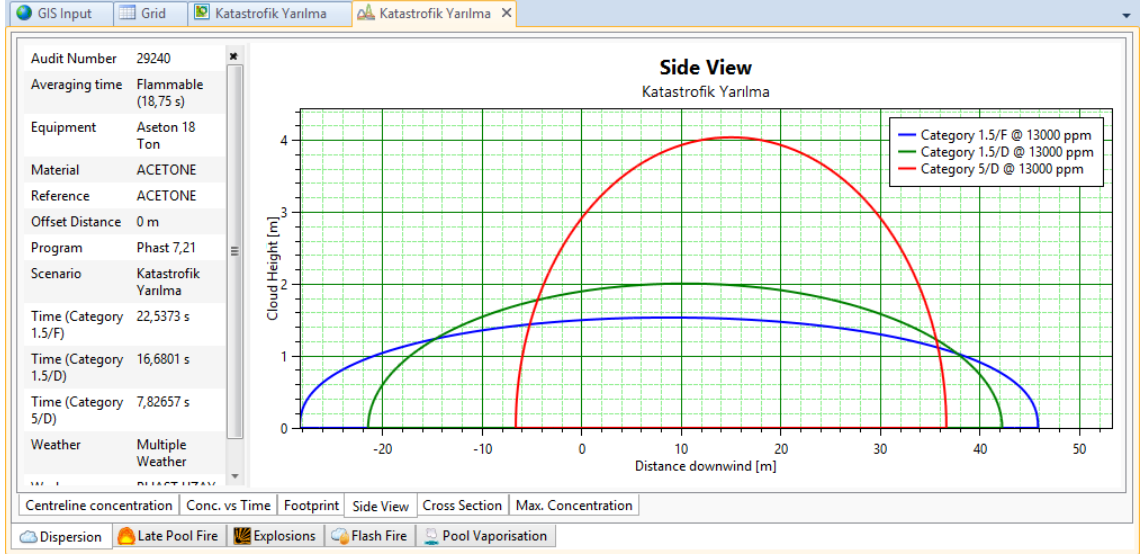
Şekil 55: N-butil asetat 12 ton sızıntı(10 cm)-en kötü senaryo geç patlama aşırı basınç etkisi



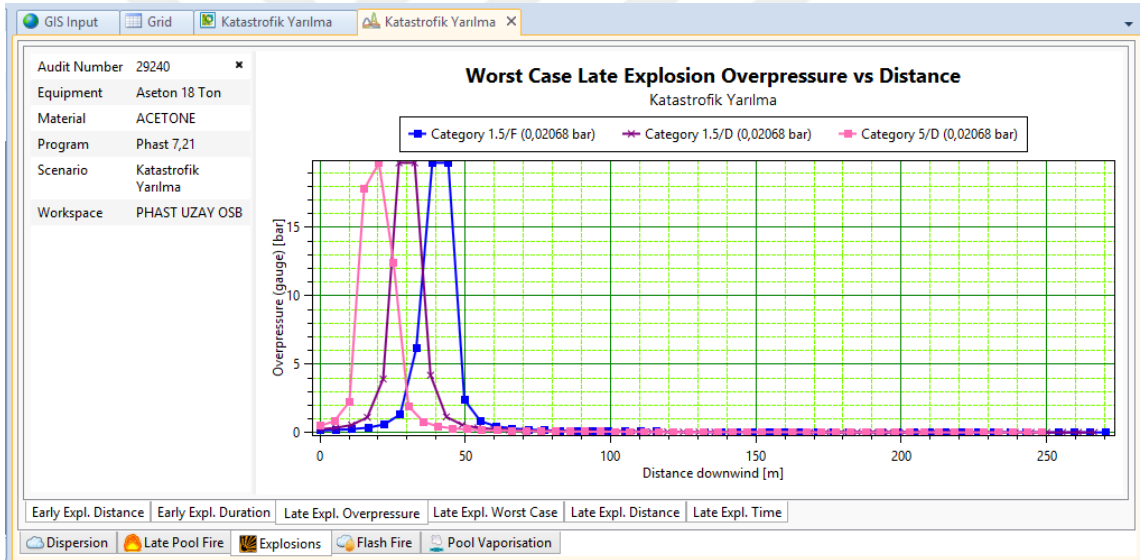
Şekil 56: N-butil asetat 12 ton sızıntı(10 cm)-geç patlama en kötü senaryo etkisi



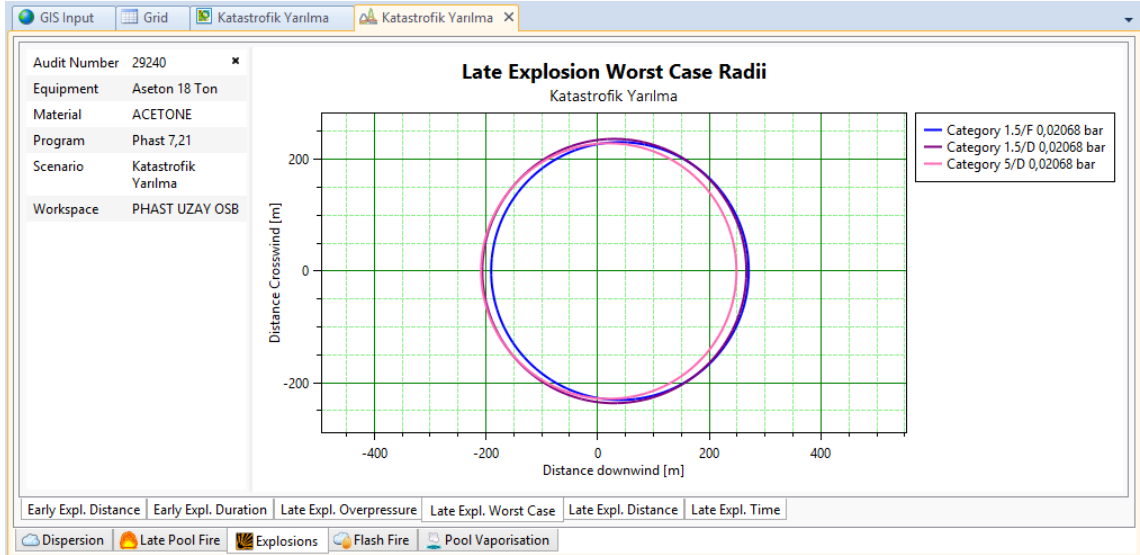
Şekil 57: Aseton 18 ton katastrofik yanılma- en kötü senaryo(geç patlama) kuş bakışı görünüm



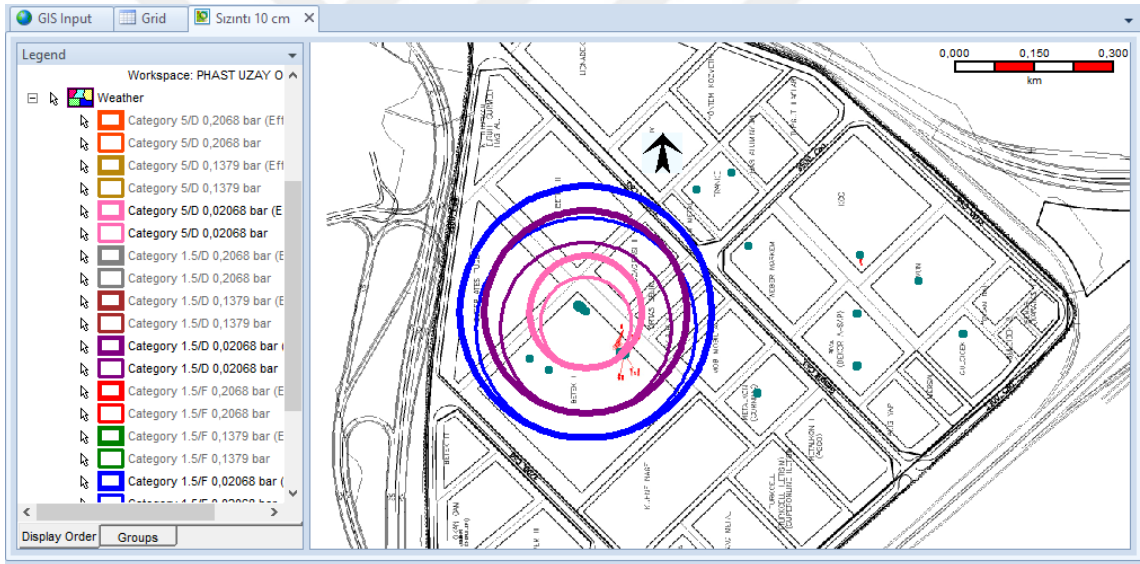
Şekil 58: Aseton 18 ton katastrofik yarılma-dağılım modellemesi yandan görünüm



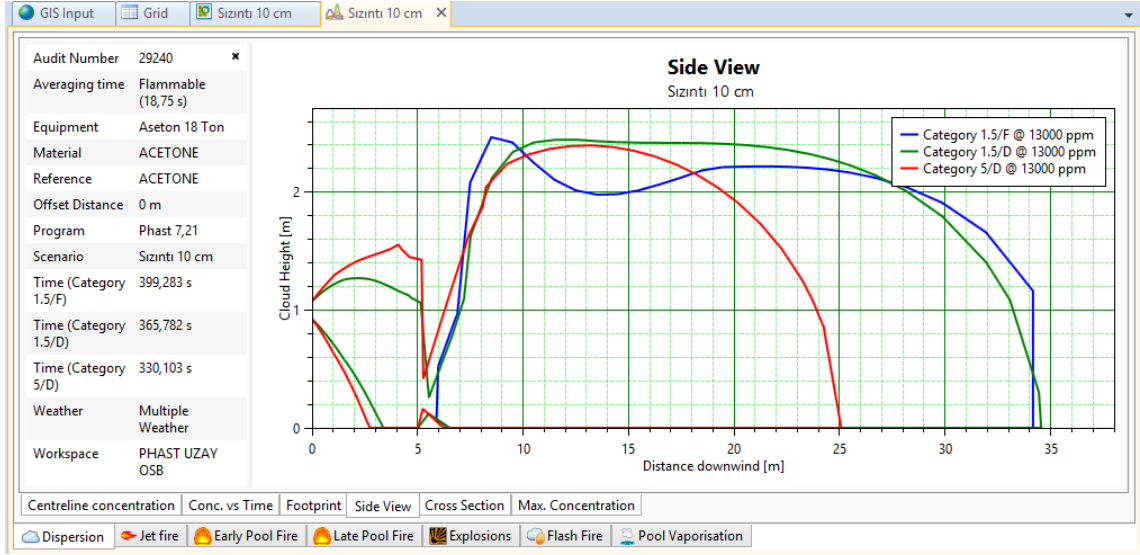
Şekil 59: Aseton 18 ton katastrofik yarılma- en kötü senaryo geç patlama aşırı basınç etkisi



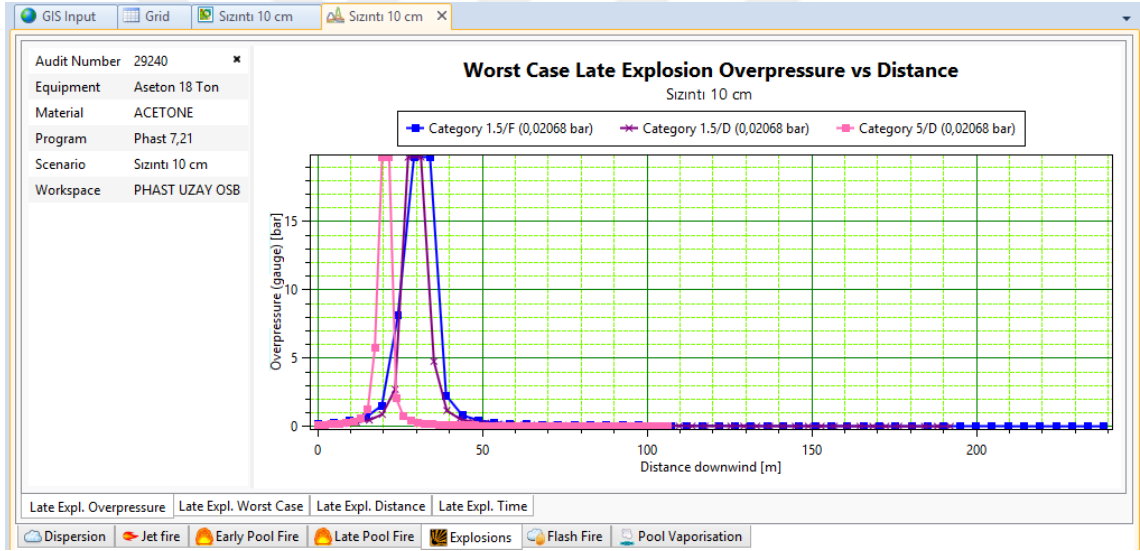
Şekil 60: Aseton 18 ton katastrofik yarılma- geç patlama en kötü senaryo etkisi



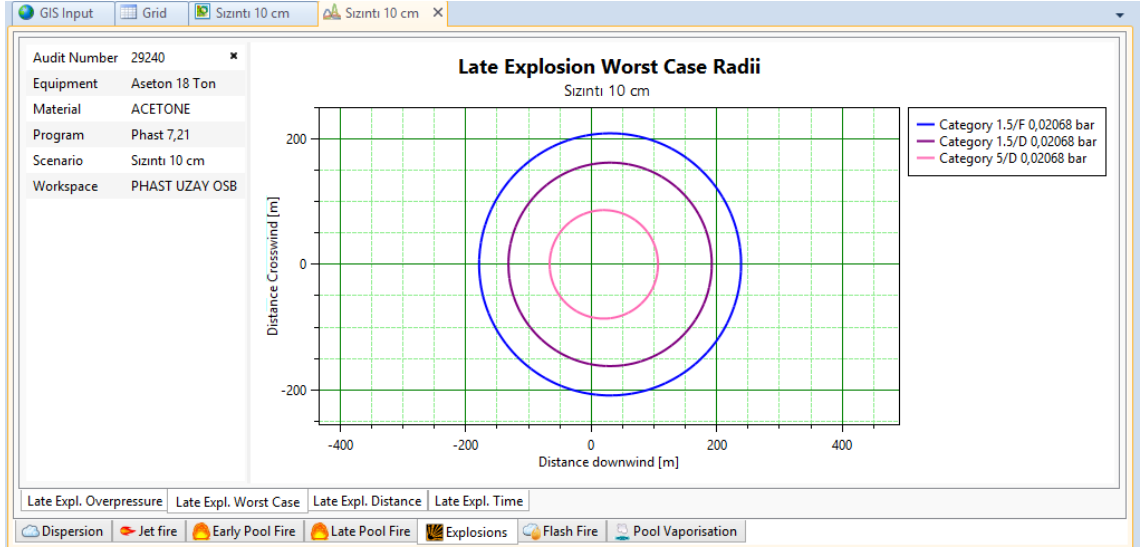
Şekil 61: Aseton 18 ton sızıntı(10 cm)- en kötü senaryo geç patlama etkisi kuş bakışı görünüm



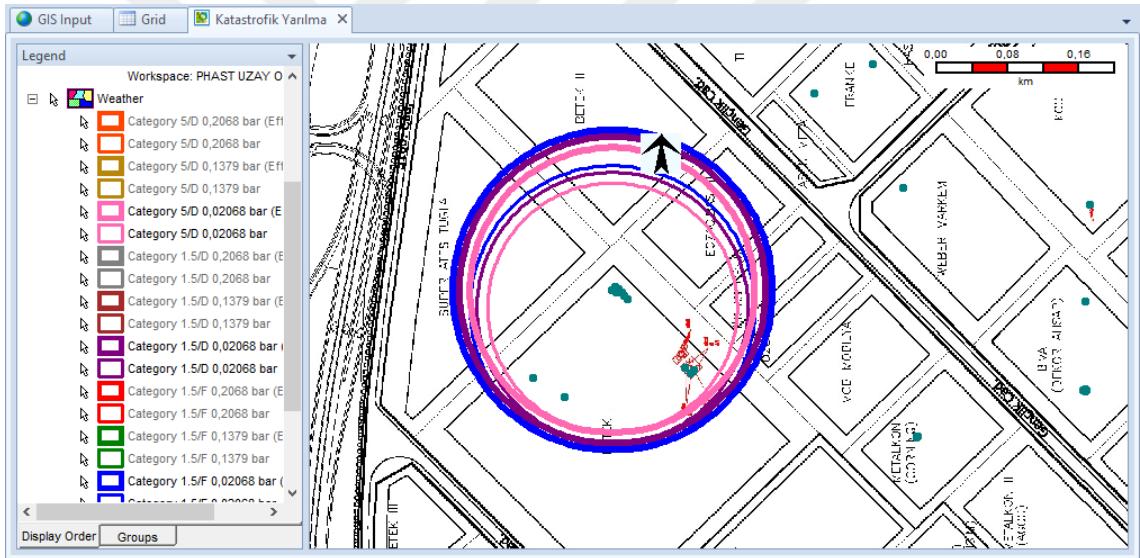
Şekil 62: Aseton 18 ton sızıntı(10 cm)- dağılım modellemesi yandan görünüm



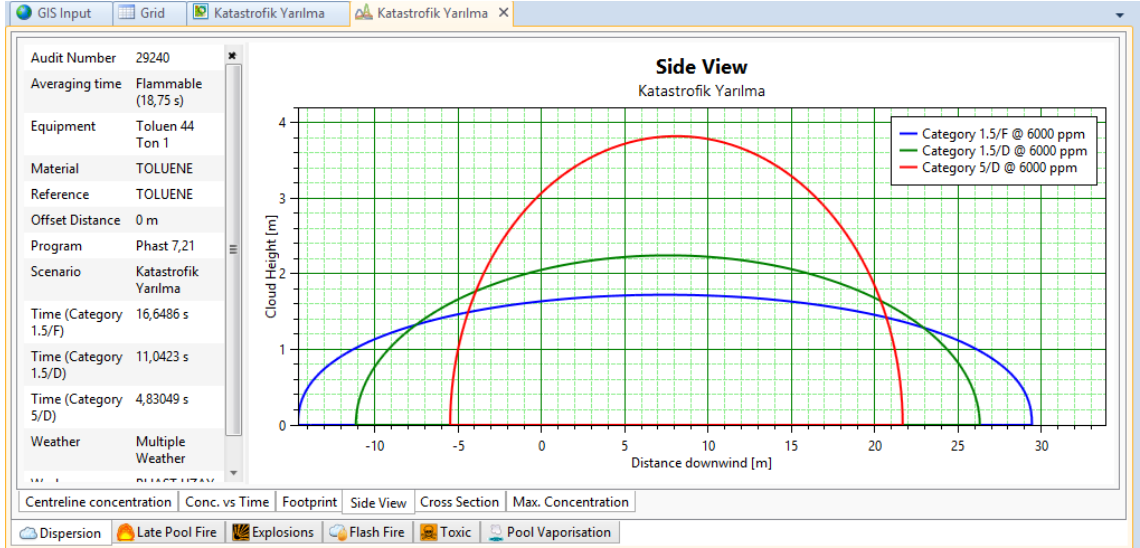
Şekil 63: Aseton 18 ton sızıntı(10 cm)- en kötü senaryo geç patlama aşırı basınç etkisi



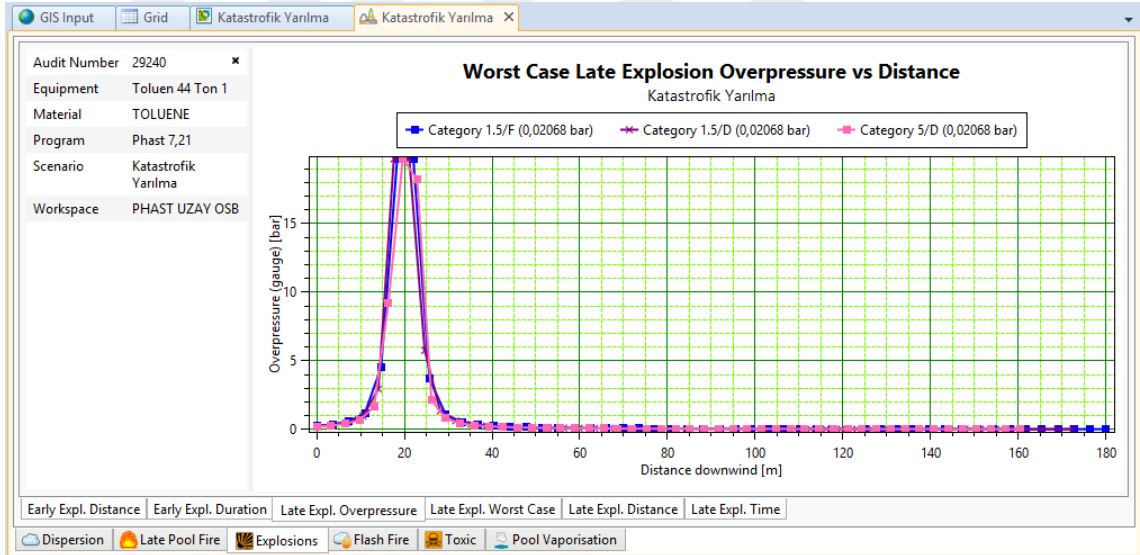
Şekil 64: Aseton 18 ton sızıntı(10 cm) – geç patlama en kötü senaryo etkisi



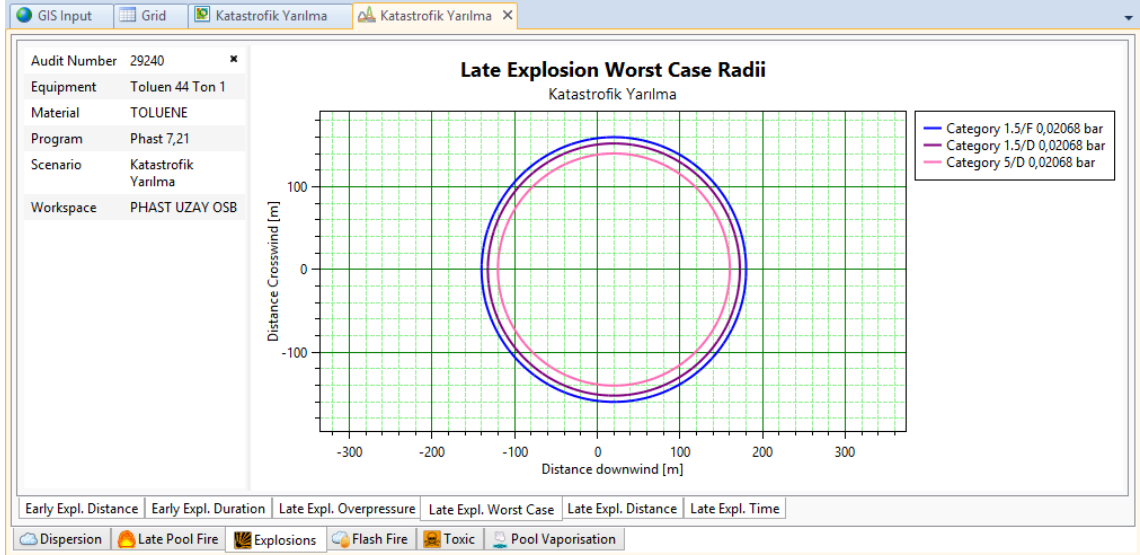
Şekil 65: Tolüen 1-2 44 ton katastrofik yanılma- en kötü senaryo geç patlama kuş bakışı görünüm



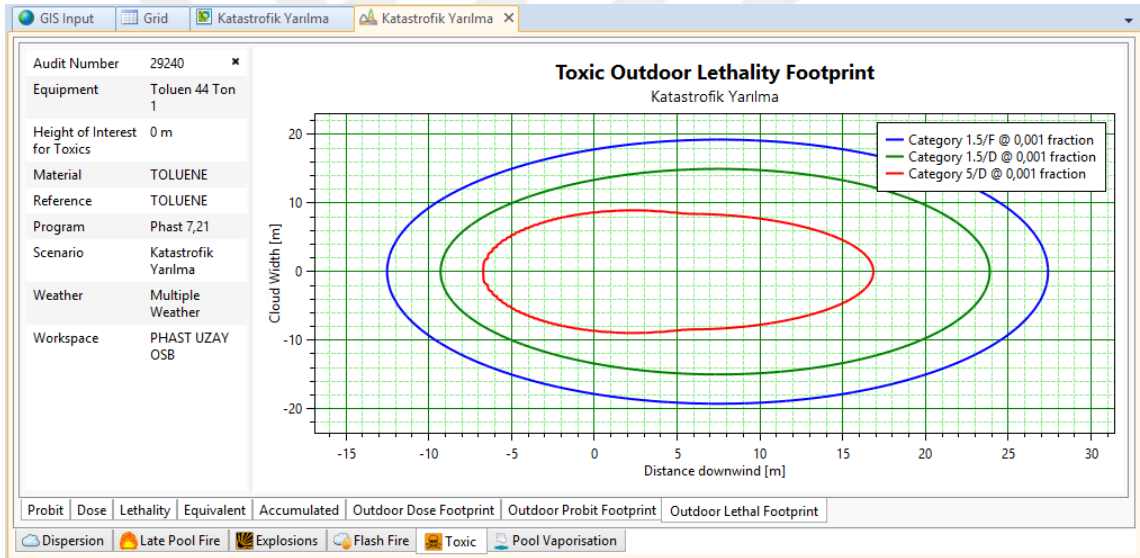
Şekil 66: Tolüen 1-2 44 ton katastrofik yarılma-dağılım modellemesi yandan görünüm



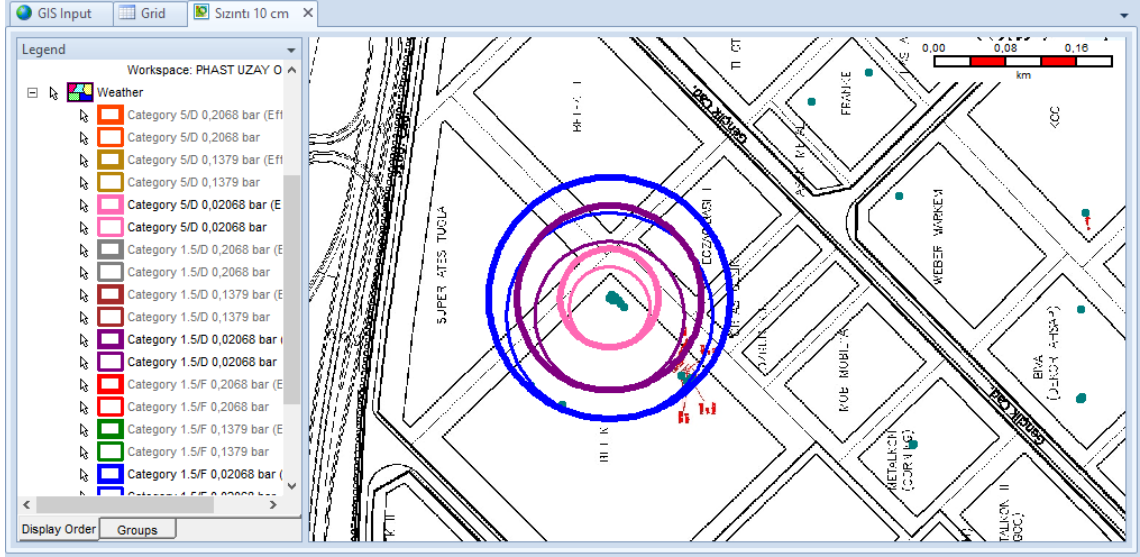
Şekil 67: Tolüen 1-2 44 ton katastrofik yarılma- en kötü senaryo geç patlama aşırı basınç etkisi



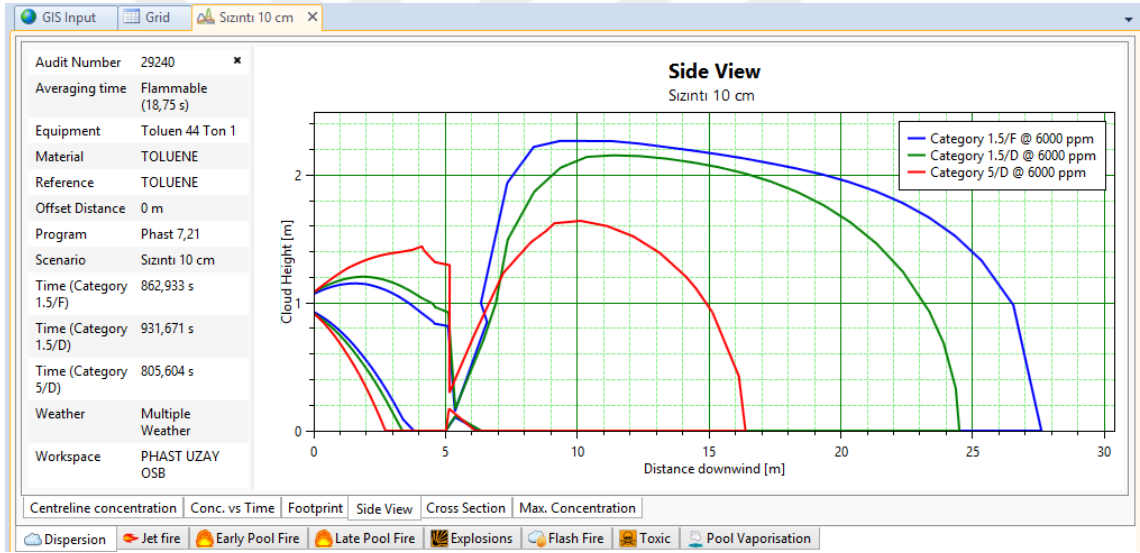
Şekil 68: Tolüen 1-2 44 ton katastrofik yarılma- geç patlama en kötü senaryo etkisi



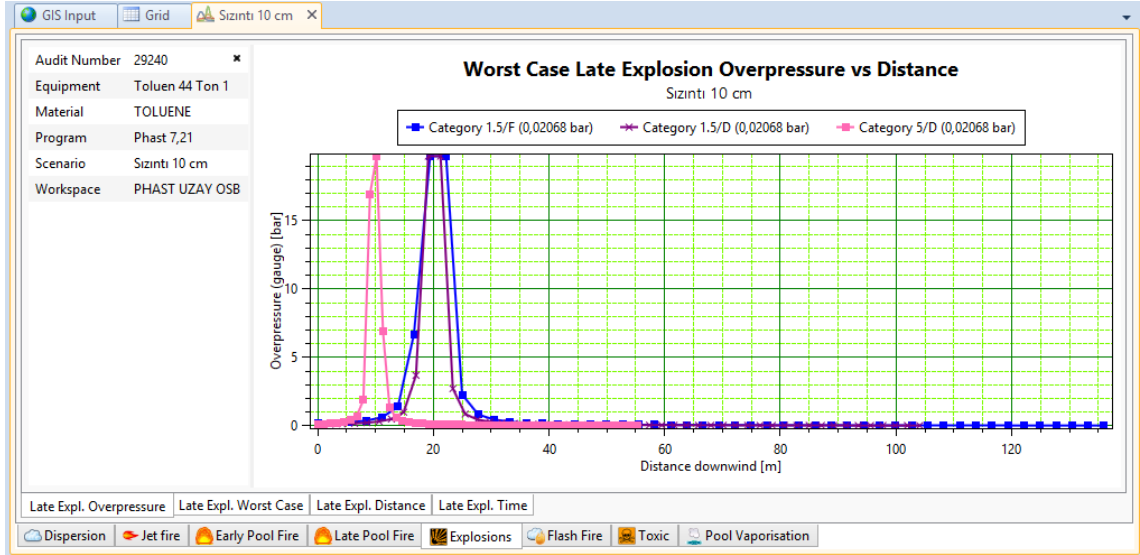
Şekil 69: Tolüen 1-2 44 ton katastrofik yarılma- ölümcül toksik etkisi



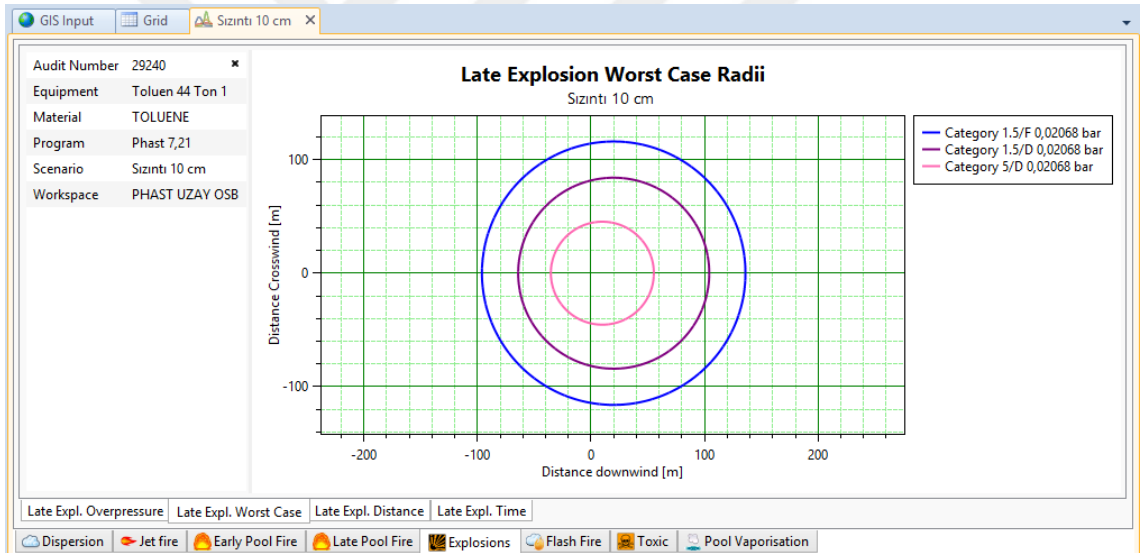
Şekil 70: Toluene 1-2 44 ton sızıntı (10 cm)- en kötü senaryo geç patlama kuş bakışı görünüm



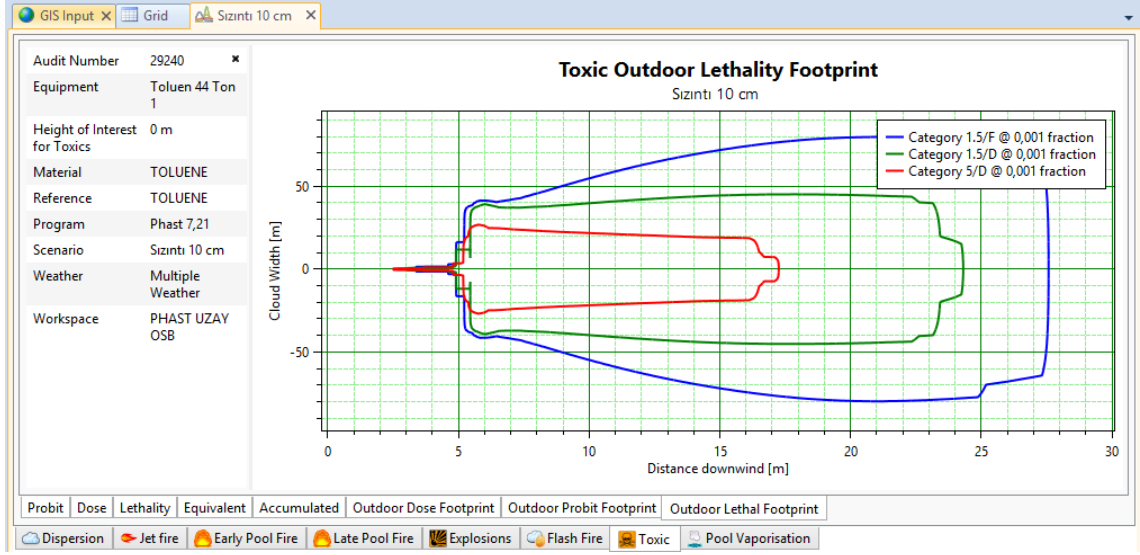
Şekil 71: Toluene 1-2 44 ton sızıntı (10 cm)- dağılım modellemesi yandan görünüm



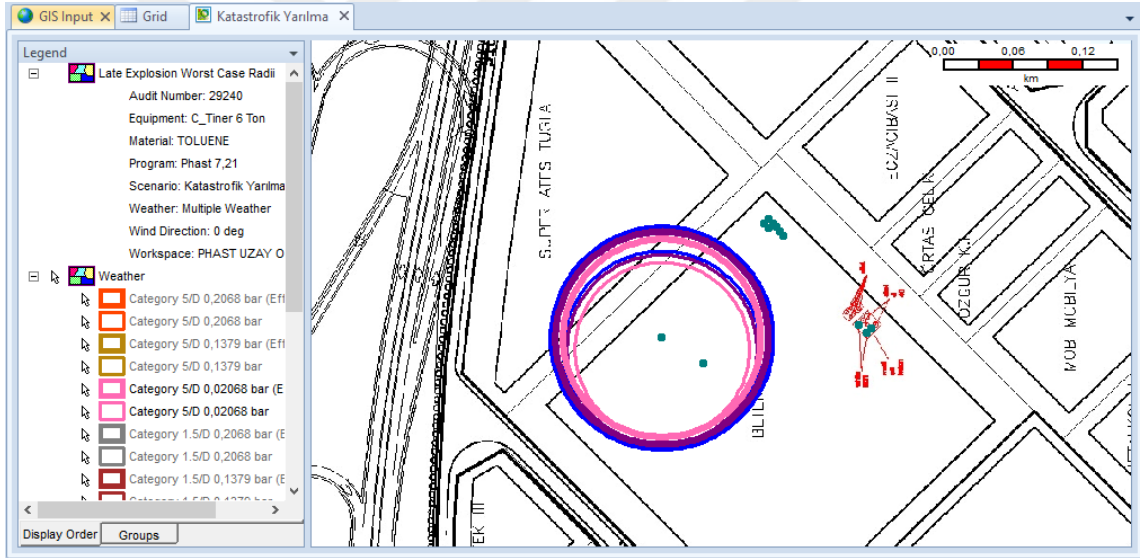
Şekil 72: Toluen 1-2 44 ton sızıntı (10 cm)-en kötü senaryo geç patlama aşırı basınç etkisi



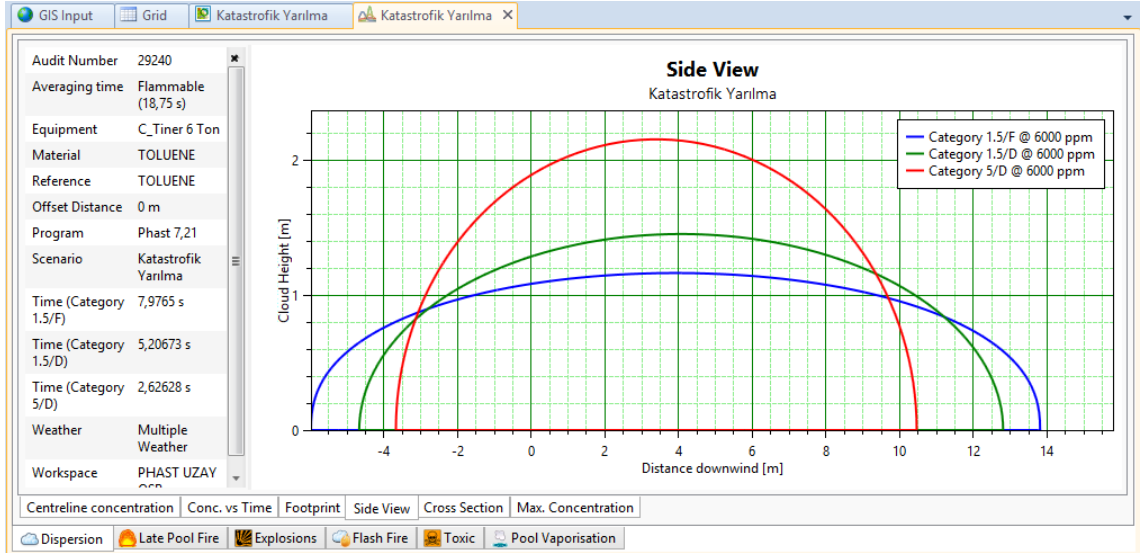
Şekil 73: Toluen 1-2 44 ton sızıntı (10 cm)- geç patlama en kötü senaryo etkisi



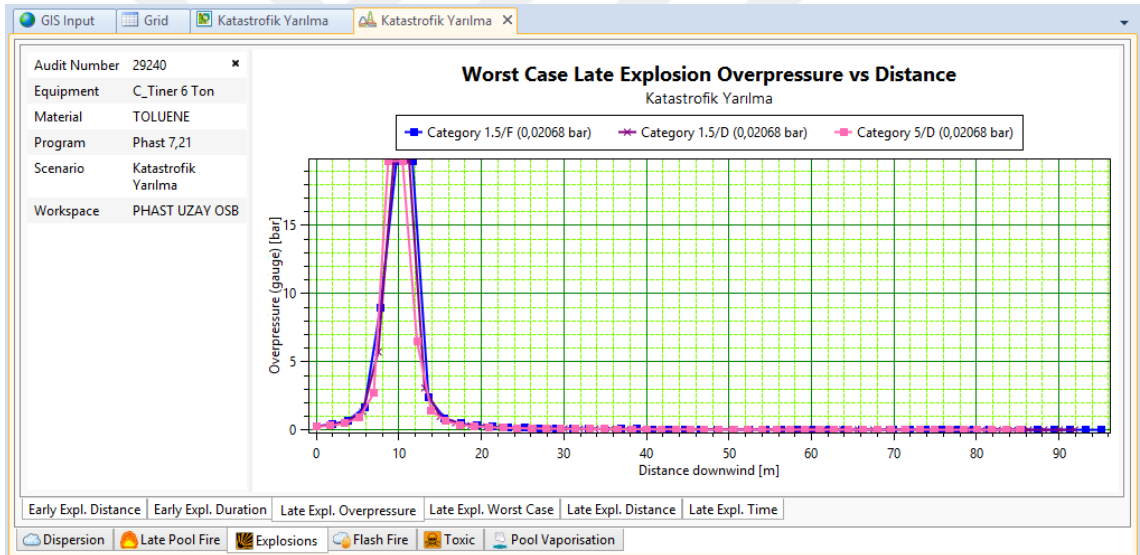
Şekil 74: Toluen 1-2 44 ton sızıntı (10 cm)- ölümcül toksik dağılım etkisi



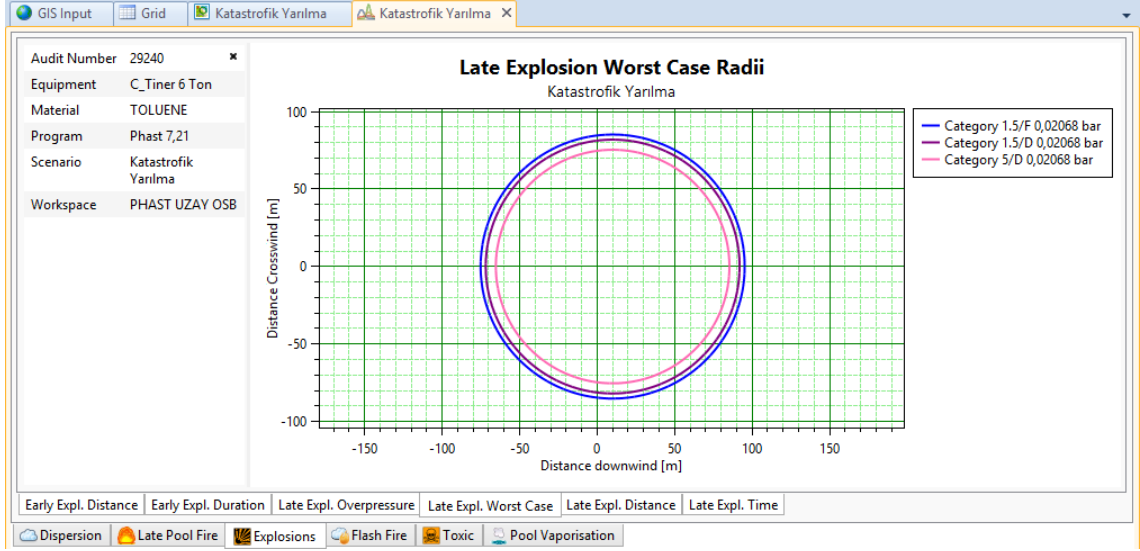
Şekil 75: Tiner 6 ton katastrofik yarılma-en kötü senaryo geç patlama kuş bakışı görünüm



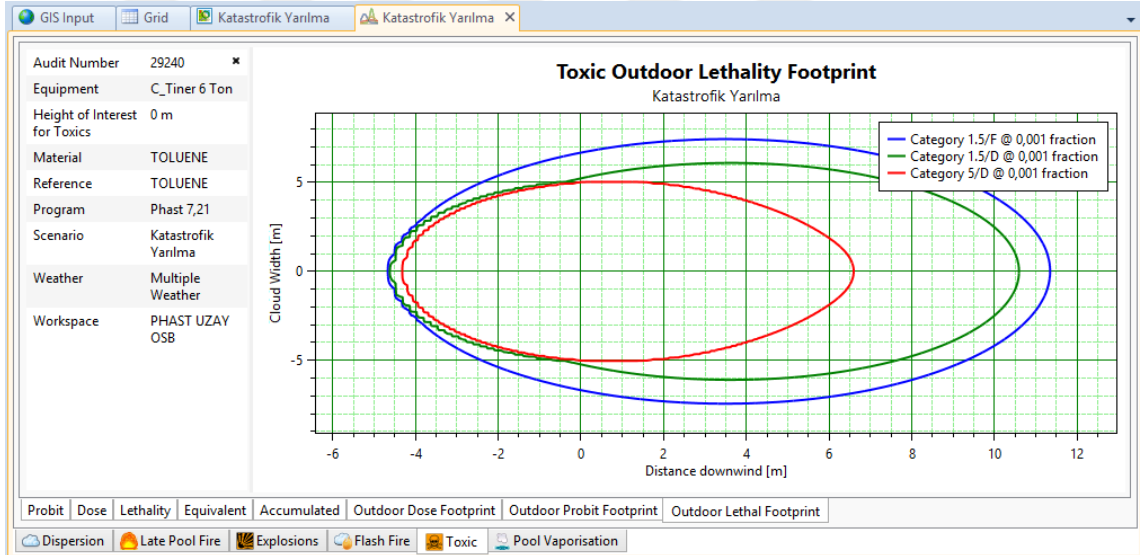
Şekil 76: Tiner 6 ton katastrofik yarılma-dağılım modellemesi yandan görünüm



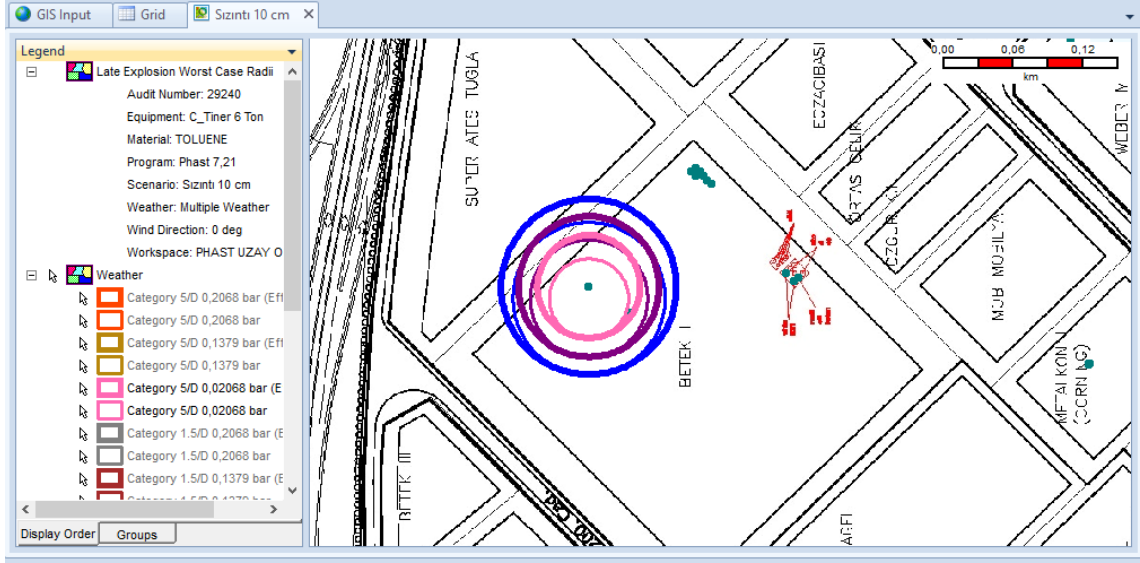
Şekil 77: Tiner 6 ton katastrofik yarılma- geç patlama aşırı basınç etkisi



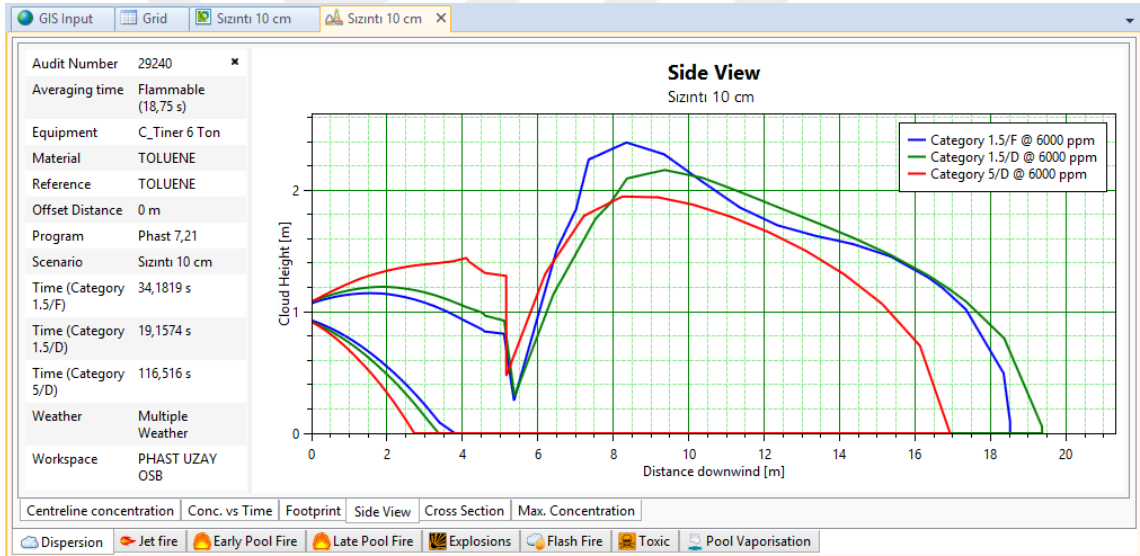
Şekil 78: Tiner 6 ton katastrofik yarılma-geç patlama en kötü senaryo etkisi



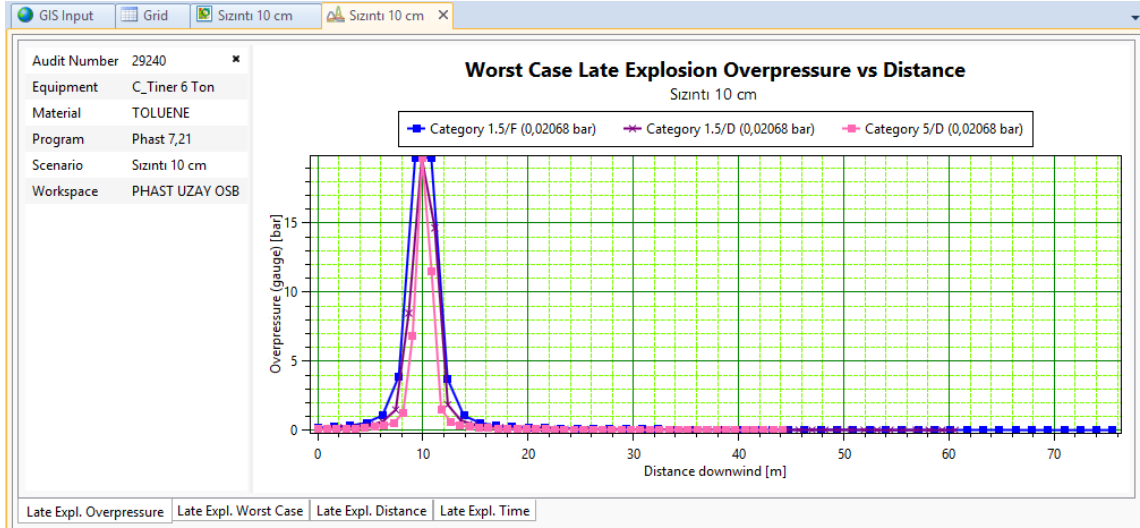
Şekil 79: Tiner 6 ton katastrofik yarılma-ölümcül toksik etkisi



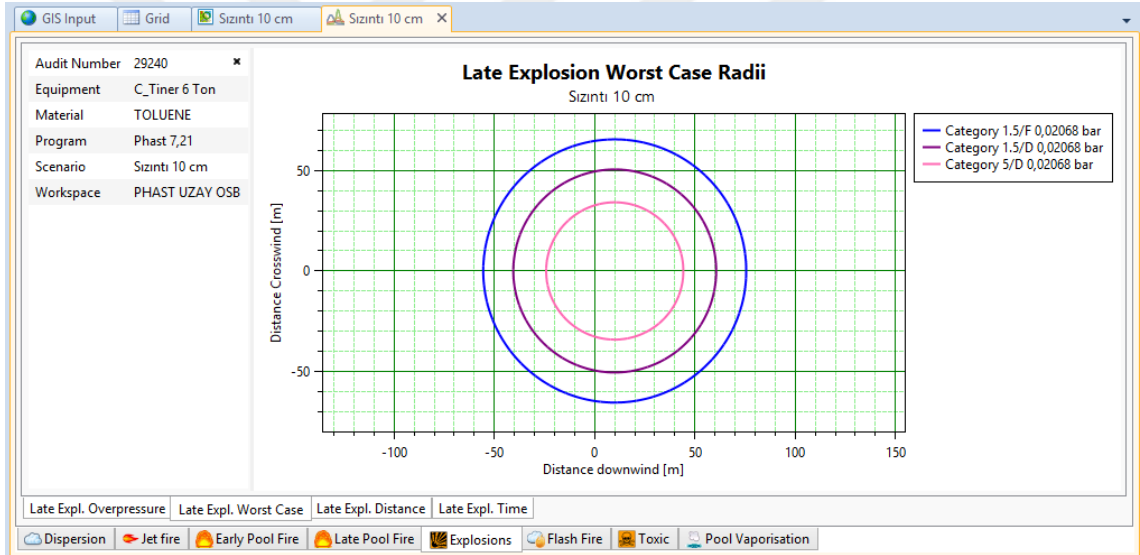
Şekil 80: Tiner 6 ton sızıntı(10 cm)-en kötü senaryo geç patlama etkisi kuş bakışı görünüm



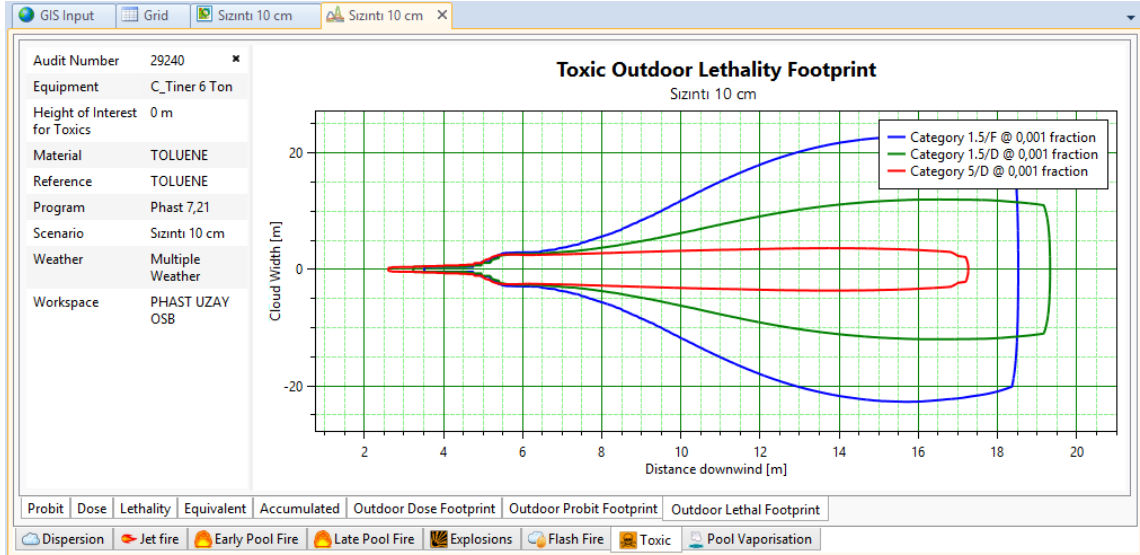
Şekil 81: Tiner 6 ton sızıntı(10 cm)-dağılım modellemesi yandan görünüm



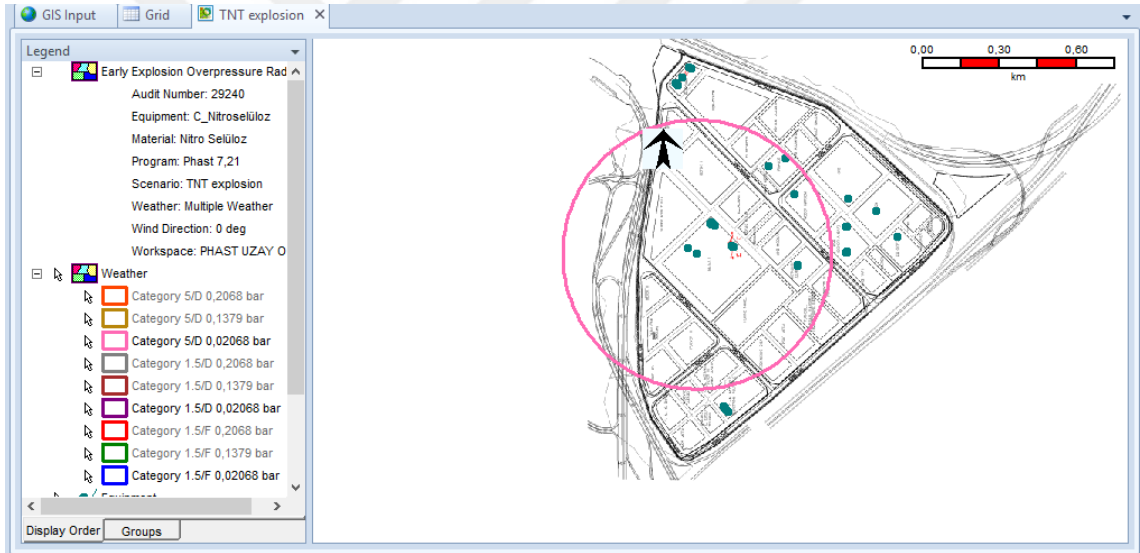
Şekil 82: Tiner 6 ton sızıntı(10 cm)-en kötü senaryo geç patlama aşırı basınç etkisi



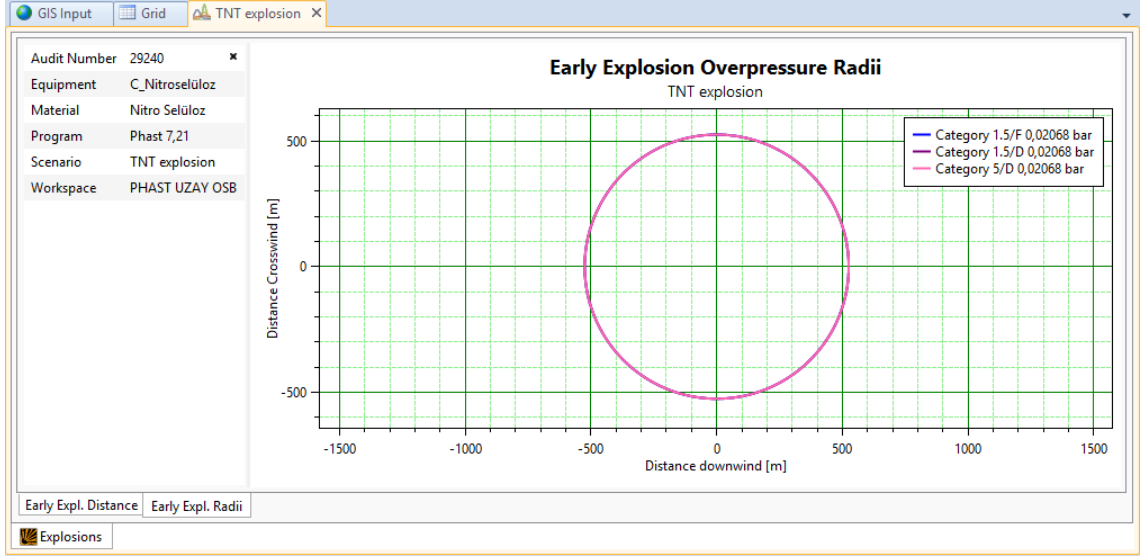
Şekil 83: Tiner 6 ton sızıntı(10 cm)-geç patlama en kötü senaryo etkisi



Şekil 84: Tiner 6 ton sızıntı(10 cm)-ölümcül toksik etkisi

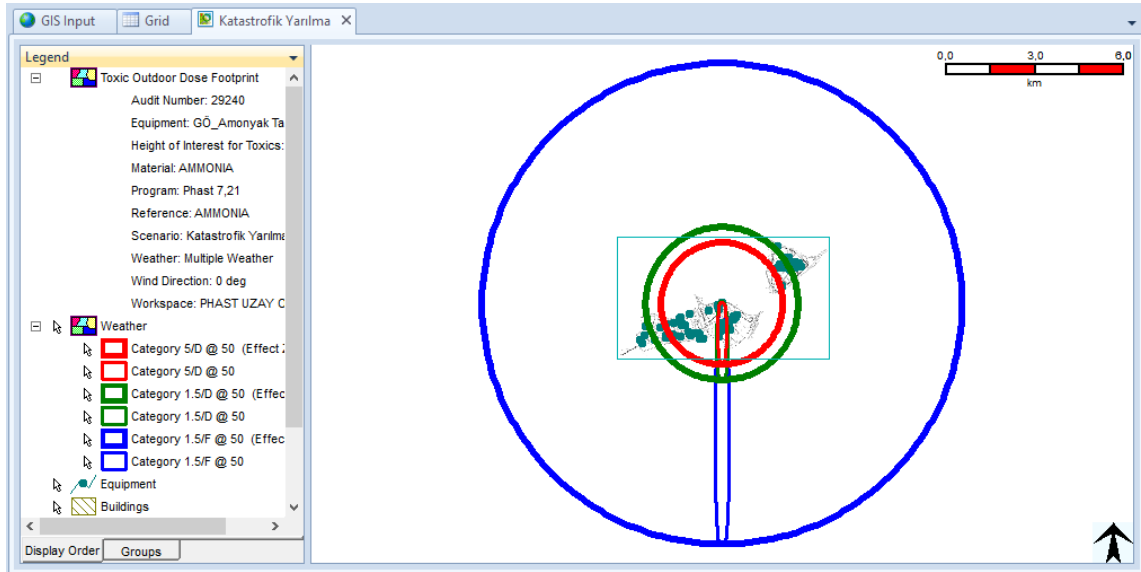


Şekil 85: Nitroselüloz TNT patlama modellemesi etkisi kuş bakışı görünüm

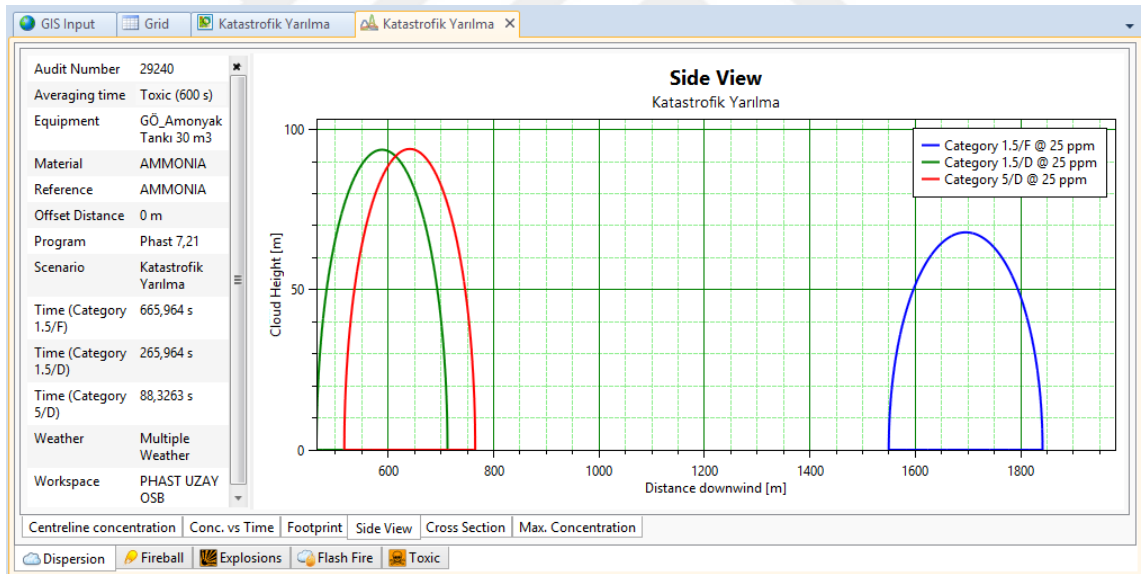


Şekil 86: Nitroselüloz TNT patlama modellemesi etkisi

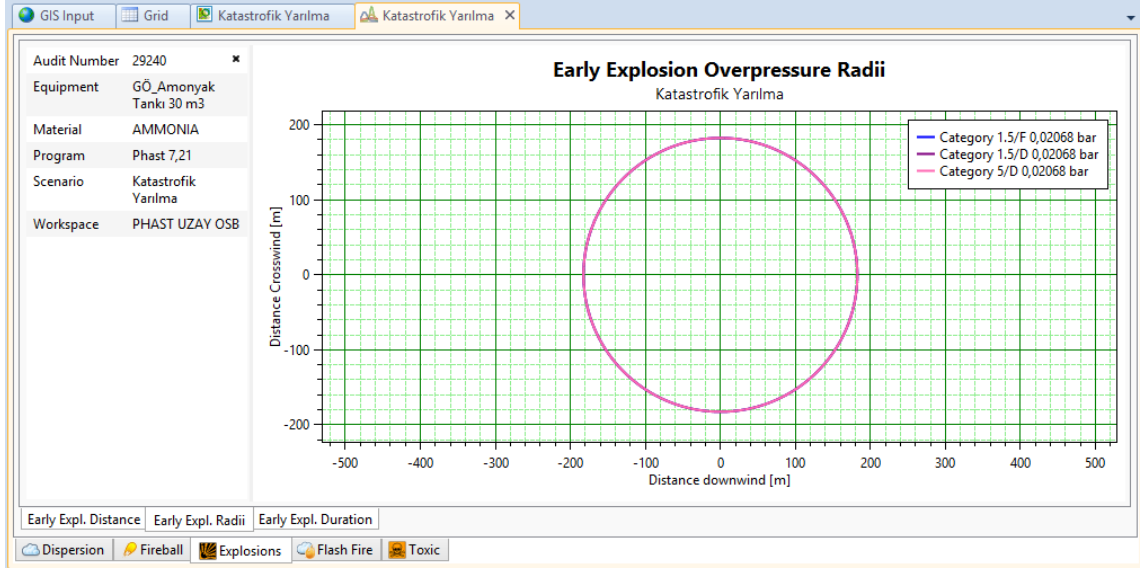
4.2.4. D Tesisi



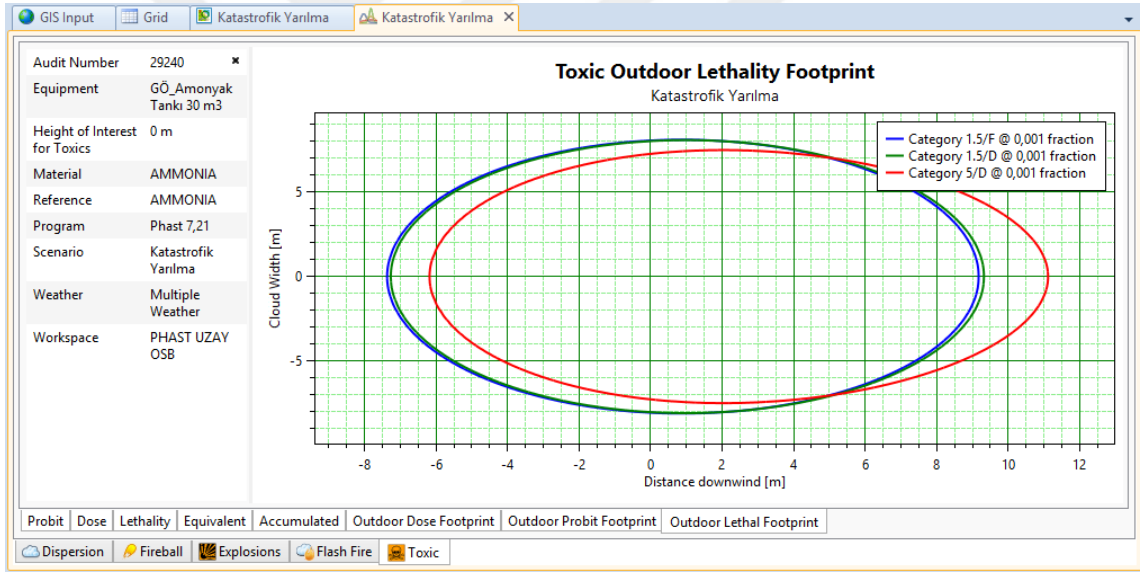
Şekil 87: Amonyok tankı 30m³-katastrofik yarılma-toksik doz kuşbakışı görünümü



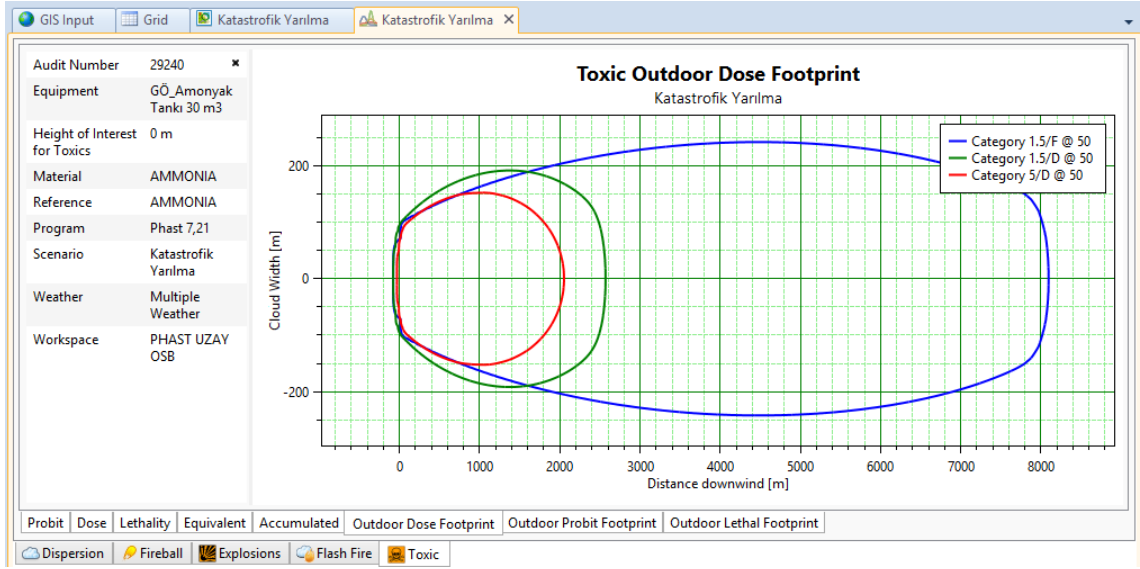
Şekil 88: Amonyok tankı 30m³-katastrofik yarılma-dağılım modellemesi yandan görünüm



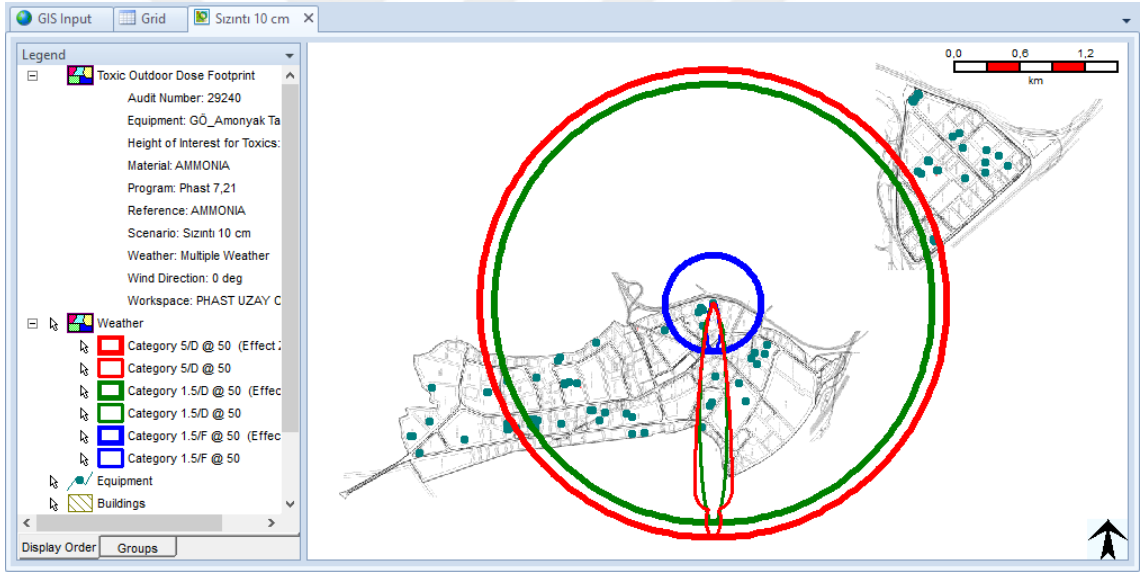
Şekil 89: Amonyak tankı 30m³-katastrofik yarılma-erken patlama aşırı basınç etkisi



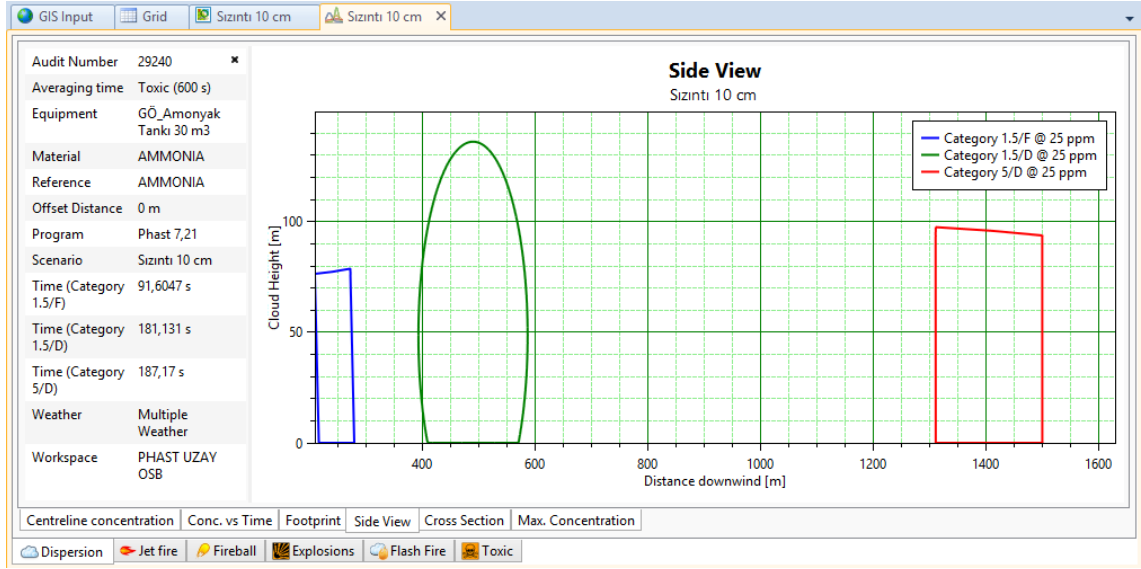
Şekil 90: Amonyak tankı 30m³-katastrofik yarılma-ölümcül toksik etki



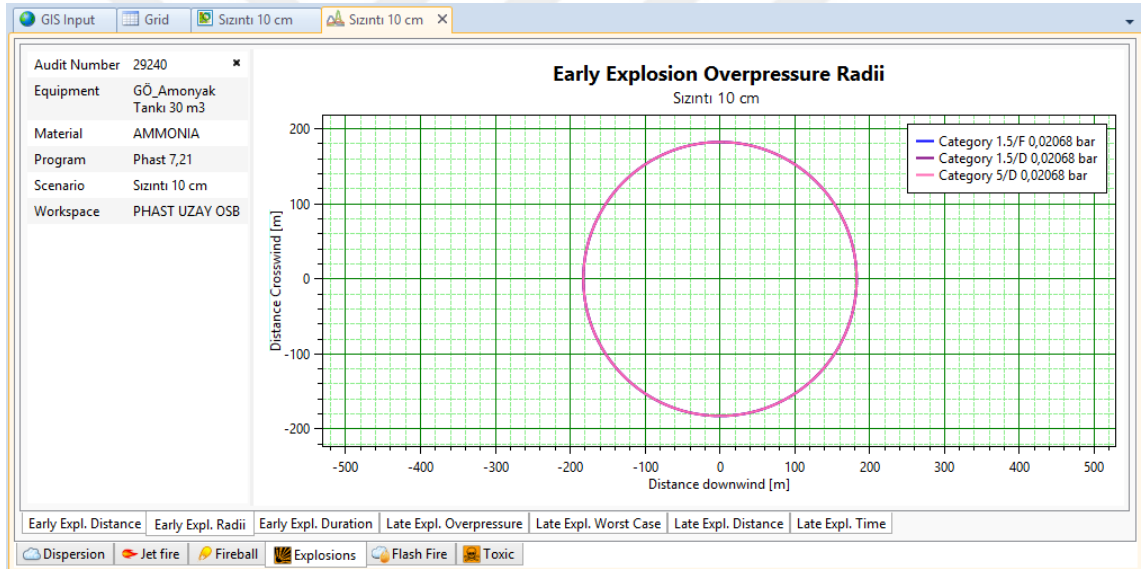
Şekil 91: Amonyak tankı 30m³-katastrofik yanılma- toksik doz kuşbaşı görünümü



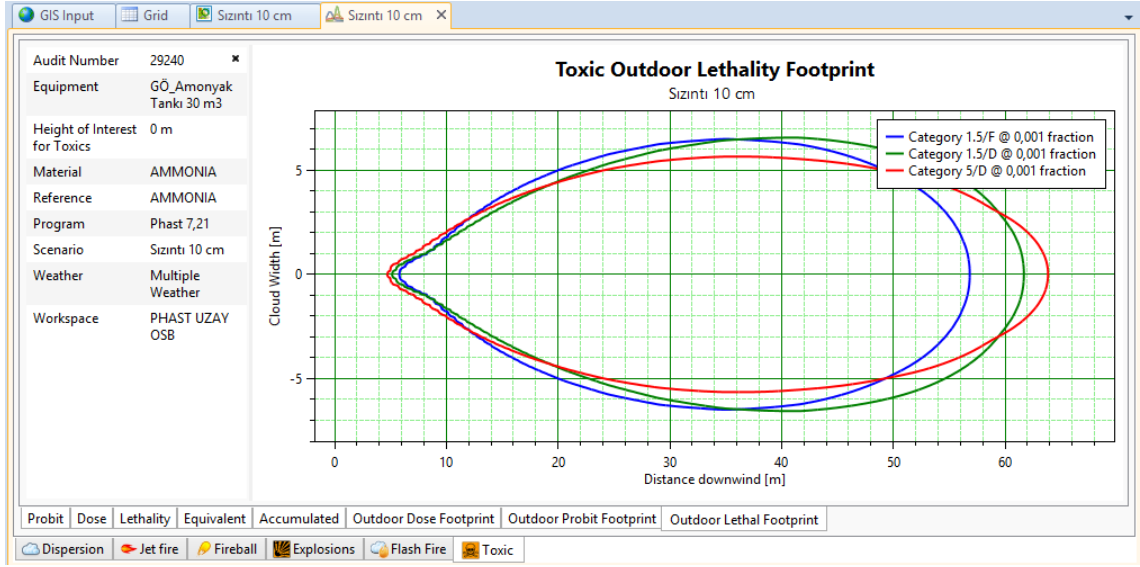
Şekil 92: Amonyak tankı 30m³-sızıntı (10 cm)- toksik doz kuşbaşı görünümü



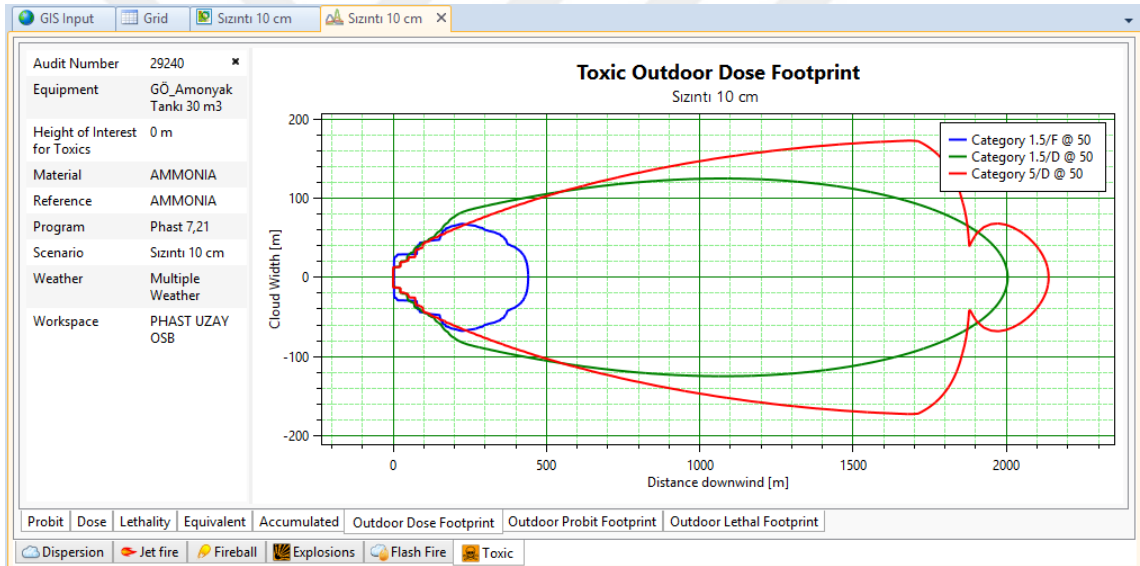
Şekil 93: Amonyok tankı 30m³-sızıntı (10 cm)-dağılım modellemesi yandan görünüm



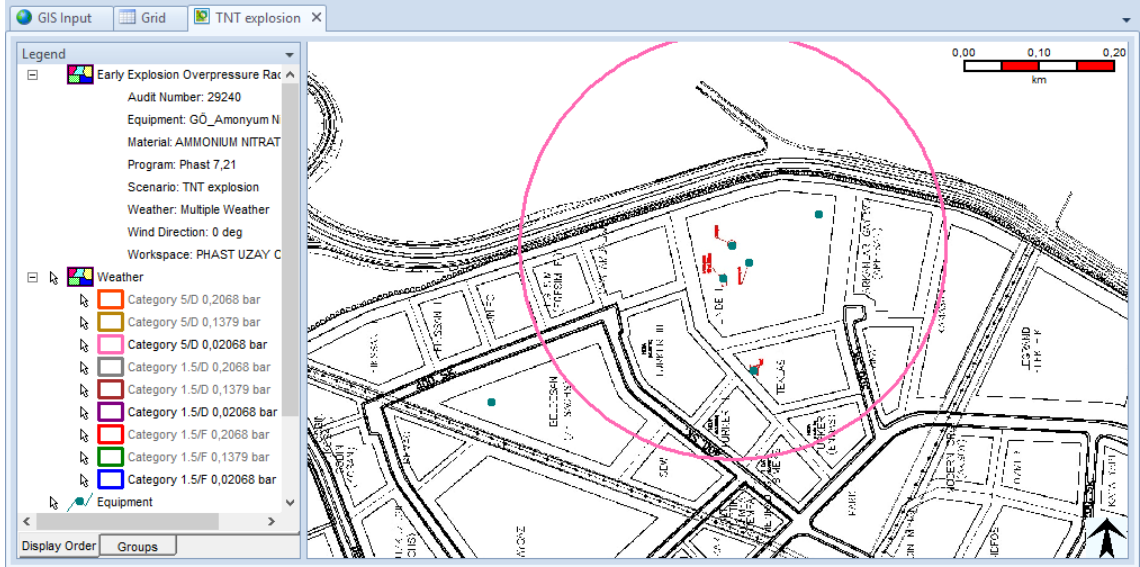
Şekil 94: Amonyok tankı 30m³-sızıntı (10 cm)-erken patlama aşırı basınç etkisi



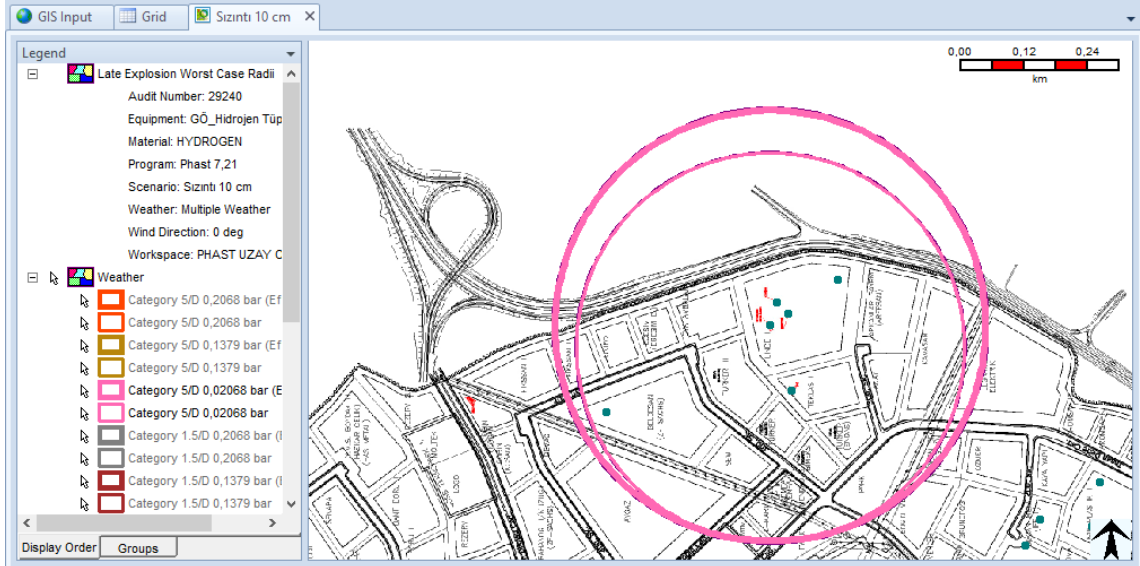
Şekil 95: Amonyok tankı 30m³-sızıntı (10 cm)- toksik doz ölümcül etkisi kuşbakışı görünüm



Şekil 96: Amonyok tankı 30m³-sızıntı (10 cm)-toksik doz kuşbakışı görünümü



Şekil 97: amonyum nitrat 20 ton- tnt patlaması-erken patlama aşırı basınç etkisi genel görünümü



Şekil 98: hidrojen tüpleri-sızıntı (10 cm)-geç patla en kötü senaryo etkisi genel görünüm

5.TARTIŞMA

Domino etkileri, kimya ve proses endüstrisinde yıkıcı sonuçları olan kaza senaryolarına neden olabilir. Birincil bir olayın sıklıkla birden fazla tesis birimini içeren karmaşık bir kaza senaryosuna götürmesinden kaynaklanan bu tür kaza senaryolarına ilişkin teknik, bilimsel ve yönetsel bilginin bağlamını, teknolojisini açıklar ve tartışır. Domino senaryoları hakkında çalışmalarda, tek bir tesis ve organize sanayi bölgeleri dikkate alınmalıdır.

Bir önceki bölümde yer verilen olası kazaların etki mesafelerinin yazılım vasıtasıyla hesaplanması kazaları önleme ve yönetme konusunda yol göstermektedir.

Çoğunlukla tek tesis veya/ve çoklu tesis düzeyli domino zincirleriyle ilişkili kazaların yayılmasını içeren en kötü durum senaryolarını hazırlamak için kullanılan “bariz” domino etkisi senaryolarının yanı sıra, çok önemli olabilecek bazı “alışılmamış” domino senaryoları vardır. Sıklıkla gözden kaçırılan bu senaryoların önemi kimyasal tesisin konumuna, göre değişmektedir. (ör. sel veya depreme eğilimli alanlarda veya doğal afetlere maruz kalan diğer yerlerde.) Kasıtlı müdahaleler durumunda olay yerinin konumu da de rol oynayabilir, Ancak dünya çapında hiçbir yerde hiçbir terör olayının gerçekleşmeyeceğinden emin olamazsınız. “alışılmamış” tip senaryolarla ilgili olarak, dolaylı kaza şiddetini artması nedenleri, bu senaryolar herhangi bir zamanda herhangi bir yerde ortaya çıkabilir ve kimyasal tesisler veya organize sanayi bölgeleri genellikle bunlar için hazırlanmayabilir.

Domino etkisi tehlike değerlendirmesi için artan karmaşıklığa sahip üç seviye tanımlanabilir: (1) eşik tabanlı yaklaşım, (2) kantitatif risk değerlendirmesi ve (3) dağıtılmış parametrelerin modellenmesi. Bu yöntemlerin kullanılmasının kabul edilebilir olduğu çerçevede, elde edilen sonuçların sağlamlığı ve detayı büyük ölçüde farklılık göstermektedir. Bu nedenle, analiz seviyesi, üstlenilen spesifik çalışmanın amaçları doğrultusunda dikkatle seçilmelidir.

Ekipman hasarı modellerindeki ilgili ve hatırı sayılır ilerleme ve artan hesaplama kaynaklarının kullanımı, domino senaryoları nedeniyle riskin nicel değerlendirmesini mümkün kılmaktadır. Bu çalışmada, tanımlanan ekipman hasarı modellerine dayanarak QRA için iyi değerlendirilmiş bir metodoloji sunulmuştur. Coğrafi bilgi sistemlerine dayalı yazılım araçlarıyla desteklenen metodoloji, birincil senaryoların kaza şiddeti

etkisini dikkate alarak bireysel ve toplumsal riskin değerlendirilmesine olanak tanır. Domino senaryolarının nicel değerlendirilmesinde daha fazla ilerleme olması, QRA yaklaşımının yenilikçi tekniklerin geliştirilmesine entegre edilmesini beklemektedir.

Basit modeller deneyimli herhangi bir risk mühendisi tarafından kullanılabilir. Bu basit yaklaşımların sonuçları subjektif ve risk mühendisinin tırmanmanın olası yaklaşımın ile ilgili güvenilir bir açıklama yapmasını gerektirmektedir. Patlama dalgalarının neden olduğu ekipmanın hasar görmesine yönelik probitmodeller literatürde mevcuttur ve farklı proses ekipmanı kategorileri için hasar olasılığı verileri ayrı ayrı değerlendirilirse, QRA ve arazi kullanım planlaması için yararlı bir şekilde benimsenebilir. Hasar almış sistemlerde toksik etki oluşumu için olasılık fonksiyonlarının ve eşik değerlerinin kullanılması, domino etkisine yol açan kaza şiddeti etkisi analizi için çok önemlidir.

Risk mühendisi patlama yükü nedeniyle kaza şiddeti etkisinin göz ardı edilemeyeceği sonucuna vardığında, daha kapsamlı bir dinamik tepki analizine ihtiyaç vardır. Bu, her biri kendi alanında geniş uzmanlığa sahip olan birkaç uzmanın (patlama modelcileri, sonlu eleman uzmanları, vb.) Bununla birlikte, tasarım mühendisliğinde önemli katılımları beklenmektedir.

Tasarımın domino tehlikesini azaltmadaki rolü araştırılmıştır. Yerleşim tasarımı bu azaltmada önemli bir aşama olarak belirlenmiştir. Tasarım faaliyetlerinde kullanılacak eşik değerlerinin tanımlanmasına olanak tanıyan kaza şiddeti arttırma vektörlerinin gözden geçirilmesi özellikle birincil senaryoya, hedef birimin tipine ve ilgili malzemelere göre spesifik eşikler tanımlanır. Efekt eşikleri tanımlandıktan sonra yerleşim tasarımında uygun güvenlik mesafeleri tahmin edilebilir ve uygulanabilir. Risk azaltma stratejileri (doğal, pasif, aktif ve prosedürel) hiyerarşisi, domino önleme konusundaki rollerine göre analiz edilmiştir. Kazaların hafifletilmesinde farklı stratejilerin entegrasyonu, domino yayılımı açısından daha güvenli tesislere ulaşmanın anahtarı olarak tanımlanmıştır. Yerleşim tanımındaki doğal güvenlik uygulaması, domino tehlikelerini azaltmak için birincil bir strateji olarak ortaya çıkmıştır. Kavramsal araçlar, tasarım geliştirmedeki çelişen ihtiyaçlara ilişkin dengesizlikleri çözmede sıklıkla başarısız olduğundan, tasarım etkinliklerini desteklemek için doğal güvenlik ölçütleri getirilmiştir. Burada sunulan metriklerin her ikisi de tırmanma ve domino kazalarının önlenmesi için daha etkili olan düzenlerin tanımlanması ile ilgili çeşitli anahtar parametreler hakkında fikir vermektedir.

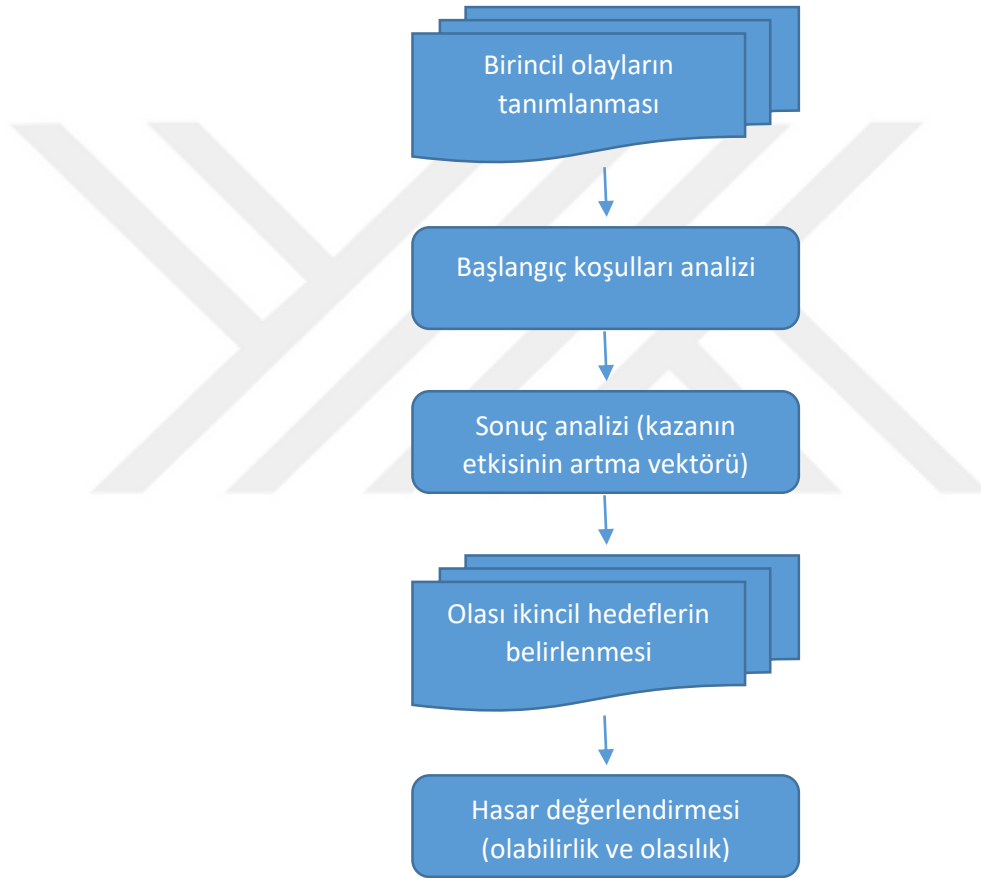
Tek tesis ve tesisler arası domino etkilerini yönetmek aynı değildir. Dahili (tek tesis) domino etkileriyle başa çıkmak için yalnızca şirket personelinin (yönetim, bakım, mühendisler, vb.) katılımı gerekir. Bu, üç alanda kademeli risklerle başa çıkmak için yeterli önlem ve tutumların detaylandırılmasıyla yapılabilir: insanla ilgili, prosedürel ve teknolojik. Dış (tesisler arası) domino etkileri, farklı tesislerden personelin (yönetim, bakım, mühendisler, vb.) katılımını gerektirir ve bu nedenle bu tür domino etkilerinin önlenmesinin organizasyonu ve uygulanması çok daha zordur. Fakat imkansız değildir: yine “İnsanlar, Prosedürler ve Teknoloji” alanlarında, (çalışmada açıklanacağı gibi) gerekli önlemler, kavramlar ve organizasyonel yapılar gerçekleştirilip uygulanırsa, dış domino etkileri etkin bir şekilde ele alınabilirse domino etkilerinin önüne geçilebilir.

5.1. Domino Etki Değerlendirmesine Yaklaşım

Bir domino kazası aslında birincil bir olayın karmaşık bir yayılma ve kazanın etkisinin artması sürecinin sonucudur. Bu nedenle, domino senaryolarının tanımlanması ve değerlendirilmesi aslında birincil senaryonun sonuçlarının ve ikincil hedeflere yol açan potansiyel yapısal hasarın ve birincil olayın tetiklediği ikincil senaryoların olasılık ve yoğunluğunun değerlendirilmesinin ayrıntılı bir analizini gerektirir. Bu tür adımların sadece yeterince ayrıntılı bir değerlendirmesi, domino olaylarıyla ilgili tehlikeler ve tırmanmayı içeren olası senaryolar hakkında kapsamlı ve eksiksiz bir bilgi sağlayabilir.

Bununla birlikte, sorunun karmaşıklığı nedeniyle ve domino senaryolarının özgüllüğünün tanınmasından bu yana geçen yıllar nedeniyle, kaza etkisinin artması senaryolarının ve domino kazalarının değerlendirilmesi için henüz geniş çapta kabul gören bir metodoloji yoktur. Bu aynı zamanda bu tür çalışmalarda gerekli olabilecek farklı ayrıntı düzeylerinden kaynaklanmaktadır. Aslında, domino kaza senaryolarının bir değerlendirmesini yaparken, gerekli ayrıntı seviyesi çalışmanın amacına bağlı olarak son derece farklı olabilir. Bu bağlamda, bir ön değerlendirme yeterlidir ancak belirli durumlarda en kötü durum senaryolarının ayrıntılı bir analizi gerekecektir. Dolayısıyla, analizin farklı aşamalarını farklı ayrıntı düzeylerinde gerçekleştirmek için literatürde bir dizi farklı metodoloji mevcuttur. Farklı tekniklerin uygulanması için gereken kaynaklar ve zaman çok farklı olabilir. Bir domino değerlendirmesinin gerektirdiği ayrıntı düzeyinin doğru bir şekilde anlaşılmasına ve doğru metodolojinin seçilmesine dikkat edilmelidir.

Aşağıda gösterilen şekilde değerlendirme prosedürü referans olarak alınırsa, domino etkisinin analizi iki ana aşamaya ayrılabilir: birincil senaryo ve kazanın etkisinin artma vektörünün değerlendirilmesi ve olası kaza şiddeti artma etkileri. Prosedürün ilk aşaması, kaynak terimin tanımlanması ve değerlendirilmesini ve birincil senaryonun nihai sonuçlarının modellenmesini gerektirir. İkinci aşama, olası hedef ekipmanın tanımlanmasını ve belirlenen ikincil hedeflerin potansiyel başarısızlığının olasılığını ve sonuçlarının değerlendirilmesini gerektirir.



Şekil 99: Domino etki analizi için gerekli adımlar

Tehlike ve risk değerlendirmesine yönelik yaygın olarak kullanılan üç geleneksel yaklaşım ve domino senaryolarının değerlendirilmesi için gerekli detay seviyesi arasında bir ilişki tanımlanabilir.

- Ön tehlike analizi (PHA) erken tasarım aşamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır ve kaza etkisinin artması olaylarının olasılığını anlamak için uygulanabilir.

- Nicel risk değerlendirmesi (QRA), domino senaryolarından kaynaklanan riski anlamak, “sıcak noktaları” veya kritik senaryoları ve düzenleyici amaçları belirlemek için uygun olabilir.
- En kötü duruma veya beklenen maksimum kaza analizine yönelik dağıtılmış parametrelerin modellenmesi, tasarım temelini değerlendirmek veya belirli bir ilgili senaryoda ayrıntılı veri elde etmek için gerçekleştirilebilir.

Yukarıdaki teknikler iyi bilinir ve bir tesisin farklı tasarım aşamalarında ve kullanım ömürlerinde ve farklı amaçlar için yaygın olarak kullanılır. Yukarıdaki bağlamların her birinde domino etkileri göz önüne alındığında mümkün olur.

5.1.1. Domino Tehlikesinin Ön Analizi

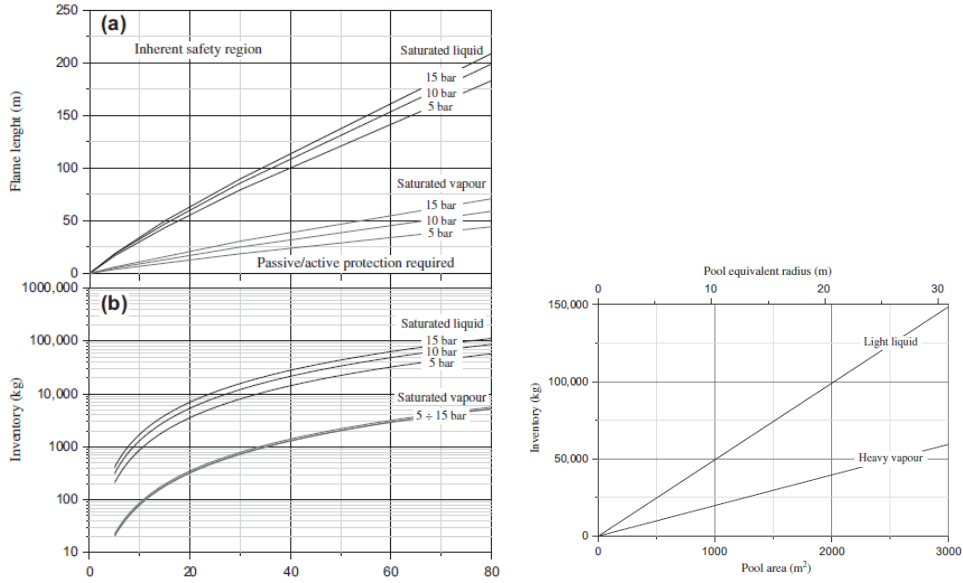
Kaza etkisinin artması olasılığına ilişkin bir ön değerlendirme, potansiyel bir hedef tankın konumundaki kaza etkisinin artması vektörünün yoğunluğunu uygun “kaza etkisinin artması eşiği” ile karşılaştırarak sağlanabilir. Kaza etkisinin artması eşiğleri, aşağıda hedef maddeye zarar gelmesi beklenmeyen fiziksel etki değerlerinden (örn. Patlama dalgaları için maksimum basınç veya yangın için radyasyon yoğunluğu) oluşur. Kaza etkisinin artması eşiğlerine bir örnek aşağıda verilmiştir.

Tablo 4: Kaza Etkisinin Artması için Önerilen Eşik Değerleri ve Güvenlik Mesafeleri Örneği

Primary Scenario	Escalation Vector	Equipment Category	Threshold Value	Safety Distance
Fireball	Heat radiation	Atmospheric	15 kW/m ²	Fireball radius
		Pressurized	45 kW/m ²	0
Jet fire	Heat radiation	Atmospheric	15 kW/m ²	Flame length + 50 m
		Pressurized	45 kW/m ²	Flame length + 25 m
Pool fire	Heat radiation	Atmospheric	15 kW/m ²	Pool border + 50 m
		Pressurized	45 kW/m ²	Pool border + 15 m
Vapor cloud explosion (VCE)	Overpressure ($F \geq 5$; $M_f \geq 0.35$)	Atmospheric	22 kPa	$R = 1.75$
		Pressurized	20 kPa	$R = 2.10$
BLEVE	Overpressure	Atmospheric	22 kPa	$R = 1.80$
		Pressurized	20 kPa	$R = 2.00$
	Fragment projection	Any	Undefined	Undefined
Mechanical explosion	Overpressure	Atmospheric	22 kPa	$R = 1.80$
		Pressurized	20 kPa	$R = 2.00$
	Fragment projection	Any	Undefined	Undefined

R , F and M_f are respectively the Sachs energy-scaled distance, the strength factor as in the Multi-Energy Method (Van den Berg, 1985) and the flame Mach number in the Baker-Sthrelow-Tang methodology (Tang and Baker, 1999).

Proses endüstrisindeki konvansiyonel senaryolar söz konusu olduğunda, sonuç değerlendirme için kaza etkisinin artması eşikleri ile birlikte iyi tanınan modellerin kullanılması analizde daha fazla basitleştirmeye izin verir. Aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi, tank envanterini veya serbest bırakma eşdeğeri çapını bir güvenlik mesafesiyle ilişkilendiren grafikler, ikincil bir hedefin kaza etkisinin artması eşiklerinin olası aşılması hakkında bir ön gösterge elde etmek için kullanılabilir. Sonuç analizi modellerini çalıştırmaya bile gerek kalmadan bu tür arazilerin kullanımı ile çok bir ön analiz gerçekleştirilebilir.



Şekil 100: Tehlikeli madde, salınımın şekline ilişkin emniyet mesafelerinin basitleştirilmiş grafikleri

Domino tehlikesinin ön analizini yapmak için 2003 yılında geliştirilen bir diğer kullanılan araç, Domino Etkileri Enstrümanı (IDE) olarak adlandırılmaktadır. IDE, Hollanda'daki “domino kuruluşlarını” tanımlamak için geliştirilmiştir. Araç, domino etkileri ile ilgili olarak “neden olan kuruluşlar” ile “korunmasız kuruluşlar” arasında bağlantı kurmaya dayanmaktadır. Kuruluşlar, tipik kaza etkisinin artması mesafeleri belirlenerek birleştirilir. Mesafeler, dikkate alınan diğer kurulumlarda birincil olayın yayılmasına ve artmasına neden olabilecek olası fiziksel etkilerle ilişkilidir. IDE'de yer alan kaza senaryoları basınçlı kapların patlaması, parça projeksiyonuna neden olan sıvı buharlaşan buhar patlamaları, buhar bulutu patlamaları, havuz yangınları ve jet yangınlarıdır. Bir domino mesafesini tanımlamak için IDE, yalnızca patlayıcı, yanıcı, yüksek derecede yanıcı veya çok yüksek derecede yanıcı maddeler içeren muhafaza sistemleri ve tesisatları göz önünde bulundurur. IDE, standart kurulum çiftleri için hesaplanan domino mesafelerinin tablolarını sunar. Elde edilen rakamlar, dikkate alınan senaryolar, tehlikeli madde miktarları, madde kategorileri, jenerik maddeler ve maruz kalan tesislerin güvenlik açığı seviyeleri gibi çeşitli parametrelere dayanmaktadır. Standart prosedürden sapan durumlarda, domino mesafelerini manuel olarak hesaplamak için IDE'de açıklanan bir yöntem kullanılabilir.

Bu “kısayol” yöntemlerinin kullanılması domino tehlike değerlendirmesinin ön aşamasında etkili ve kullanışlıdır. Bununla birlikte, kaza etkisinin artması eşiklerinin

sorunun aşırı basitleştirilmesini temsil ettiğini ve aşırı dikkatle kullanılması gerektiğini anlamak ve her zaman akılda tutmak çok önemlidir. Tırmanma eşikleri doğal olarak ampiriktir ve hem birincil senaryonun özelliklerinden hem de ikincil hedefin geometrik ve mekanik özelliklerinden büyük ölçüde etkilenir. Ayrıca, literatürde bir dizi farklı eşik değeri sunulmaktadır. Bu nedenle, tutarlı bir analiz yapmak için uygun değerlerin seçilmesi gerekir.

Bu nedenle, kaza etkisinin artması eşiklerine dayalı basitleştirilmiş bir analizin daha ayrıntılı bir analize gerek olup olmadığını anlamak için kullanılabilir bir kaza etkisinin artması tehlikesinin varlığına ve / veya seçilen birincil senaryoların artmasıyla ilgili koruma ve hafifletici önlemler dikkate alınmalıdır. Bununla birlikte, kaza etkisinin artması eşikleri için tutarlı, sağlam ve tutarlı değerlerin seçilmesi gerekir ve önemli veriler elde etmek için analiz edilen birincil senaryolar kümesinin doğru seçilmesi ve temsil edilmesi gerekir.

Açıkça, bu yöntem sadece hedefin birincil senaryosundan etkilenme olasılığı ile ilgili evet / hayır yanıtı vermektedir. Uygulama sonuçları, dikkate alınan birincil senaryolar kümesinin yol açtığı olası ilgili tırmanma hedeflerini tanımlamak için yararlı olabilecek bir tarama sağlar. Bu prosedürle tanımlanan olası kaza etkisinin artması olaylarının olasılığını değerlendirmek için daha ayrıntılı yaklaşımlara ihtiyaç vardır.

Eşik yaklaşımı, saha ve ekipman hakkında yüksek düzeyde ayrıntıya ihtiyaç duymaz ve yalnızca sıradan bir güvenlik raporu hazırlamak için gerekli olanla ilgili sınırlı bir ek çalışma gerektirir (örneğin Seveso Direktiflerinin yükümlülükleri altındaki tesisler için gerekli olan: 96/82 / EC sayılı Direktif ve 2012/18 / EU Direktifi) gereklidir. Bu nedenle değerlendirme, tesis ekipmanı ve yerleşimi ile ilgili sınırlı ayrıntıların mevcut olduğu erken tasarım aşamalarında da gerçekleştirilebilir. Eşik değerlerinin doğru seçimi yapılırsa, sonuçların aşırı tutucu olması muhtemeldir.

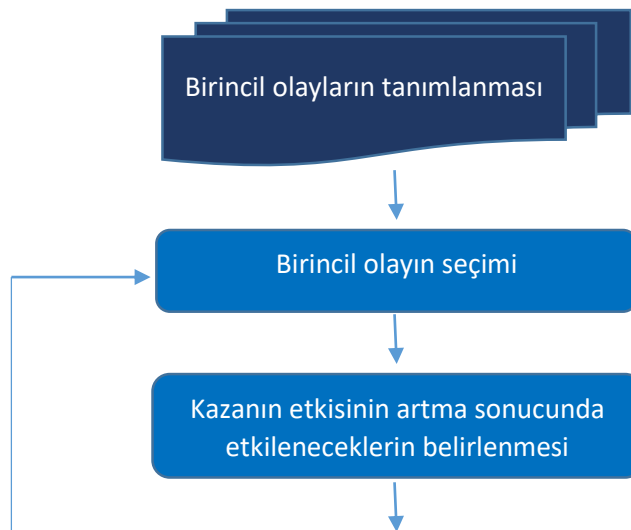
5.1.2. Domino Senaryolarının Kantitatif Risk Analizi

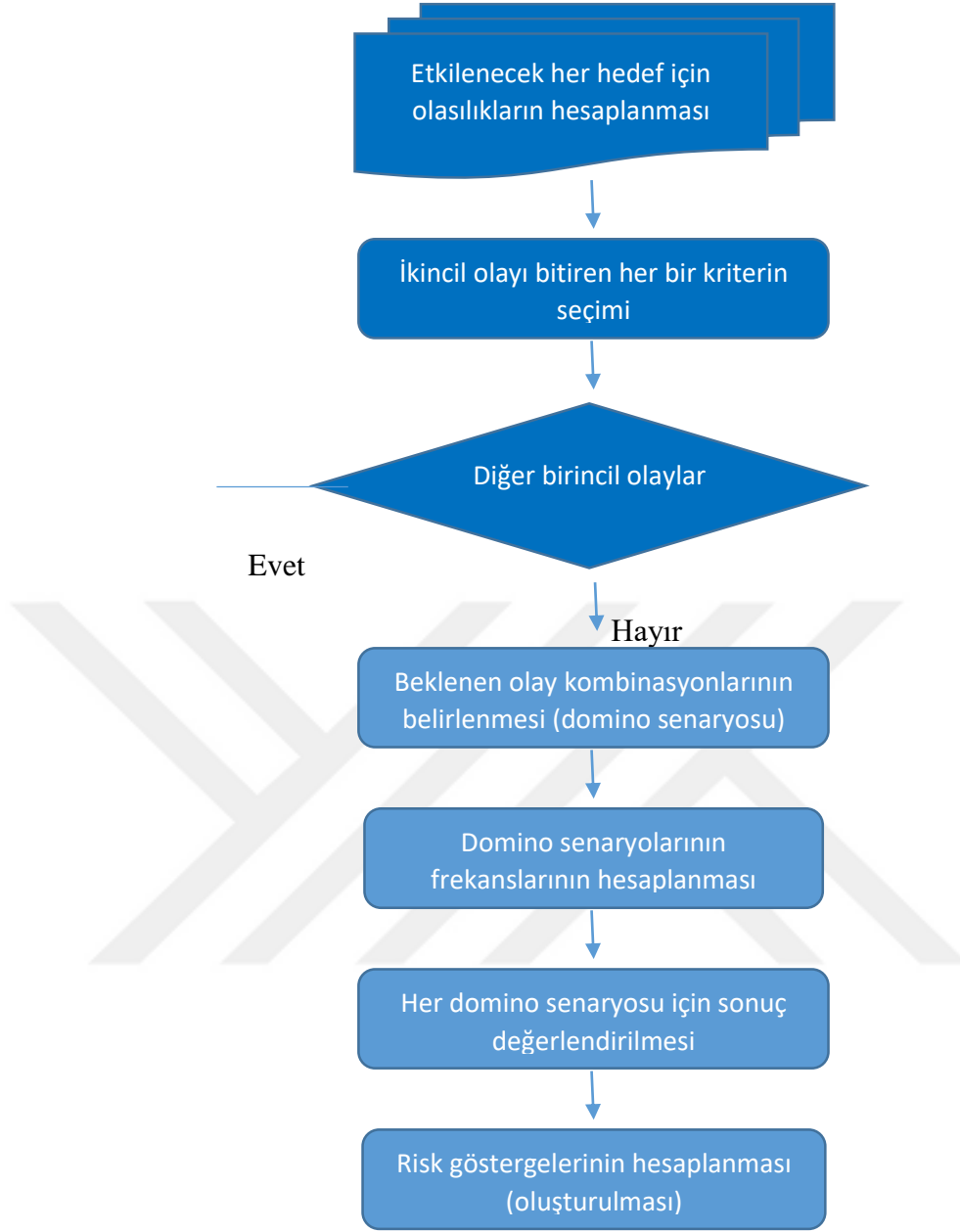
Bir QRA çalışmasına domino senaryolarının dahil edilmesinde iki ana zorluk ortaya çıkar. Bir yandan, karmaşık bir tesisin analizi yapılırsa, çok sayıda olası senaryo dikkate alınmalıdır. Bu nedenle, analiz adımlarını gerçekleştirmek için uygun bir hesaplama yaklaşımının uygulanması gerekmektedir.

Diğer taraftan, domino senaryolarına bağlı riskin nicel olarak değerlendirilmesi, ekipman güvenlik açığı için güvenilir ve yeterince basit modeller gerektirir. Son zamanlarda, basitleştirilmiş hasar olasılığı modelleri geliştirildi ve farklı proses ekipman kategorilerinin kaza etkisinin artması değerlendirmesi için kullanılabilir hale geldi. Bu araçlar, kaza etkisinin artması vektörünün ciddiyet parametrelerinin bir fonksiyonu olarak ekipman hasar olasılığının tahmin edilmesine izin verir (maksimum tepe basıncı, radyasyon yoğunluğu, vb.) Açıkçası, sonuçların güvenilirliği ve doğruluğu bu modellerin kalitesinden büyük ölçüde etkilenmektedir.

Bununla birlikte, domino senaryoları için QRA'nın uygulanabilir olduğu ve değerli sonuçlar verdiği kanıtlanmıştır. Kantitatif risk rakamları, domino senaryolarının sıralanmasına ve kritikliklerin tanımlanmasına izin verir. Özellikle, domino senaryolarının uygunluğu, kritik ekipman veya birincil olayların varlığı ve arazi kullanım planlaması konuları uygulamasıyla elde edilebilir.

Domino senaryolarının kantitatif risk değerlendirmesi, ilgili bölgenin düzenine ilişkin ayrıntılı verilerin bulunmasını gerektirir. Ekipman kalemleri (esas olarak tip, hacim ve tasarım basınç aralığı ile ilgili) hakkında sınırlı verilere ihtiyaç duyulmaktadır ve sıradan bir QRA'nın verilmesi için gerekli olanla ilgili nispeten düşük ek çalışmalar gerekmektedir. Bu nedenle, sonuçların önemi ve doğruluğunun çok daha yüksek olması beklenirse de, veri girişi ve sonuçların analizinin eşik temelli yaklaşımdan çok daha fazla zaman gerektirmesi muhtemeldir. Bu nedenle, sıradan bir QRA durumunda olduğu gibi, temel tasarım sırasında veya mevcut kurulumlar için domino etkilerinin nicel değerlendirilmesi yapılabilir.





Şekil 101: Domino senaryolarının kantitatif risk değerlendirmesinde gerekli adımlar

5.1.3. En Kötü Durum veya Beklenen Maksimum Kaza Şiddeti Analizi

Son yıllarda, Reynoldsaveraged Navier-Stokes denklemlerine dayanan hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) kodları, orta ve büyük ölçekli senaryolarda gaz patlamalarının sonuçlarının değerlendirilmesi için özel olarak geliştirilmiştir. Jet alevleri ve havuz yangınlarını simüle edebilen CFD araçlarının geliştirilmesinde de ilgili ilerleme kaydedilmiştir. CFD kodları ile elde edilen detaylı 3D basınç-zaman profili veya radyasyon-zaman profili, proses ekipmanının patlama dalgasına veya radyasyona karşı yapısal direncini analiz etmek için bir girdi olarak kullanılabilir. Ayrıca bu durumda

beklenen maksimum kaza şiddeti parametre modelleri uygulanabilir. Özellikle, sonlu eleman kodlarının kullanılması, patlama dalgasının neden olduğu dinamik darbenin neden olduğu lokal gerilmelerin veya alev radyasyonu, çarpma veya yutmanın neden olduğu termal gerilmelerin etkisinin analizine izin verebilir. Standart kodlarla sonlu eleman simülasyonları genellikle elastik bölge ile sınırlı olsa da, güvenlik değerlendirmesi çerçevesinde, bir ekipman ögesinin olası plastik deformasyonu, muhafaza kaybına neden olacak yeterli bir koşul olarak kabul edilebilir. Böylece, yangınların ve patlamaların etkisinin ayrıntılı bir simülasyonunu elde etmek için sonlu eleman kodları uygulanabilir.

Son yıllarda kaydedilen ilerlemeye rağmen, bu yaklaşımın sayısal etki alanını oluşturmak ve simülasyonları gerçekleştirmek için gereken her verinin giriş işlemi çok zaman gerektirmesi nedeniyle önemli sınırlamalara sahip olduğu açıktır. Özellikle, sayısal alanın artırılması için gereken büyük miktarda bilgisayar kaynağı ve zaman nedeniyle, uzak alanda patlama dalgası yayılımı veya radyasyon yoğunluğu davranışını yeniden üretmek için CFD kullanmak pratik değildir. Öte yandan, bir tesiste mevcut olan tüm ekipman öğeleri için belirli bir sonlu eleman simülasyonu yapmak mümkün değildir. Ayrıca, bir ekipman ögesinin sonlu eleman simülasyonu, genellikle erken tasarım aşamalarında bulunmayan yüksek miktarda tasarım detayı gerektirir. Bu nedenle, özellikle tasarım vakaları için yakın alan yangın ve patlama etkileri bu araçlarla ele alınabilirken, artan değerlendirme ve domino etkileri söz konusu olduğunda basitleştirilmiş yöntemlerin uygulanması daha pratik gibi görünmektedir.

Domino kazalarının değerlendirilmesinde ana sorunun, yakındaki birimleri içerebilecek olası kaza etkisini artıracak olaylarının tanımlanması olduğu unutulmamalıdır. Bu nedenle, uzak alandaki kaza etkisini artırma genellikle endişe kaynağı olduğu için, mevcut beklenen maksimum kaza şiddeti parametre modelleme araçlarının kullanımı aslında son derece zaman alıcıdır ve o sırada neredeyse hiç uygulanabilir değildir. Zamana ve maliyetlere bağlı olarak beklenen maksimum kaza şiddeti parametre yaklaşımları, günümüzde tek veya çok sınırlı bir patlama veya yangın senaryosunun analizi ile makul olarak sınırlandırılmalıdır; uzak alan domino etkisi değerlendirmesinde genellikle çok sayıda farklı senaryo mümkündür.

Her durumda, yukarıdaki yaklaşım domino etki değerlendirmesine uygulandığında, bir ön eşik analizi ve bir QRA ile entegre edilmesi şiddetle tavsiye edilir. Aslında, daha

az ayrıntılı olan bu yaklaşımlar, beklenen maksimum kaza şiddeti parametre modellemesinin uygulanması için bir tasarım vakası veya bir çalışma vakası olarak seçilecek daha ilgili senaryoyu tanımlamak için etkili ve net kriterler sağlayabilir.

5.2. Domino Etkilerinin Tasarım Tabanlı Bir Bakış Açısı ile Yönetim

Bir tesisin tasarımı domino etkisi potansiyelini birçok yönden etkiler. Bir domino kaza etkisi artmasının gerçekleşmesi için iki temel unsur gereklidir: bir veya birden fazla “domino hedef birimine” zarar vermek için yeterli enerjiye sahip birincil senaryo ve birincil senaryonun erişiminde en az bir “domino hedef biriminin” varlığı . Bu bağlamda, bir “domino hedef birimi”, hasar gördüğünde, birincil senaryodakilerden daha kötü sonuçlara yol açan genel bir domino kazasıyla sonuçlanan ikincil bir senaryo üretme potansiyeline sahip bir birimdir.

Tesis tasarımı her iki unsuru da etkiler: birincil ve ikincil senaryoların şiddeti, diğerlerinin yanı sıra, süreç ve birim tasarımında tanımlanan maddelere, çalışma koşullarına ve stoklara bağlıdır; bunun yerine hedeflerin varlığı ve yeri, tesis yerleşimi ve yerleşim tasarımına bağlıdır. Bu nedenle, tasarım aşamasında uygulanan yeterli önlemler, kaza etkisinin artması açısından daha güvenli tesislerle sonuçlanabilir.

Süreç ve birim tasarımında uygulanan emniyet önlemleri çoğunlukla kayıp önleme, dış nüfus için emniyet, çalışanlar için emniyet vb. hedeflenen geleneksel (yani domino'ya özgü olmayan) emniyet stratejileri için uygulanmakta olanlarla aynıdır. Tesis yerleşimi, kaza etkisi artmasının potansiyeli üzerinde daha belirgin bir etkiye sahiptir ve özel bir değerlendirmeye değer.

5.2.1. Kazanın Etkisi İçin Emniyet Mesafeleri

Atmosferik ve basınçlı hedef ekipmana zarar veren domino kazalarına özgü kaza etkisinin artma dizilerini tetiklemek için yoğun enerji salınımlarını içeren kazara senaryolar gereklidir. Kaza etkisinin artması etkilerini tetikleme olasılığı daha yüksek olan birincil senaryolar gösterilmektedir. Aşağıdaki tabloda gösterildiği gibi, üç ana kaza etkisini artırma vektörü tanımlanmıştır: ısı radyasyonu veya alev çarpması, aşırı basınç ve şarapnel etkisi. Toksik salınım mevcut analizden hariç tutulmuştur, çünkü bu doğrudan

fiziksel etki doğrudan içermez ve can kaybına (LOC) veya ikincil ekipmanın hasar görmesine neden olmaz.

Tablo 5: Farklı birincil senaryolar için dikkate alınan kaza şiddetini arttırıcı eşikler ve emniyet mesafeleri

Scenario	Escalation Vector	Target Category	Escalation Threshold	Safety Distance
Flash fire	Heat radiation	Floating roof tanks All other units	Flame envelope Unlikely	Maximum flame distance -
Fireball	Heat radiation	Atmospheric Pressurized	$I > 100 \text{ kW/m}^2$ Unlikely	Maximum flame distance -
Jet fire	Heat radiation	All Atmospheric Pressurized	Flame envelope $I > 15 \text{ kW/m}^2$ $I > 45 \text{ kW/m}^2$	- 50 m from flame envelope 25 m from flame envelope
Pool fire	Heat radiation	All Atmospheric Pressurized	Flame envelope $I > 15 \text{ kW/m}^2$ $I > 45 \text{ kW/m}^2$	- 50 m from pool border 20 m from pool border
VCE	Overpressure	Atmospheric Pressurized; elongated (toxic) Elongated (flammable)	$P > 22 \text{ kPa}$ $P > 20 \text{ kPa}$ $P > 31 \text{ kPa}$	$R = 1.75 \text{ (ME); } 1.50 \text{ (BS)}$ $R = 2.10 \text{ (ME); } 1.80 \text{ (BS)}$ $R = 1.35 \text{ (ME); } 0.85 \text{ (BS)}$
Confined explosion	Heat radiation	See flash fire	See flash fire	See flash fire
	Overpressure	Atmospheric Pressurized; elongated (toxic) Elongated (flammable)	$P > 22 \text{ kPa}$ $P > 20 \text{ kPa}$ $P > 31 \text{ kPa}$	20 m from vent 20 m from vent 20 m from vent
Mechanical explosion, BLEVE	Overpressure	Atmospheric	$P > 22 \text{ kPa}$	$R = 1.80$
		Pressurized; elongated (toxic) Elongated (flammable)	$P > 20 \text{ kPa}$ $P > 31 \text{ kPa}$	$R = 2.00$ $R = 1.20$
	Missile projection	All	Fragment impact	300 m (impact prob. $< 5 \times 10^{-2}$)

I, heat radiation intensity; *P*, maximum peak static overpressure; *R*, energy scaled distance; ME, multienergy method (Van den Berg, 1985); BS, Baker–Strehlow method (Strehlow et al., 1979; Tang and Baker, 1999).
Source: Adapted from Cozzani et al. (2006).

5.2.2. Güvenlik Bariyerleri

Güvenlik Bariyerleri Kategoriler

Domino kazası riski, farklı stratejiler benimsenerek tasarım faaliyetleri sırasında azaltılabilir. CCPS tarafından sağlanan şemaya göre, domino yayılımı, doğal olarak daha güvenli tasarım ile ortadan kaldırılabilir, mühendislik engelleri (pasif veya aktif sistemler) ile sınırlandırılabilir ve / veya uygun prosedürel önlemler ile yönetilebilir. Mevcut uygulama esas olarak aktif ve pasif güvenlik stratejilerine dayanmaktadır. Domino önleme için pasif güvenlik yaklaşımı, gerektiğinde herhangi bir harici müdahale olmaksızın etkisi mevcut olan fiziksel bariyerlerin ve koruma sistemlerinin (örn. Proses ekipmanının ısı yalıtımı) uygun tasarımından oluşur. Pasif koruma sistemlerinin maliyeti uygun olsa da, bu strateji kaza sonuçlarının azaltılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kaza etkisinin artma olaylarını önlemek için aktif stratejiler genellikle emniyet hiyerarşisinde daha az güvenilir olarak kabul edilir, ancak en azından havuz veya jet yangınları gibi bazı birincil senaryolar için bu yaklaşımlar etkili olabilir ve genellikle ulusal mevzuatta ve uluslararası standartlar tasarımda zorunludur.

5.2.2.1. Doğal Güvenlik Bariyerleri

Doğal güvenlik yaklaşımı, domino tehlikesinin ortadan kaldırılmasını amaçlamaktadır (yani, bir domino olayına yol açan bir kaza şiddeti arttırma dizisini tetikleme potansiyeli). Tüm tesis yaşam döngüsü boyunca doğal bir güvenlik felsefesi uygulamanın avantajları açıktır. Yerleşim tanımı sırasında domino olayları olasılığı göz önünde bulundurularak, erken tesis tasarımında domino önleme konusundaki doğal bir yaklaşım kolayca uygulanabilir. Bu durumda, daha tehlikeli proses üniteleri (büyük yanıcı veya toksik madde envanterine sahip olanlar) ve diğer proses kurulumları arasında uygun güvenlik mesafeleri verilerek kaza etkisinin artması olaylarından kaçınılabilir. Proses birimlerinin mekansal düzenlenmesi, kazayla meydana gelen bir olayın bir birimden diğerine yayılma yeteneğini etkiler (domino etkisi), sonuçta kaza sonuçlarının büyüklüğünün artmasıyla sonuçlanır. Nüfuslu hedeflerin (örneğin binalar) olası tehlike kaynaklarına göre konumu, maruz kalma ve ölüm olasılığı nedeniyle de büyük endişe kaynağıdır. Ayrıca, yerleşim tasarımı, hem kaza sıklığı hem de kaza yönetimi (örneğin yangınla mücadele operasyonları ve tahliye) için kritik bir unsur olan bir tesisteki farklı alanların erişilebilirliğini etkiler. Son olarak, doğal olarak daha güvenli sistemler, tehlike yönetiminden düzenleyici yükümlülöklere ve güvenlik sistemi bakımına kadar, genellikle tam tesis güvenlik yaşam döngüsü ile ilişkili yüksek maliyetleri azaltabilir.

Bu nedenle, tesis yerleşimi tasarımı, Kaza etkisinin artmasını önlemeyi amaçlayan belirli önleyici ve koruyucu doğal güvenlik önlemlerinin uygulanmasını gerçekleştirmenin en iyi aşamasıdır. Ancak, pratik kısıtlamalar doğal güvenlik stratejilerinin tam olarak uygulanmasını sınırlar. Nitekim, aktif ve pasif önlemlerin içsel bir güvenlik yaklaşımıyla entegrasyonu, Kaza etkisinin artması olayları nedeniyle riskin etkin bir şekilde azaltılmasına yönelik daha umut verici bir yol gibi görünmektedir. Bu nedenle, doğal güvenlik yoluyla domino tehlikesinin azaltılması, ek önlemlerin daha az kritik ve daha etkili olmasını sağlayacaktır.

Doğal güvenlik ilkeleri bir rehber kelime listesi ile özetlenebilir. Her ne kadar içsel güvenlik terminolojisi süreç güvenliği topluluğu genelinde biraz değişse de, alternatif etiketlerle ifade edildiğinde farklı ilkelerin anlamı hakkında genel bir düşünce ortaklığı vardır. Açıkçası, aynı doğal güvenlik kılavuzu kelimesi bu iki tasarım aşamasında farklı bir uygulamaya sahiptir, çünkü farklı kısıtlamalar mevcuttur.

Proses tasarım aşaması, parametreleri değiştirme olasılığı ile karakterize edilir; örneğin, çalışma ve saklama koşulları, ekipman tasarımı ve stoklar. Burada, “yoğunlaştırma” kılavuz kelimesi, tek bir ekipman kalemindeki envanterin azaltılması veya ekipman kalemlerinin sayısının etkili bir şekilde ifade edilebilir. İlgili envanter genellikle bir birincil senaryonun (örneğin BLEVE'ler veya VCE'ler için) artışının belirlenmesinde önemli bir parametre olduğundan, depolanan veya işlenen miktarların en aza indirilmesi, tehlikenin azaltılması için etkili bir önlemdir. Ayrıca “denetleme” kılavuz kelimesi ile ilgili eylemler, Kaza etkisinin artması olasılıklarında önemli azalmaya yol açacaktır.

Daha güvenli depolama teknolojilerine geçiş, bir yandan birincil olayın tehlikesini ve ekipmanın Kaza etkisinin artmasına karşı savunmasızlığını ve olası ikincil senaryoların şiddetini azaltmada etkili olduğu için daha az tehlikeli koşulların kullanılması.

“Yoğunlaştırma” ve “denetleme” kılavuz kelimeleri altında yer alan eylemler, özellikle Kaza etkisinin artmasının önlenmesi ile ilgili sorunlar için tanıtıldığında, özellikle depolama tankları gibi ilgili stoklara sahip ekipman öğeleri için düşünülebilir. Son olarak, maddelerin daha az tehlikeli mülkiyeti olan başkaları ile “ikame edilmesi” ve süreçlerin “sadeleştirilmesi”, süreç tasarım aşamasında uygulanan diğer doğal güvenlik kılavuzu kelimeleri olacaktır. Bununla birlikte, bunlar genellikle tasarım aşamasındaki diğer şeylerle akışabilecek tasarımın ilgili değişikliklerini gerektirir.

Tesis yerleşim tasarımının sonraki aşamasında, yerleşim planı kılavuzuna sistem olarak içsel güvenlik kılavuzu sözcükleri uygulanmalıdır. Örneğin, “sadeleştirme” kılavuz kelimesi, yerleşim planındaki gereksiz karmaşıklığın azaltılmasını gerektirir.

“Efektlerin sınırlandırılması” kılavuz kelimesi layout tasarım aşamasında tamamen uygulanır. “Etkilerin sınırlandırılması” bazen olumsuz bir etkinin bir şekilde gerçekleşeceğini kabul ettiği için “küçük” bir rehber kelime olarak kabul edilir. Bununla birlikte, Kaza etkisinin artması perspektifinde, bu rehber kelime, domino etkilerinden kaynaklanan hiçbir ikincil olaya neden olmayacağından emin olmalı, böylece domino kazalarının önlenmesini etkili bir şekilde içsel bir yaklaşımla sürdürmelidir. Bu, üniteler arasında uygun ayırma mesafelerinin sağlanması ve ayrıca tesis ünitelerinin daha güvenli düzenlemesinin seçilmesini içerir.

5.2.2.2. Pasif Güvenlik Bariyerleri

Doğal güvenlik stratejileri temel olarak temel tasarım faaliyetlerinde uygulanabilir. Pasif koruma sistemleri genellikle daha ayrıntılı tasarım aşamalarında uygulanır. Pasif stratejiler genel olarak fiziksel bariyerlerin kullanılmasından oluşur (örn. Proses ekipmanının ısı yalıtımı, yangına dayanıklı duvarlar, yüksek duvarlar, vb.). Hem önleme hem de hafifletme engelleri olarak uygulanabilirler. Domino önleme durumunda, pasif bariyerler hafifletme önlemleri olarak ayırt edici bir değere sahiptir, çünkü doğası gereği birincil kaza anında hemen etkilidir. Bu boş tepki süresi, hızla gelişen veya algılanması zor senaryolar için de kaza şiddeti etkisinin önlenmesinde pasif engelleri etkili hale getirir. Örneğin, bir ateş topu senaryosundan kaynaklanan ısı radyasyonu durumunda, sadece pasif etki azaltma sistemlerinin (örn. Isı yalıtımı) etkili olduğu düşünülmelidir, çünkü senaryonun hızlı gelişimi (genel olarak 5-20 s sırasına göre) olasılığı aktif koruma sistemleri. Aynıısı patlama senaryolarının neden olduğu şok dalgalarından korunmak için de geçerlidir. Bazı durumlarda (örneğin, şarapnel etkisi) pasif bariyerler uygulanabilir tek hafifletici önlem olabilir, çünkü doğal stratejiler pratikte uygulanamayabilir. 2008 yılı Bayer CropScience kazası hakkındaki CSB Raporu (ABD Kimyasal Güvenlik ve Tehlike Araştırma Kurulu (US-CSB), 2011), parça etkisi durumunda bir patlama battaniyesi tarafından sağlanan korumanın bir analizini sunar. Rapor belirli bir vakayı ifade etse de, patlama korumasının hem küçük hem de büyük şarapnelden gelen hasarı azaltmak için etkili bir çözüm olabileceği kanıtlanmıştır. Bununla birlikte, destekleyici yapının tasarımı beklenen dinamik yükleri özel olarak açıklamalıdır, çünkü darbeden kaynaklanan deformasyonlar boru tesisatına ve proses ekipmanına da zarar verebilir.

Isı radyasyonu veya alev çarpmasından (örneğin yanmaz, güvenlik duvarları vb.) Pasif korumalar aktif veya prosedürel eylemler entegre edilirse ısı radyasyonu veya alevin birincil yangın senaryosunun neden olduğu bir tesisteki yapıların ısınmasını yavaşlatma, ikincil arızaları geciktirme veya hatta uygun şekilde önleme konusunda çok etkili olabilir. Bununla birlikte, alev çarpması durumunda, korumanın bütünlüğü kritiktir, çünkü yalıtımın kusurları varlığında sıcak noktalar oluşabilir, bu da yerel strese, aşırı ısınmaya ve başarısızlığa yol açar.

Yakalama havzaları (dike) yanıcı sıvı dökülmeleri ile uğraşırken özellikle etkili bir pasif etki azaltma bariyerleridir: hem olası çarpışma senaryolarının (havuz yangınları)

hem de buharlaşma hızının (bulut oluşumu ve müteakip olası VCE) genişlemesini sınırlamaya katkıda bulunurlar. Siperler ve su tutma havzaları da benzer şekilde olumlu katkıda bulunur.

Pasif koruma, yayılma vektörü olarak patlama dalgaları veya şarapnel içeren domino zincirlerinde hafifletme için de etkili olabilir. Bununla birlikte, kum duvarları, höyük, vb. tesisteki yapılarda buna katkı sağlar.

5.2.2.3. Aktif ve Prosedür Güvenlik Engelleri

Pasif bariyerlerin yanı sıra aktif güvenlik bariyerleri, önleme veya hafifletme engelleri olarak rollerine göre bölünebilir. Önleme engelleri temel olarak birincil senaryonun meydana gelme sıklığının azaltılmasını amaçlamaktadır (örn. Alarmla aktive edilen işlem kapatma). Bu engeller, domino riskini azaltmada kesinlikle etkili olmakla birlikte, domino senaryolarıyla sınırlı belirli bir etkiye sahip değildir, ancak tesisin genel kayıp önleme tedbirlerinin bir parçasıdır. Bu nedenle, genellikle domino riskinin azaltılmasındaki rollerinden bağımsız düşüncelere veya gereksinimlere dayanarak uygulanırlar. Aktif hafifletme engelleri, bunun yerine, domino yayılımının azaltılmasına (örneğin basınçsızlaştırma ve su basması) özel olarak hedeflenebilir. Bununla birlikte, aktif azaltıcı etkenler tipik olarak önemli bir müdahale gecikmesine sahiptir. Zaman etkinliği kriterleri, aktivasyon zamanının kaza senaryosunun karakteristik zamanıyla karşılaştırılmasını gerektirir.

Örneğin, ateş topu durumunda, karakteristik zaman aralığı tipik olarak 1 ila 20 s arasındadır ve hedef kap üzerindeki aktif hafifletme (örn. Su basması) genellikle etkisizdir. Aynı düşünce aşırı basınç ve parça projeksiyon senaryoları için de geçerlidir. Örneğin, tipik bir VCE'de, patlamanın toplam süresi tipik olarak onlarca ila yüzlerce milisaniye (veya çok düşük Mach alevlenmesi durumunda daha da fazla) değişebilir. Bu süreler tipik olarak herhangi bir koruma ekipmanının karakteristik tepki sürelerinden daha azdır. Acil kapatmayla ünite yalıtımı gibi bazı hafifletme önlemleri, gecikmeli ateşlemeyi (örneğin VCE) içeren senaryolarda sonuçların şiddetini azaltmada etkili olabilir.

Sabit yangınlarda (jet yangını ve havuz yangınları) aktif bariyer domino tırmanma olasılığını azaltmada çok etkili olabilir. Örneğin, su basması yangına maruz kalan ekipmanın sıcaklık artışını en aza indirmek için kullanılabilir. Bununla birlikte, bu

genellikle ısı radyasyon bölgesi ile sınırlıdır, çünkü çarpma alanındaki yoğun ısı yükü, yerel sıcak noktaların oluşumu yoluyla su basmasını etkisiz hale getirebilir. Bu durumlarda pasif ve aktif önlemlerin yakın entegrasyonu tavsiye edilir: aktif önlemlerin müdahalesi için yeterli zaman sağlamak için pasif koruma (özellikle yanmaz) çok önemli olabilir.

Aktif engellerle ilgili olarak aynı hususlar genellikle kazaların azaltılmasına yönelik acil durum önlemleri için de geçerlidir. Prosedürel tedbirler için karakteristik tepki süresi, aktif tedbirlere kıyasla büyüklük sırasına göre daha uzun olabilir. Bu nedenle, hızlı gelişen senaryolara (ateş topu, mekanik patlamalar, VCE, vb.) Genellikle hiçbir prosedür önlemi uygulanmaz. Diğer yandan, sabit yangınları (örn. Yangın monitörlerinin kullanımı) içeren senaryoların acil durum yönetimindeki etkinliği, tırmanmaları önlemede çok önemli olabilir. Yukarıda tartışıldığı gibi, bu durumlarda pasif ve aktif korumalarla yakın entegrasyon çok önemlidir. Benzer şekilde, alevin yok olmasını amaçlayan yangınla mücadele operasyonları kaza şiddeti artırma vektörünü ortadan kaldırır, ancak bunlar sadece bazı sabit yangınlarla (örn. Havuz yangını) sınırlandırılabilir. Düzgün yönetilmeyen yangın söndürme operasyonlarının, kontamine yangın söndürme suyunun dökülmesinden kaynaklanan çevresel hasar durumunda olduğu gibi, kaza tırmanması için yeni senaryolar getirebileceğini hatırlatmakta fayda vardır. Bu tür başarılı serpinti durumlarını önlemek için yeterli tasarım standartları ve yönetim prosedürleri uygulanmalıdır.

Son olarak tahliye, domino kazalarında, özellikle karakteristik çıkış sürelerinin bazı yayılma sürelerinden daha kısa olabileceği iç popülasyonda zarar görmesini önlemek için etkili bir önlem olarak belirtilmelidir. Bununla birlikte, bu önlemin domino kaza etkisinin artışını hafifletmediğine, sadece insanlara ve çevreye olumsuz etkilerini değiştirmeden olumsuz etkileri azalttığı belirtilmelidir.

5.3. Kimyasal Tesislerde Domino Etkilerini Yönetim

Kabaca üç tür risk ayırt edilebilir: çok fazla geçmiş verinin mevcut olduğu riskler (tip I), çok az veya çok az geçmiş verinin mevcut olduğu riskler (tip II) ve geçmiş verilerinin mevcut olmadığı riskler (tip III). Tip I risklerin sonuçları temel olarak bireysel çalışanlar (örneğin çoğu işle ilgili kaza) ile ilgilidir, tip II risklerin sonucu bir şirketi veya

büyük bölümlerini (örneğin büyük patlamalar, domino etkileri, vb.) etkileyebilir ve tip III riskler, örneğin organizasyon ve toplum üzerinde benzeri görülmemiş ve öngörülemeyen bir etkiye sahiptir.

Tip I risklerin kazalara dönüşmesini önlemek için, risk yönetimi teknikleri ve uygulamaları yaygın olarak bulunmaktadır. Geçmiş kazalara dayanan istatistiksel ve matematiksel modeller, gelecekteki olası tip I kazaları tahmin etmek için kullanılabilir ve bu tür kazaları önlemek için alınması gereken önleme tedbirlerini gösterir.

Tip II riskleri ve ilgili kazaları tahmin etmek çok daha zordur. Bu olayların meydana gelme sıklığı çok düşük olduğundan ve mevcut bilgilerin araştırılması için yeterli olmadığından, yaygın olarak kullanılan matematiksel modeller aracılığıyla tahmin edilmesi son derece zordur.

Olasılık tahminlerindeki hatalar çok büyüktür ve bu nedenle bu olasılıklar kullanılırken son derece dikkatli olunmalıdır. Bu nedenle, bu tür risklerin yönetimi, mevcut olan kısıtlı verilere ve tahminlere, varsayımlara ve uzman görüşlerine dayanmaktadır. Bu tür riskler de mevcut risk yönetimi teknikleri ve uygulamaları ile araştırılmaktadır, ancak bu teknikler belirsizlikler bu tip riskler için tip I risklere göre çok daha yüksek olduğu için çok daha dikkatli kullanılmalıdır. Yeterli risk yönetimi nedeniyle asla büyük ölçekli kazalara dönüşmeyen birçok risk (ve gizli nedenler) mevcuttur, ancak büyük sonuçlara neden olan kazalara dönüşen çok az risk vardır. Bu nedenle, bu tür riskleri belirlemek için oldukça spesifik matematiksel modeller ve yazılımlar kullanılmalıdır. Karmaşık hesaplamaların bu risklerin doğru görünmesine yol açtığına dikkat edilmelidir; Bu riskler tam olarak gerçeği yansıtmayabilirler (hesaplamalar için yapılması gereken varsayımlar nedeniyle) ve göreceli riskler olarak kabul edilmeli ve buna göre ele alınmalıdır (mutlak riskler yerine).

Üçüncü tip risklerle ilgili kazaların tahmin edilmesi imkansızdır. Riskler hakkında bilgi mevcut değildir ve riskler nadiren kazaya dönüşmektedir. Bunlar saf tesadüflerin bir sonucudur ve geçmiş olaylarla hiçbir şekilde tahmin edilemezler, sadece hayal gücü ile tahmin edilebilir veya tasarlanabilirler. Bu tür olaylar gerçekten sadece “düşünülemez” tarafından tanımlanabilir.

Özetle tip I istenmeyen olaylar “iş kazaları” olarak kabul edilebilir. (örneğin birkaç gün çalışmama ile sonuçlanan kazalar, ilk yardım gerektiren kazalar gibi.) Hem tip II

hem de tip III kazalar kategorize edilebilir “büyük kazalar” olarak kategorize edilebilir. (örneğin çoklu ölümlü kazalar, büyük ekonomik kayıplı kazalar vb.) Bu nedenle, tip II veya III olayları olan domino kazaları, iş kazaları gibi yönetilemez. Dolayısıyla Domino riskleri, iş kazalarının tipik iş kazaları yaklaşımı ile değil, afet önleme ile ilgili uzmanlığa ve zihniyete dayanan yaklaşım ve modellerle yönetilmelidir.

5.3.1. Dahili Domino Etkilerini Yönetim

5.3.1.1. Yaklaşım 1 “ İnsan”

Sistemsal Düşünce

Domino etkilerinin nasıl yönetileceğini anlamak için “sistemin arkasındaki mantık” hakkında bilgi edinmek çok önemlidir. Bu nedenle, risk yöneticileri tarafından sistem düşüncesinde bazı genel anlayışların takip edilmesi gerekmektedir. Bundan sonra dört sistem düşünme anlayışı verilmektedir.

Risk yönetimine dayalı olarak alınan her güvenlik önleminin belirli bir “reaksiyon süresi” vardır, yani bir önlemin etkilerinin belirginleşmesi belirli bir zaman alır. Yeni önlem(ler)i çok hızlı bir şekilde almaktan kaçınmak için bu reaksiyon süresini bilmek veya en azından bu zaman hakkında bir fikre sahip olmak önemlidir. Bu nedenle, emniyet ve sağlık önlemleri alırken ve sonuçları yorumlarken uzun vadeli bir vizyonun, sistemin işleyişi ve önlemlerin sistem üzerindeki uzun vadeli etkileri ile desteklenmesi gerekmektedir.

Birleşik kaplar kanunu, fizikteki konuların sıklıkla birbiriyle bağlantılı olduğunu ve bir şekilde birbirlerini etkilediğini belirtir. Bu, örgütler gibi sosyoekonomik sistemler için farklı değildir. Bir sistem içindeki her önlem veya değişiklik, sistemin diğer bölümlerinde değişikliklere ve değişimlere yol açar ve bu domino değişikliklerinin tanımlanması ve gerekirse ek önlemlerin alınması gerekir. Sistemin farklı bölümleri yerine bir kerede tüm sistemin göz önünde bulundurulması ve domino etkilerinin önlenmesi konusunda risk kararları verirken sistemin bölümleri arasındaki ilişkilerin dikkate alınması gerekir. Bu nedenle, beklenmedik değişiklikler ve sürekli uyanıklık konusunda farkındalığın daima mevcut olması gerekmektedir.

Doğrusal nedensellik gerçek hayatta ve gerçek endüstriyel uygulamada bulmak çok zordur: neredeyse hiç bir kaza bir nedenin sonucudur. Bir domino kazası durumunda, her

zaman koşulların uyuşması ve çeşitli faktörlerden kaynaklanır. Kendi içinde bir faktör sıklıkla bir kazaya neden olmak için yeterli değildir ve başka bir olay sırası meydana gelmişse, bir domino kazasının sonuçları tamamen farklı olabilir. Dahası, neden ve sonuç düzenli olarak mekan ve zamanda yakından bağlantılı değildir. Bununla birlikte, insanlar tarafından “doğrusal nedenselliklerde düşünme” dürtüsü, risk yöneticileri için de çok güçlüdür ve kesinlikle geçmişte olmuştur. Gerçekliği statik bir resim olarak görmek ve bu resme dayanarak, önleyici tedbirler almak yerine, risk yöneticilerinin değişim kalıplarını fark etmesi, olaylar arasındaki olumlu ve olumsuz geri bildirim döngülerine bakması ve bu gelişmiş gerçeklik algısına dayanması gerekmektedir.

Araştırmalar, iş başarısızlıklarının bir işletmenin ani tehditlerden ziyade yavaşça ortaya çıkan tehditlere kötü adaptasyonundan kaynaklandığını göstermektedir. Sinsi, gizli (uzun vadeli) sorunlar genellikle hak ettikleri dikkati almaz; tersine, sorunlara yol açan kısa vadeli başarısızlıklar sıklıkla yapar. Bu yüzden uzun vadede düşünmeye sahip olunması gerekmektedir.

Daha önce bahsedilen tüm “sistem düşünce yasaları” bir sistemde içgörüye ihtiyaç olduğunu gösterir, böylece ilgili tüm sistem parçalarını, ilişkilerini ve karşılıklı bağımlılıklarını dikkate alır. Genellikle, altta yatan nedenler ve yapılar yerine semptomlar arayan “kolay çözümler” aranır. Bu şekilde, “görünür sorun” kısa bir süre için çözülür, artık görülemez ve her şey yolunda görünüyor. Tabii ki, gerçekte, sorun hala var ve daha sonra, daha kalıcı ve muhtemelen bir sistemde başka bir yerde daha sonra tekrar ortaya çıkacak. Ayrıca, sorun genellikle daha önce yapılan yüzeysel eylemler nedeniyle sorunu çözmek için daha fazla zorluk çeken başka bir kişinin sorunu haline gelmiştir.

Böyle bir sistem düşünmeyen davranış, insanlarda güçlü bir şekilde mevcuttur ve bu nedenle, özellikle domino etkilerini yeterince yönetmek için organizasyonlarda gerçek sistem düşünme davranışını uygulamak için bilgi ve akıl yürütme gereklidir.

Yüksek Güvenilirlik Teorisi

Domino etkileri gibi büyük kazaların nasıl önleneceğine dair bir düşünce okulu olan yüksek güvenilirlik teorisi (HRT), akıllı organizasyonel tasarım ve yönetim teknikleriyle bir şirketin organizasyon içindeki zayıflıkları telafi edebileceğine ve kazasız operasyonları garanti edebileceğine inanmaktadır. HRT'ye göre, dört husus sıfır kaza

güvenliğine yol açmaktadır. Bunlar emniyet hedeflerini kurumsal bir hedef olarak önceliklendiren liderlik, yüksek düzeyde insan unsurunun işten çıkarılması, merkezi olmayan otorite ile yüksek güvenilirlikte organizasyonel bir ortam, üst düzey güvenilirlik ve eğitim kültürü ve kuruluşların (iç ve dış) deneyimlerden öğrendikleri deneme-yanılma eğitimine bir yaklaşım.

Yüksek güvenilirlik düzeylerini kazanabilen ve sürdürebilen kuruluşlara yüksek güvenilirlik kuruluşları (HRO'lar) denir. Bu tür organizasyonlar riskleri etkili ve verimli bir şekilde belirler ve düzeltir.

HRO'ların tipik bir özelliği kolektif dikkattir. Ayrıca, HRO'ların kendilerini, yapıdaki beklenmedik şeyleri daha iyi fark edebilecekleri ve gelişimini durduracakları şekilde düzenlediklerini gösterir. Bu nedenle, HRO'larda kolektif farkındalık, kendilerini örgütlemek için belirli bir yaklaşım gerektirir. HRO'lar tarafından bu kadar dikkatli ve güvenilir bir organizasyona ulaşmak için beş temel ilke kullanılmaktadır.

İlk üç ilke esas olarak, beklenti veya kuruluşların beklenmedik olaylarla başa çıkabilmeleri ile ilgilidir. Beklenti, aksamalar, basitleştirmeler ve yürütme ile ilgilidir ve büyük, yıkıcı olaylara yol açma potansiyeli olan küçük ipuçlarını ve endikasyonları tespit etme araçlarını gerektirir. Tabii ki, bu tür organizasyonlar da istenmeyen olayların sonuçlarını azaltabilmeli veya durdurabilmelidir. Beklenti, iyi bilinen ve kontrol edilebilir durumlardaki küçük farklılıklara dayanan yeni, kontrol edilemeyen durumları hayal etme yeteneğini ima eder. HRO'lar bunu ilkeler 1, 2 ve 3'e göre dikkate alır.

İlk üç ilke işlem ile ilgili iken, dördüncü ve beşinci ilke reaksiyona odaklanmaktadır. Alınan tüm önlemlere rağmen beklenmedik olaylar meydana gelirse, bu olayların sonuçlarının hafifletilmesi gerektiği açıktır. HRO'lar bunu ilkeler 4 ve 5'e göre dikkate alır.

Birinci İlke;

Bu ilke, HRO'ların arıza, hata, sapma, tutarsızlık vb. arayan çok aktif ve proaktif bir şekilde olduğuna dikkat çeker, çünkü bu fenomenlerin daha büyük sorunlara ve sistem arızalarına yükselebileceğini fark ederler. Bu hedefe tüm çalışanları (suçlama kültürü olmadan) hatalar, yanlışlar, başarısızlıklar, ramakkalaları vb. bildirmeye zorlayarak HRO'ların, herhangi bir olay veya kaza olmaksızın uzun bir sürenin, ve böylece daha az risk farkındalığına ve daha az kolektif farkındalığa yol açarak sonuçta kazalara yol

açabilir. Bu nedenle, HRO'lar bu tür bir rahatlığın her zaman önlendiğini titizlikle görüyorlar.

İkinci İlke;

İnsanlar veya kuruluşlar bilgi veya veri aldığında, bunu basitleştirme veya azaltma konusunda doğal bir eğilim vardır. Önemsiz veya alakasız olduğu düşünülen bilgilerin bir kısmı atlanmıştır. Açıkçası, ilgisiz olarak algılanabilecek bilgiler, olayları veya kazaları önlemek için aslında çok ilgili olabilir. Bu nedenle HRO'lar sahip oldukları bilgiyi farklı perspektiflerden ve her zaman sorgulayacaktır. Bu şekilde kuruluşlar algısı zor olan “kör noktalar” veya fenomenler keşfetmeye çalışırlar. Bu amaçla, bilgi toplamak için fazladan personel (insan yedekliliği türü olarak) kullanılır.

Üçüncü İlke;

HRO'lar gerçek zamanlı bilgilere sürekli dikkat göstermeye çalışır. Tüm çalışanlar (ön büro çalışanlarından üst yönetime kadar), yalnızca sorumlu oldukları süreç veya görev hakkında değil, tüm organizasyonel süreçler hakkında çok iyi bilgilendirilmelidir. Ayrıca, organizasyonel süreçlerin nasıl başarısız olabileceği ve bu başarısızlığın nasıl kontrol edileceği veya onarılacağı hakkında da bilgilendirilmelidir.

Bu amaçla, tüm çalışanlar arasında örgütsel bir güven kültürü mutlak bir zorunluluktur. Nicel verilerin, nitel bilgiden çok daha fazla takdir edildiği bir "mühendislik kültürü" den de kaçınılmalıdır. HRO'lar nitel ve nicel bilgiler arasında ayırım yapmaz.

HRO'lar ayrıca rutin işlemlere karşı hassastır. Rutinler, dikkatsizlik ve dikkat dağınıklığına yol açarken tehlikeli olabilir. İş rotasyonu ve/veya görev rotasyonunu akıllı bir şekilde kurulmalıdır.

Dahası, HRO'lar ramakkalaları ve olayları, öğrenme fırsatları olarak görür. Ramakkalalar ve karşılaşılan arızalar her zaman potansiyel (aksi takdirde gizli) tehlikeleri ortaya çıkarır, bu nedenle bu tür arızalar gelecekteki benzer nedenlerden kaynaklanan olaylardan kaçınma fırsatı sunar.

Dördüncü İlke;

HRO'lar esnekliği, bir sistemin iç ve dış değişikliklerinden bağımsız olarak işlevini ve yapısını koruma kapasitesi olarak tanımlar. Sistemin esnekliği, bazı sistem parçaları artık gerektiği gibi çalışmadığında bile çalışmaya devam etmesini sağlar. Bunu sağlamaya yönelik bir yaklaşım, çalışanların beklenmedik olaylar meydana geldiğinde kendilerini geçici ağlar halinde organize etmeleridir. Geçici ağlar, sorunları çözmek için gerekli uzmanlığı sağlayabilen geçici gayri resmi ağlar olarak kabul edilebilir. Sorunlar ortadan kalktığında veya çözüldüğünde, ađ ortadan kalkar.

Beşinci İlke;

Çoğu kuruluş, en azından bir dereceye kadar, hiyerarşik bir g yapısına sahip hiyerarşik bir yapı ile karakterizedir. Bu aynı zamanda HRO'lar için de geçerlidir. Ancak, HRO'larda, g yapısı artık belirli uzmanlığın gerekli olduğu beklenmedik durumlarda geçerli değildir. Karar süreci ve gücü, en yüksek hiyerarşiye sahip olanlardan (normal durumlarda), belirli konularda (istisnai durumlarda) en fazla uzmanlığa sahip olanlara aktarılır.

5.3.1.2. Yaklaşım 2 “Prosedür”

Güvenlik Yönetim Sistemi (Safety Management System – SMS)

Bir kimyasal tesisin Güvenlik Yönetim Sistemi (SMS), tesisin işletilmesinden kaynaklanan çeşitli riskler için güvenliği sağlamayı amaçlamaktadır. Etkili yönetim prosedürleri, tesisin, ürünlerinin ve insan kaynaklarının değerlendirilmesi ve yönetiminde sistematik ve proaktif bir yaklaşım benimser.

Dahili domino riskleri ile ilgili güvenliği artırmak için SMS, senaryo seçimi ve sürec seçimi, doğal emniyet ve sürec tasarımı, endüstriyel faaliyetlerin gerçekleştirilmesi, işletmeye alma, faydalı üretim ve hizmetten çıkarma işlemleri boyunca güvenlik özelliklerini göz önünde bulundurur. Endüstriyel faaliyetin güvenli çalışması için sağlanan araçların uygun şekilde tasarlanmasını, inşa edilmesini, test edilmesini, çalıştırılmasını, denetlenmesini ve bakımının yapılmasını ve sahada çalışan kişilerin (yükleniciler dahil) uygun şekilde bilgilendirilmesini garanti altına almak için düzenlemeler yapılır.

Kurumsal SMS oluşturmak için vazgeçilmez beş özellik aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Taraflar
- Politika — hedefler
- Yapılacak eylemlerin listesi
- Sistemin uygulanması
- Sistemin izlenmesi ve sürekli iyileştirilmesi.

Kaza önleme uygulamalarının özü emniyet verileri, tehlike incelemeleri, işletim prosedürleri ve eğitimden oluşur. Bu unsurların kuruluşta sürekli olarak uygulanan bir güvenlik yönetimi belgesine entegre edilmesi gerekmektedir. Uygulama verimliliği konularını geliştirmek için:

1. Güvenli çalışma uygulamaları

Güvenli çalışma uygulamalarının yapılmasını sağlayacak bir sistem kurulmalıdır. Bu yüzden iş faaliyetlerinin prosedürel ve idari kontrolü, kritik işletme adımları ve kritik parametreler, yeni ve değiştirilmiş tesis ekipmanı ve tesisleri için çalıştırma öncesi güvenlik incelemeleri ve tesis ekipmanı ve prosesleri için değişiklik prosedürlerinin yönetimi yoluyla bir organizasyon sağlanmalıdır.

2. Güvenlik eğitimi

Periyodik olarak eğitim oturumları düzenleme zorunluluğu, tesislerin, tesisatların ve tesisat ekipmanlarının sürekli değişen ortamından kaynaklanmaktadır. Her düzeydeki çalışanlar ve yükleniciler, güvenli ve güvenilir bir şekilde çalışmak için, organizasyonel görevlerin ve süreçlerin işletilmesi veya sürdürülmesi ile ilgili bilgi, beceri ve tutumlarla donatılmalıdır. Güvenlik eğitimi oturumları da herhangi bir olayın veya kazanın daha etkin bir şekilde ele alınmasını sağlamalıdır.

3. Grup toplantıları

Bir kuruluş, çalışanların sağlığı ve emniyeti ile ilgili tüm konuların iyileştirilmesi, geliştirilmesi ve gözden geçirilmesi amacıyla bir güvenlik grubu toplantısı kurmalıdır. Bu şekilde, yönetim, çalışanlar ve yükleniciler arasındaki iletişim ve işbirliği teşvik edilerek güvenlik konularının ele alınması ve güvenli bir çalışma ortamının sağlanması ve sürdürülmesi için uygun önlemler alınmaktadır.

4. Kurum içi güvenlik kurallarını gözetmek ve yönetmeliklere uymak

Güvenlik ve sağlık davranışlarını düzenlemek için kuruluştaki bir dizi temel güvenlik kuralı ve düzenlemesi oluşturulmalıdır. Kurallar ve düzenlemeler belgelendirilmeli ve terfi, eğitim veya diğer yollarla tüm çalışanlara ve yüklenicilere etkin bir şekilde iletilmeli ve tüm çalışanlar ve yükleniciler için kolayca erişilebilir hale getirilmelidir. Kuruluş içinde etkin bir şekilde uygulanmalı ve uygulanmalıdır. Şirket kuralları, yasal gerekliliklere uygun olmalı ve yasal olmayan kurallar uluslararası standartlara ve en iyi uygulamalara uygun olmalıdır.

5. Güvenlik teşviki

Organizasyonun iyi emniyet ve sağlık davranış ve uygulamalarını destekleme konusundaki yönetim taahhüdünü ve liderliğini göstermek için tanıtım programları geliştirilmeli ve yürütülmelidir.

6. Yüklenici ve çalışan değerlendirilmesi, seçimi ve kontrolü

Kuruluş, sadece yetkili ve kalifiye yüklenicilerin seçildiğini ve sözleşmeli işleri yapmasına izin verildiğini garanti etmek için yüklenicilerin değerlendirilmesi ve değerlendirilmesi için bir sistem oluşturmalı ve belgelemelidir. Bu şekilde, dış yönetim altındaki, ancak kuruluş içinde çalışan personel, şirket içi yönetilen personel ile aynı şekilde (emniyet konularında) geliştirilir, değerlendirilir ve ödüllendirilir.

7. Emniyet denetimi, izleme ve denetleme

Kuruluşun resmi ve planlı emniyet denetimlerinin gerçekleştirilmesi için yazılı bir program geliştirmesi ve uygulaması gerekmektedir. Program emniyet denetimlerini, tesis ve ekipman denetimlerini, diğer denetimleri (sürpriz denetimler dahil) içermelidir. Bu şekilde, ilgili yasal gerekliliklere, şirket içi güvenlik kurallarına ve düzenlemelerine ve emniyetli çalışma uygulamalarına uygunluğu doğrulayan bir sistem kurulur.

8. Bakım programı

Kritik tesis ekipmanlarının mekanik bütünlüğünü sağlamak için bir bakım programı oluşturulmalıdır. Aslında, bu ekipmanların arızalanmasını önlemek ve güvenli olmayan durumları önlemek için, kuruluştaki kullanılan tüm makine ve ekipmanların her zaman bakımı yapılmalıdır.

9. Tehlike analizi ve olay araştırması ve analizi

Kuruluştaki tüm tehlikelerin metodik olarak tanımlanması, değerlendirilmesi ve kontrol edilmesi gerekir. Tehlike analizi süreci ayrıntılı olarak belgelenmelidir.

Tüm olayların ve kazaların (yükleniciler tarafından olanlar dahil) düzgün bir şekilde raporlanmasını ve kaydedilmesini sağlamak için yazılı prosedürler oluşturulmalıdır. Ayrıca, temel nedenleri belirlemek ve tekrarı önlemek için etkili düzeltici önlemler veya sistemler uygulamak amacıyla olay ve kaza araştırması ve analizi prosedürleri oluşturulmalıdır.

10. Tehlikeli maddelerin hareketinin ve kullanımının kontrolü

Tehlikeli kimyasalların uygun kullanımı, depolanması, işlenmesi ve taşınması için malzeme güvenlik formları ve prosedürleri sağlayarak tüm tehlikeli malları tanımlamak ve yönetmek için bir sistem kurulmalıdır. Kuruluştaki tehlikeli malların depolanması, kullanılması, taşınması ve taşınması ile ilgili tüm güncel bilgilerin emniyet ve sağlık departmanına ulaşmasını sağlamak için, sürekli olarak ayarlanmış bir bilgi veritabanı oluşturulmalıdır.

11. Dokümantasyon kontrolü ve kayıtları

Bir kuruluş, tüm dokümantasyon gereksinimlerini entegre etmek ve bunlara uyulmasını sağlamak için merkezi bir dokümantasyon kontrol ve kayıt sistemi kurmalıdır.

İş Sürekliliği Planlaması (Business Continuity Planning-BSP)

Etkili iş sürekliliği planlaması (BCP), alınan tüm önlemlere rağmen, bir domino etkisinin ortaya çıkması durumunda önemlidir. Kurumsal faaliyet olarak BCP, ticari karlar ve/veya süreklilik dış veya iç potansiyel olarak tahrip edici olaylarla tehdit edildiğinde kurumsal hayatta kalma ve ekonomik uygulanabilirliği sağlama temel stratejik hedeflerine sahiptir.

Üç özellik, bir domino kazasını bir iş kazasından veya aşağıdakilere dayanan herhangi bir tip I olaydan ayırmak olarak ifade edilebilir:

- Sürpriz - Domino etkinlikleri herkesin beklentilerinin ötesinde bir zamanda veya yoğunlukta gelir.
- Tehdit — Tüm domino olayları, kuruluşların karşılaştığı tipik sorunların ötesine geçen tehdit edici koşullar yaratır.
- Kısa tepki süresi — Domino olaylarının tehdit edici doğası, bunların hızlı bir şekilde ele alınması gerektiği anlamına gelir.

Bu nedenle, yeterli BCP, iç domino etkilerini yönetmenin önemli bir yönüdür. BCP'nin ana sözcüğü olan tahmin;

- bilinen felaket senaryolarını da entegre ederek şirketteki farklı senaryoları hayal etmek ve incelemek
- kriz anı olarak bilinen, an geldiğinde kendini “düşünme” ve “hareket etme” ile donatmak
- asgari işleyen lojistik ve prosedürleri hazırlamak
- kriz iletişimini arabuluculuk durumunda ağırlaştırıcı bir faktör eklemeyecek şekilde hazırlamak
- doğru insanları önceden tanımlamak

Bir domino etkinliğinin öngörülmesi ve hazırlanması aşağıdaki soruları yanıtlıyor olmalıdır;

- Öngörülemeyen bir felaketle nasıl başa çıkılır ve nasıl örgütlenilir?
- Hangi kriz yönetim şekli oluşturulmalıdır?
- Hangi ortak çalışanlar dahil edilmelidir? Ne atfedilmeli ve sorumlulukları ne olmalıdır?
- Hangi ulaşım planlanmalıdır?
- Hangi kriz iletişimi kurulmalıdır?
- Kriz etkisini azaltmak ve faaliyetlerin yeniden başlatılmasına devam etmek için hangi prosedürler ve hangi operasyon uygulanmalıdır?

Domino Etkileri için Tehlike ve Çalışabilirlik Analizi (HAZOP)

Kimya endüstrisinde, risk analizi metodolojilerinin kullanımında güçlü bir çeşitlenme tespit edilebilir. Kimyasal bir işlemde tehlike tanımlaması için en popüler iki teknik Tehlike ve Çalışabilirlik (Hazop) analizi ve What-if analizidir. Emniyet danışmanları, sistematik ve analitik, nitel ve mükemmel bir geçmişe sahip oldukları için bu teknikleri tercih ederler.

Hazop prosedürü ve What-if prosedürü domino tehlikelerini araştırmak için uyarlanabilir. Hazop kullanıcıları “kılavuz kelimeler” deniyor. Orijinal rehber kelime tabanlı Hazop yaklaşımı 1970'lerin ortalarında ICI Chemicals tarafından geliştirilmiştir. ICI yaklaşımında, her kılavuz kelime ilgili işlem parametreleriyle birleştirilir ve incelenmekte olan süreçte her noktaya (çalışma düğümü, süreç bölümü veya işletim adımı) uygulanır.

Yıllar boyunca birçok kuruluş Hazop analiz tekniğini özel ihtiyaçlarına göre değiştirmiştir. Bu çeşitli sektöre, şirkete veya tesise özgü yaklaşımlar, amaçlandıkları uygulamalarda oldukça uygun olabilir. Örneğin, ekipleri belirli işlem güvenliği alanlarına daha hızlı yönlendirmek için, orijinal kılavuz sözcükler ve orijinal işlem parametreleri değiştirildi ve özel kılavuz sözcük listeleri oluşturuldu. Tesis dışı tehlikeleri araştırmak için domino etkilerine özgü rehber kelimeler ve parametreler geliştirilebilir ve kullanılabilir.

Domino kazalarının artmasının üç farklı etkiye bağlı olarak gerçekleşebileceğini önermektedir: aşırı basınç, radyasyon ve şarapnel etkisi. Domino etkileri göz önüne alındığında, literatür yedi farklı kaza senaryosu arasında da bir ayrım yapmaktadır. Bu özel saha dışı verilere dayanarak, kılavuz kelimeler ve domino parametreleri tablolarındaki gibi listelenebilir.

Domino Hazop parametreleri, dikkati bir domino kaza senaryosuna yönelik tasarım amacının belirli bir sonuç yönüne odaklar. Domino Hazop kılavuz kelimeleri, domino Hazop parametreleriyle birleştirildiğinde, söz konusu işlem noktasında olası bir domino etkileri senaryosuna yol açabilecek olası sapmaları önerir. Aşağıdaki örnek, domino kılavuz kelimeleri ve domino parametrelerini kullanarak domino sapmalarının araştırılmasına örnek gösterilebilir;

Tablo 6: Domino Hazop analiz rehberi kelimeler ve anlamları

Domino Hazop Analiz Rehberi Kelimeler ve Anlamları

Domino Rehber Kelimeler	Anlamı
Aşırı basınç etkisi (patlama vb.)	İkincil (kaza etkisini arttırma) etkilere neden olan aşırı basınç etkileri olasılığı
Radyasyon etkisi (yangın vb.)	İkincil (kaza etkisini arttırma) etkilere neden olan radyasyon etkileri olasılığı
Şarapnel etkisi	İkincil (kaza etkisini arttırma) etkilere neden olan şarapnel etkileri olasılığı

Tablo 7: Domino Hazop analiz parametreleri

Domino Hazop Analiz Parametreleri
Kaynar sıvı genişleyen buhar patlaması (BLEVE)
Buhar bulu patlaması (VCE), engelli ve/veya engelsiz
Havuz yangını
Jet ateşi
Tank yangını
Taşmak
Patlama

Tablo 8: Domino Hazop çalışması

Domino Hazop Rehber Kelime	Domino Hazop Parametreleri	Sapma
Şarapnel etkisi	+ BLEVE	= Bu işlem noktası üzerindeki şarapnel etkileri, muhtemelen (ikincil) bir BLEVE ile sonuçlanan sapmalara neden olabilir.
Radyasyon etkisi	+ VCE	= Bu işlem noktası üzerindeki radyasyon etkileri, muhtemelen (ikincil) bir VCE ile sonuçlanan bozulmalara neden olabilir.
Aşırı basınç etkisi	+ Havuz Yangını	= Bu işlem noktası üzerindeki aşırı basınç etkileri, muhtemelen (ikincil) bir havuz yangınına neden olan bozulmalara neden olabilir.

5.3.1.3. Yaklaşım 3 “Teknoloji”

Özellikle domino olaylarını ele alan teknoloji, diğerlerinin yanı sıra domino yazılımına da aktarır. Karmaşık endüstriyel alanlarda domino kazalarını incelemek ve üst düzey kazalarla potansiyel domino felaketlerini tahmin etmek için çok az yazılım paketi

vardır. Pek çok domino yazılımları çoğunlukla risk değerlendirmesi ve sonuç değerlendirmesine odaklanmaktadır.

Domino etkilerini yönetmek, domino etkilerini önlemek veya etkilerini azaltmak için kimya ve proses endüstrilerinde uygulanabilecek olası önlemleri göstermektedir. Bu nedenle, bu önlemler ilk olayı önlemez veya bir başlangıç olayının sonuçlarını azaltmaz, ancak olası domino etkisini etkiler.

5.3.2. Harici Domino Etkilerini Yönetim

Dış domino etkilerinin bu tür kazaların teknik meseleleri ile ilgili iç domino etkileri ile karşılaştırılabilir olmasına rağmen, önceki bölümde açıklananla aynı şekilde veya aynı yaklaşımla yönetilemezler. İç domino etkileri ve dış domino etkileri gerçekten farklı durumsal bağlamları temsil eder. Domino etkilerini çok uluslu bir bağlamda yönetmek, iç domino etkilerini yönetmekten çok daha fazla anlaşma, işbirliği, ince ayar ve dikkat gerektirir. Risk yönetimi modelindeki üç yaklaşımın (İnsan, Prosedür ve Teknoloji) çok tesisli bir bağlama nasıl uyarlanabileceği bu bölümde açıklanmakta ve detaylandırılmaktadır.

5.3.2.1. Yaklaşım 1 “İnsan”

Farklı Komşu Tesislerden İnsanların Grup Halinde Hareketi

Günümüzde bir kimya şirketi olarak, büyük kazaların risklerini tespit etmek için güvenlik çalışmaları yürüttüğü açıktır. Gerçekten de, bu risklerin sadece şirket içindeki insanları değil, çevre komşu şirketlerdeki insanları ve aynı zamanda sakinleri de tehdit ettiği bir gerçektir. Komşu şirketler genellikle kendilerini korumak için ortalama nüfustan daha fazla kaynağa sahiptir. Ancak bu otomatik olarak kaynaklarını gerektiğinde etkin ve anında uygulayabilecekleri anlamına gelmez.

Bir kriz durumu meydana geldiğinde, kararların çoğu genellikle ilk saatten sonrasına kadar ve acil servisler tarafından alınır. Çok iyi niyetli, ama açık ara çok geç. Gaz bulutları, basınç ve radyasyon etkileri olay anında beklemez. 1985 yılında “Responsible Care” düşüncesi geliştirildi. Bu düşüncede şirketler “büyük kazaların” etkilerini en aza indirmekle yükümlüdürler. Bu, şirketlerin herhangi bir makam

tarafından alınan önlemlere uymak yerine sorumluluk almaları için yeterli bir motivasyon olmalıdır.

Domino etkilerini kalıcı olarak değiştirebilmek için bu yaklaşımın gerekli olduğunu anlamak için yeterli sorumluluğu ve bilgisi olan emniyet, sağlık ve çevre departmanında çalışan insanların bir grup oluşturmasını gerektirmektedir. Güvenlik grubunun deneyimine dayanarak, farklı kimya şirketlerinden insanları dış domino etkilerinin önlenmesi konusunda işbirliği yapmaya çalışmak domino etkilerinin tespiti için önemlidir.

Tablo 9 : Olası domino etkileriyle mücadelede, önleme ve koruma önlemleri

Hasar Önleme	Tasarım ve Kontrol	Tedbir
Hasar önleme	Tasarım ekipman layout	Doğru malzeme seçimi. Ekipmanın basınç dayanımı. Mekanik aşırı basınç koruması, patlama diskleri, basınç emniyet valfleri ve boşaltma tankları. Korozyon direnci. Borular için destek ekipmanları. Havalandırma boyutlandırma. Doğal güvenlik tasarımı (bazı ekipman arızalarını tolere edebilir). Acil durdurma düğmeleri. Alev tutucular
Hasar önleme	Tasarım yangın önleme	Termal korumalar. Ayırarak koruma. Yanıcı olmayan malzemelerin kullanımı. Yanmaz contalar ve valfler (muhafaza). Kararsız ürünlerden kaçınma. Taş yünü gibi maddeler Gaz dedektörleri. Duman dedektörleri. Kalıcı kaçak tespit sistemi denetim programına dahil edilmiştir. Radyasyon kalkanları. Basınç kalkanları ve patlama filmleri.
Hasar önleme	Tasarım proses kontrol	Emniyet bütünlük seviyeleri ve yedeklilik. Önleyici bakım günlüğü ve araştırmaları. Otomatik izleme ve sürekli izleme.

		<p>Güvenlik çalışmaları kurulumu ve ürünü: Hazop, What-if, Swift.</p> <p>Olaylar / tehlikeli durumlar / ramakkala, günlük tutma ve soruşturmalar.</p> <p>Uzaktan kumanda ile kurulumların yönlendirilmesi.</p> <p>Bağımsız kilitlerin montajı.</p> <p>Enstrümantal korumalar.</p> <p>(Depolama) tankındaki anormal seviye değişimlerinde alarm. Miktarlar normalden daha büyükse ürün transferini durduma.</p>
Hasar sınırlama veya önleme	Tasarım patlama ile ilişkili	<p>Patlama kapakları.</p> <p>Acil durum soğutma sistemleri</p>
Hasar önleme	Tasarım yayılım ile ilgili	<p>Yanıcı sıvıların önlenmesi.</p> <p>Köpük battaniyeler ile kaplama.</p> <p>Cebri havalandırma.</p> <p>Ateşleme kaynaklarından ve topraklamadan kaçının.</p> <p>Azot örtüsü.</p> <p>Kendinden güvenli</p>
Hasar sınırlama	Tasarım	<p>Demet duvarları ürünü / ateşi diğer tanklardan uzak tutar.</p> <p>Eğimli yangın hendekleri yangını kontrol altında tutar ve diğer tanklardan / ekipmanlardan uzak tutar.</p> <p>Yanıcı ürünlerin kanalizasyon yoluyla yayılmasını önleyin.</p> <p>İçeriği serbest bırakın. Güvenli fırçalama için gaz salınımlarını içeride tutun.</p> <p>Sızıntıyı önlemek için Dubbel duvar tankları ve boruları.</p> <p>Güvenlik bağlantıları (bir ürün için benzersiz).</p>
Hasar sınırlama	Tasarım bölmelere ayırma	<p>Acil durdurma. Derhal durun ve güvenli bir konuma gidin.</p> <p>Koparma bağlantısı, geçici bağlantının ayrılması durumunda dökülmeleri önler.</p> <p>Otomatik bölme ile birlikte kısıtlama kaybının tespiti. Muhafaza kaybı olduğunda sadece küçük hacmin kaybolduğu daha küçük hacimli bölümlere bölün.</p> <p>Çek valfler. Sonuç olarak ürünün istenmeyen bir etkiyle geri dönmesini durdurun.</p>

		Yangınla çalışan vanalar. Yangının valfi açık tutan bir maddeyi eritmesi durumunda yaylı valf kapanır.
Hasar sınırlama	Tasarım yangın hasarını sınırlama	Köpük katkılı veya katkısız otomatik fiskiyeler. Ateşe dayanıklı malzemeler. Yangın geciktirici malzemeler. Yangına dayanıklı yapı sprinkleri. Algılama veya diğer algılama sistemleri olarak sprinkler başlıkları ile otomatik veya yarı otomatik su basmaları. Elektrik tesisatı için yangından korunma.
Hasar sınırlama ve/veya önleme	Tasarım tahliye için sığınak	Basınç dalgalarına karşı alan koruması. Toksik gazlara (hava geçirmez), manuel veya (yarı) otomatik sisteme karşı alan koruması. Radyasyona karşı alan koruması. Halen aktif bölgelerdeki personel olanaklarının azalması. Hava kalitesi girişi hakkında alarm.

Çoklu Tesis Kurulu (The Multi-Plant Council – MPC)

Gizlilik konularının üstesinden gelmek için, modeli kimyasal bir organize sanayi bölgesinde uygulamak üzere bölge konseyi veya çoklu tesis kurulu (MPC) adı verilen bağımsız bir üst organı olmalıdır. MPC iki kısma ayrılmalı ilk bölüm, esas olarak bir danışmanlık fonksiyonuna sahip olan ve beyin fırtınası oturumlarının bir sonucu olarak önerileri formüle eden tesis temsilcilerinden oluşmaktadır. İkinci bölüm, bölgede kimyasal tesislerden tüm ilgili ve gizli risk bilgilerinin toplanmasından, değerlendirilmesinden ve analiz edilmesinden sorumlu bağımsız ve harici danışmanlardan oluşur. MPC'yi iki bölüme ayırarak gizlilik ve veri bilgileri arasında bir denge kurulması hedeflenir.

MPC'nin 1. bölümü tesis emniyet temsilcileri ve tesis güvenliği temsilcilerinden oluşmaktadır. Ortak düşünce kuruluşu beyin fırtınası ve iletişim oturumlarının bir sonucu olarak emniyet ve güvenlik önerilerini formüle eden tipik bir danışmanlık işlevine sahiptir. MPC'nin diğer kısmı olan MPC veri yönetimi, bölgenin farklı tesislerinden toplanan gerekli (gizli) emniyet ve güvenlikle ilgili tüm bilgilerin yönetiminden sorumlu bağımsız danışmanlardan (yani tarafsız bilgili personel) oluşur.

Emniyet Grubu Girişiminin Kapsamı

Emniyet grubu işbirliği en azından aşağıdakileri kapsamalıdır:

- olaylarla ilgili bilgi paylaşımı;
- karşılıklı yardım;
- süreç güvenliği yönetimi ile ilgili konulara yaklaşım;
- denetimlerden eylem noktaları ve nasıl uyulacağı;
- üçüncü taraflarla çalışmak;
- çok tesisli acil durum planlama matrisinin hazırlanması.

5.3.2.2. Yaklaşım 2 “Prosedür”

Çoklu tesis Emniyet Yönetim Sistemi (Multi-Plant Safety Management System-SMS)

Tek başına tesis emniyet yönetimi daha öncesinde bahsedilmişti. Harici yönetim sistemi kurulduğunda ise tesis dışındaki diğer komşu tesisleri de ilgilendiren bir durum olduğu için çoklu tesis emniyet yönetim sistemi (multi-plant safety management system-SMS) kurulmalıdır.

1. Çok tesisli güvenli çalışma uygulamaları

Farklı tesislerde kullanılan iş uygulamaları konusunda aşamalı bir anlaşma sağlanmalıdır. Bunu başararak, en iyi iş uygulamaları mümkün olan her yerde adım adım standardize edilir, faydalı ve uygulanabilir ve bunların etkinliği, organizasyonun bir parçasını oluşturan tesisler geçmiş deneyimlerin değerlendirilmesi ile sürekli olarak optimize edilir.

2. Çok tesisli emniyet eğitimi

Periyodik olarak organize grupların eğitim oturumları düzenleme zorunluluğu, alt katman düzeyinde ve üst katman düzeyinde organize bölge çevresinin sürekli değişen ortamından kaynaklanmaktadır. Tehlikeli bir ortamda çalışanlar, yakındaki tesislerdeki meslektaşları ile birlikte eğitilir. Bu tür grup emniyeti eğitim oturumları, doğru bir şekilde nasıl hareket edileceğine dair toplu bir bilgi birikimi nedeniyle devam eden bir domino kazasının daha verimli bir şekilde ele alınmasını sağlamalıdır. Bu eğitim oturumlarının organizasyonunun koordine edilmesi, çoklu tesis kurulu sorumluluklarına aittir.

Koşullara ve konulara bağlı olarak, farklı tesislerden çalışanlar ayrı ayrı veya ortaklaşa eğitilir. Eğitim programları, çoklu tesis kurulu tarafından periyodik olarak gözden geçirilir. Bu görüşe göre, her şirket operasyonel prosedürlerde yapılan değişiklikleri rapor eder.

3. Çok Tesisli grup toplantıları

MPC grup toplantıları düzenlemekten sorumludur. Toplantılarda sorunsuz bir prosedür elde etmek için, her tesis önce ilgili tesis çalışanlarının davet edildiği grup

emniyeti konularında bir iç toplantısı düzenleyebilir. Daha sonra, bir tesis temsilcisi, tesisin kendi bakış açısını bildirmek üzere organize bölge grubu toplantısına devredilebilir.

4. Çoklu tesis içi emniyet kurallarına uymak ve yönetmeliklere uymak

Şirket içi güvenlik kuralları, komşu bir şirketin neden olduğu bir domino kazası olasılığını dikkate alır. Ayrıca, Avrupa Seveso-III Direktifi üst düzey kimya şirketleri için bir yükümlülük listesi içerir:

- Potansiyel olarak bir domino kazasına neden olabilecek her şirket, böyle bir riskle ilgili olarak dış şirketlerle bilgi alışverişi yapma yükümlülüğüne sahiptir.
- Değiştirilen veriler, acil durum planı oluşturmak, bir güvenlik raporu oluşturmak ve büyük kazaların önlenmesi ve kontrolüne ilişkin bir güvenlik politikası oluşturmak için kullanılmalıdır.
- Domino riskleri ile ilgili bir iç acil durum planı ve bir acil durum planı hazırlanmalıdır.

5. Çok tesis güvenliği reklamı

Güvenlik eğitimi ve tesis grubu toplantıları, çalışanların tehlikeli tesisler ve domino riskleri konusunda farkındalığını artırmak için mükemmel araçlardır. Ancak, organize bölge güvenliğinin önemi hakkında sürekli bir farkındalık yaratmak için, işaretler ve posterler gibi diğer araçlar, bazı kurulum ve maddelerin şirketler arası tehlikesini gösterecektir.

6. Çok tesisli yüklenici ve çalışan değerlendirme, seçimi ve kontrolü

Katılımcı şirketler, aynı temel güvenlik performans göstergelerine dayalı olarak eşdeğer bir yüklenici değerlendirme sistemi oluşturur. Bu şekilde, dış yönetim altındaki, ancak kimyasal organize bölgeye ait farklı tesislerde çalışan personel, dahili olarak yönetilen personel ile aynı şekilde (güvenlik konuları ile ilgili) muamele edilir, değerlendirilir ve ödüllendirilir.

7. Çok tesisli emniyet denetimi, izleme ve denetleme

MPC, organize bölge emniyet denetimi ve organize bölge güvenliği denetiminden sorumludur. İlk olarak, kurul tesisin organize bölge emniyeti düzenlemelerine (örneğin

domino kazalarının önlenmesi ile ilgili) uygunluğunu izler. İkincisi, kurul her bir tesisin emniyet teftiş programlarının (tesisin SMS'sinde açıklanan) etkinliğini denetler.

8. Çok tesisli bakım programları

Bir tesis bakım programı, büyük olayların önlenmesinde önemli bir rol oynar. Bu nedenle, bu tür tesis programları MPC tarafından düzenli olarak gözden geçirilmekte ve kurul tarafından deneyime dayalı öneriler yapılmalıdır.

9. Çok tesisli tehlike analizi

Şirketler arası bir tehlike analizi yapmak için, MPC'nin farklı katılımcı şirketlerden gelen tüm ilgili bilgilere erişebilmesi hayati önem taşımaktadır. MPC'ye (veri yönetimi) tehlikeli kimyasal madde güvenlik bilgi formları, tehlikeli kimyasalların yeri vs. gibi bilgiler verilmelidir. Bu gizli verilere dayanarak, organize bölge domino tehlike analizleri bağımsız ve sertifikalı bir kuruluş tarafından yürütülebilir. MPC ayrıca, sağlık (kamu sağlığı dahil) ve çevre ile ilgili belirlenmiş senaryoların sonuçları hakkında kamu ve kamu yetkilileri gibi diğer paydaşları bilgilendirir. Analizin sonuçları, ilgili farklı şirketlerin güvenlik yöneticileriyle yapılan grup toplantılarında tartışılmaktadır. Gerekirse, bu yöneticiler daha sonra ilgili tüm taraflara açıkça iletiildiğinden emin olmak için bilgileri kendi çalışanlarına aktarmalıdır.

10. Çok tesisli tehlikeli kimyasalların kullanımı ve taşınması

Organize bölgedeki tehlikeli kimyasalların kullanımı, taşınması ve transferi ile ilgili tüm bilgilerin etkilenen şirketlere ulaşmasını sağlamak için, tüm komşu tesisler için gizli olmayan bilgiler içeren sürekli ayarlanan bir veri tabanına erişilebilir olmalıdır. Veri tabanı örneğin farklı tesisler tarafından paylaşılan bir bilgi ağında yer alır, böylece her şirket tehlikeli kimyasal değişiklikler yapabilirken, organize bölgeye ait diğer tesislerin güvenlik yöneticileri gerçek zamanlı olarak bilgilendirilir.

11. Çok tesisli dokümantasyon kontrolü ve kayıtları

Tüm şirketlerin aynı büyük kaza önleme bilgi birikimine sahip olmasını sağlamak için, MPC tarafından potansiyel olmayan (teorik ve deneyimli) olaylar ve olası diğer tesisleri etkileyebilecek kazalar hakkında bireysel tesis düzeyindeki gizli emniyet bilgilerinin yanı sıra gizli güvenlik bilgilerini toplamak için yönetilen merkezi bir veritabanı organize bölge için çok faydalı olabilir.

Dış Domino Etkilerinin Önleme Yönetimi

Tesisler arası yönetim esasen tek şirket yönetiminden yöneticilere sunulan bilgi miktarından farklıdır. Başka bir sorun da farklı organizasyonel bakış açılarının birleştirilmesi gerektiğidir. Her bir yönetim veya perspektif olayları ve eylemleri yorumlamanın farklı bir yolunu sunar ve her biri, stratejilerin seçimi ve etkili yönetime yaklaşımın sonuçlarıyla farklı bir odak anlamına gelir.

Bu nedenle, bu bakış açılarını bir araya getirmek kolay bir görev değildir. İlgili taraflar arasında iletişim problemleri veya yanlış anlaşılmalarda olmamalıdır. Bu nedenle, farklı tesislerden sorumlu personelin aynı bilgi birikimiyle, aynı seviyede ve aynı güvenlik konularında iletişim kurduğundan emin olmak için bir emniyet riski yönetimi stratejisi geliştirilmelidir. İletişim çatışmalarının en aza indirildiği bir durum sağlamak için, risk analizi prosedürlerinin ve sonuçlarının araştırmayla ilgili farklı uzmanlar tarafından anlaşılması gerekmektedir. Bu, “aynı risk analizi dilini konuşarak” ve böylece organize bölgedeki belirli büyük riskler için bir risk analizi tekniği kullanılarak elde edilebilir.

Proses endüstrilerindeki en popüler ve en yaygın kullanılan üç risk değerlendirme tekniği olan Hazop analizini, What-if analizini ve risk matrisini tek bir çerçevede birleştirmek, komşu çalışanların süreç tehlike analizi performanslarının tartışılmasını optimize etmek için bir araç oluşturulmasını sağlar.

Çok Tesisli Acil Durum Planlama Matrisi

Çok tesisli bir acil durum planlama matrisi hazırlamanın amacı, organize bölge içindeki şirketlerin önceden hazırlanmış bir felaket nedeniyle nasıl tepki vermesi gerektiğine dair bir genel bakış oluşturmaktır. Deneyimlerin karmaşık kuralların genellikle başarısız olduğunu gösterdiğinden, önlemlerin kolayca yürütülmesi beklenmelidir. Ayrıca, matrisin bir sonucu olarak yapılan uygulamalar ve işlemler, matris basitliği ile garanti edilmektedir.

Acil durum planlama matrisinin amacı, toplumun acil durum hizmetleri faaliyete geçmeden önce, bir kazanın veya bir kriz durumunun erken aşamalarındaki hasarı sınırlamaktır.

Her şirket, ilgili sorunların ve komşu şirketlerin sorunlarının bilinirliğini ve tanınmasını artırmak amacıyla, organize bölgeye ait diğer şirketlere “büyük kaza riskleri” hakkında genel bir bakış sunmaktadır.

Acil durum planlama kurallarının ve mevzuatının yetkililer tarafından yorumlanmasına ilişkin bir açıklama yapılır ve ayrıca topluluk acil durum hizmetlerinin somut çalışması organize bölgenin tüm üyelerine sunulur.

Daha sonra, acil durum planlama matrisinin “yerleşim” taslağı hazırlanır ve kaza etki seviyeleri için kriterler belirlenir.

Tüm verileri tek bir genel bakışta sunmak için düşük eşikli erişim (örneğin Excel) nedeniyle kullanıcı dostu ve yaygın olarak kullanılan bir program kullanılmalıdır. Organize bölgedeki her şirketin farklı büyük kaza senaryoları daha sonra Y eksenine yerleştirilir. Diğer kimyasal olmayan şirketler de dahil olmak üzere büyük kaza senaryolarından muhtemelen etkilenen şirketler matrisin X eksenine yerleştirilir. Etki ve etki seviyesi daha sonra koordinat ekseninde bulunabilir. Etki düzeyi ve bir şirket tarafından bu seviyeye dayalı olarak yapılması gereken adımlar, organize bölge üyeleri arasında doğru tanımlarla mutabakata varılarak ayrıca belirlenir. Örnek tablo aşağıda paylaşılmıştır.

Tablo 10 : Acil durum planlama matrisi örneği

Şiddet	A	Çok şiddetli	Organize bölge dışında >>>Seviye 1
	B	Şiddetli	Organize bölge içinde >>>Seviye 2
	C	Önemli	Tesis içinde >>>Seviye 3
	Seviye 3*	Bilgilendirme “bildirim tipi alarm”	Etkilenen şirketler için herhangi bir işlem yapılması gerekmez.
	Seviye 3	Ön alarm “bildirim tipi alarm”	Etkilenen şirketler, kazanın meydana geldiği ve kendi durumunun değerlendirildiği şirket tarafından teyakkuz halinde olur.
	Seviye 2	Alarm “içeride kal”	Etkilenen şirketler pencereleri, kapıları ve havalandırma sistemlerinin kapatır.
	Seviye 1	Alarm “sığınağa git”	Sığınak = kontrol altında havalandırma, sağlık ve temizlik durumları kontrol altında tutulur.
	Seviye 0	Alarm “bölge tahliyesi”	Bölgesel acil durum hizmetlerinin liderliği kararlar alınır.

Organize bölge üyeleri arasındaki işbirliği hedefine ulaşmak ve acil durum planlama matrisini bitirmek için, bir şirket diğer şirketlere potansiyel etkilerini (büyük kaza senaryolarına dayalı olarak) sağlayarak ve örneği dağıtarak iyi bir örnek oluşturmalıdır. . Bunu yapabilmek için, bir risk yöneticisi veya önleme danışmanı mümkün olduğunca iç destek almalıdır. Şirketlerden biri bir matris taslağını başlattığında, diğer şirketlerin konuyu takip etmesi muhtemeldir.

Her şirketin büyük kaza etkilerini benzer şekilde hesaplaması önemlidir. Bu nedenle, belirli bir maddenin etki mesafelerinin şirketten şirkete değişip değişmeyeceğini ve eğer öyleyse, anlayışını kontrol ederek çapraz diyagonal bir kontrol yapılmalıdır. Hesaplamalardaki farklılıklar, örneğin depolanan miktarlar, kurulumun düzeni, işlem koşulları, uygulanan önleme önlemleri ve alınan zarar azaltma önlemlerinden kaynaklanabilir.

Ayrıca, iyileştirmeye uygun önleyici ve koruyucu önlemlerin tanımlanması ve eksikliklerin mümkün olan her yerde düzeltilmesi gerekmektedir. Bununla ilgili olarak, örneğin acil durumlarda diğer şirketlere sığınak sunan şirketler, potansiyel müdahaleler sağlanır, potansiyel ortak müdahaleler yapılır, hızlı ve kolay uyarı / iletişim sistemi eksikliklerin giderilmesi için şirketler arası karşılıklı yardım olanakları araştırılır.

Dış domino etkileri ile ilgili olarak, dış domino etkileri tanımının organize bölgenin tüm üyeleri tarafından anlaşılması çok önemlidir. Aksi takdirde, nihai modeli olumsuz yönde etkileyecek tutarsızlıklar meydana gelebilir. Harici domino etkilerini önlemek veya durdurmak için tedbirlerin organize bölge üyeleri tarafından formüle edilmesi ve uygulanması gerekir.

Komşu şirketleri olası büyük bir kaza hakkında bilgilendirmek için basit bir yöntem de getirilmelidir. Örnek olarak, organize bölgeye katılan şirketler tarafından (dahil olan herhangi bir tehlikeli madde olmasa da) bir yangının, organize bölgenin diğer üyelerine, açıkça görülebilen veya görünmeyen bir etki olduğu andan itibaren bildirilmelidir. Bu tür "uyarı bildirim" potansiyel olarak etkilenen şirketlere tavsiye olarak kabul edilir.

Çok tesisli bir acil durum planlama matrisi hazırlamak için aşağıdaki aşamalı yaklaşım önerilmektedir:

- Amaçları tartışın ve belirleyin.
- Çalışma yöntemlerini ve toplantı anlarını ayarlayın.
- Her şirket “büyük kaza tehlikeleri” nin bir incelemesini sunar.
- Yasal çerçeveyi analiz eder. Sunum.
- Bir yaklaşım planını tartışın.
- Acil durum planlama matrisi için bir teklif oluşturun ve işlevlerini tartışın.
- Olası kazaların ciddiyetini ve düzeylerle ilişkisini tanımlamak
- Tüm şirketler bilgilerini bir girişimci ile başlayan acil durum planlama matrisine koyarlar.
- Tüm verileri işleyin ve genel bir bakışta görselleştirin.
- Tutarlı bir içeriği garanti etmek için verilerin çapraz diyagonal kontrolü.
- Önleyici ve koruyucu önlemlerin eksikliklerini ortadan kaldırmak için karşılıklı yardım olanaklarını tartışın.
- Harici bir domino etkisinin tanımını oluşturun ve üzerinde anlaşın.
- Dış domino etkilerini tespit etmek için bir yöntem geliştirin.
- Harici domino etkilerini önlemek veya durdurmak için önlemler belirleyin.

5.3.2.3. Yaklaşım 3 “Teknoloji”

Mevcut büyük kaza yazılımı genellikle harici domino etkileriyle ilgili risk analizlerinin nerede yapılacağını belirlemek için kurumların objektif bir sıralamasını kolaylaştırmaz. Bununla birlikte, bir kimyasal sanayi bölgesini domino etkilerinin mümkün olmadığı daha küçük alt alanlara bölmek, harici domino güvenliği ve güvenlik riski etkilerini azaltmak için olası bir tekniktir.

Çok tesisli bir kimyasal endüstriyel çevrede önleme tedbirleri almak için karar sürecini optimize etmek tehlikenin ölçülmesini gerektirir. Mevcut veriler kullanıcı dostu ve nesnel güvenlik ve güvenlik yönetimi kararlarına izin vermelidir. Bu amaçla bilgisayar otomatik karar destek aracı, çok tesisli girişimin MPC'si tarafından geliştirilmelidir. Bütünsel bir yaklaşım kullanarak ve böylece çok tesisli alana bir bütün olarak bakıldığında, araç potansiyel kasıtlı saldırıların ve alandaki kazayla artan kazaların etkilerini en aza indiren önleyici tedbirlerin alınmasına izin vermelidir.

Ayrıca, çok tesisli alana ait tesisatların belirli bir yüzdesinin ortadan kaldırılmasıyla tüm çok tesisli alanın daha küçük alt alanlara bölünüp bölünemeyeceği araştırılmalıdır. İkincisi objektif kriterlere dayanmalı ve matematiksel olarak gösterilebilir olmalıdır.

Çok tesisli yazılım tarafından sağlanan girdi ve çıktı bilgileriyle ilgili gizlilik konuları dikkate alınmalıdır. Yazılım aynı zamanda çok basit, kullanımı ve yorumlanması kolay olmalı ve risklerle nasıl başa çıkılacağını tartışmamalıdır. Organize bölgenin yaklaşımı ve dış domino güvenlik politikası yalnızca organize bölge üyeleri arasındaki anlaşmanın sonucu olmalıdır.

2001 ve 2010 yılları arasında, domino etkilerinin olası oluşumunu ve sonuçlarını belirlemek için çeşitli bilgisayar otomatik araçlarının geliştirildiği doğrudur. Bununla birlikte, bu araçlar, kimyasal tesisatları çevreleyen karmaşık bir çok tesiste domino önleme tedbirlerinin alınmasına öncelik verilmesi açısından şeffaf cevaplar sunmamaktadır. Ayrıca, bu araçlar yalnızca domino emniyet riskleri açısından önlem almayı amaçlar ve domino güvenlik risklerini ele almaz. Bununla birlikte, bu tür feci kazaların önlenmesine yönelik yönetsel kararların olabildiğince verimli ve etkili bir şekilde alınması gerekir. Kararlar sadece güvenlik ve emniyet gerekliliklerine değil aynı zamanda ekonomik kısıtlamalara da dayanmalıdır. Bu nedenle kimyasal tesislerin sekanslarının artan etkiler üretme sorumluluğu açısından nispi sıralaması için bir metodoloji önermektedir. Bu yaklaşımın arkasındaki felsefe, domino risk analizinden ortaya çıkan soruları ele almak, böylece ek ve çok daha maliyetli tehlike değerlendirmesi veya risk analizi çalışmaları yapmadan önce bir emniyet ve güvenlik açısından göreceli önemini belirlemektir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yaşanabilecek kazanın etkisinin artması son derece yıkıcı olabilecek ciddi domino kazalarına yol açabileceği açıktır. Yangın, patlama dalgaları ve parça izdüşümü, hasarı birincil kazanın konumundan çok yüksek mesafede yayabilecek senaryoların olası nedenleridir.

Son yıllarda, domino senaryolarının tanımlanması ve değerlendirilmesi ve bu kaza kategorisinden kaynaklanabilecek tehlike, hasar ve riskin analizi için çeşitli yöntemler önerilmiştir.

Güvenlik değerlendirmesinin PHA aşamasında veya domino tehlikelerinin nitel olarak değerlendirilmesi gerektiğinde, kaza etkisinin artması hedeflerinin tanımlanması için eşik değerleri kullanılarak birincil senaryoların basitleştirilmiş bir değerlendirmesi temelinde gerçekleştirilebilir.

Yaklaşım, ilgilenilen birincil olayların tanımlanmasını ve bu birincil senaryoların nihai sonuçlarının hesaplanmasını gerektirir. Tarif edilenler gibi sonuç değerlendirmesi için geleneksel integral modeller tarafından bu aşamada birincil senaryolar için seçilen kaza etkisinin artması vektörlerinin yoğunluğunu hesaplamak için kullanılabilir.

İlgili bir kaza etkisinin artması tehlikesi tanımlanırsa, hasar eşik değerlerine dayalı olandan daha ayrıntılı bir değerlendirme gerekebilir. Kantitatif Risk Değerlendirmesi (QRA) günümüzde endüstri kurulumlarından kaynaklanan riski analiz etmek ve karşılaştırmak için standart bir araç olarak kullanılmaktadır.

Daha öncesinde domino senaryolarının nicel risk değerlendirmesi için bir çerçeve geliştirilmiştir ve aşağıdaki şekilde özetlenmiştir. Domino senaryolarının neden olduğu bireysel ve toplumsal riskin hesaplanması için özel yöntemler önerilmiştir.

Birincil senaryoda yer alan ekipman tasarımı ve düzeninin ayrıntılı bir açıklamasını gerektiren analiz modelleri, özellikle yakın alandaki birincil senaryoların sonuçları ele alındığında, analizde yüksek bir ayrıntı gerektiğinde kullanılabilir. Bu gereklilikler genellikle açık alan uygulamalarından veya daha genel olarak yapısal bütünlüğü, özellikle tasarım aşamasında, tasarım prosedürüne hitap etmek için, yüksek düzeyde emniyet ile değerlendirilmesi gereken kritik tesislerden türetilir. Genellikle, en kötü durumdaki ya da beklenen maksimum kaza şiddeti için senaryolar tanımlanır ve tasarım temeli olarak

seçilir ve gerekli yapısal direnç ve koruma önlemlerini değerlendirmek için ayrıntılı olarak analiz edilir.

Domino güvenliğinin yanı sıra, tesis yerleşimi tasarımı aslında aynı zamanda dikkate alınması gereken birkaç farklı konuyu içerir: süreç gereksinimleri, maliyet, emniyet, yönetmelikler, tesis inşaatı, hizmetler ve kamu hizmetlerinin mevcudiyeti vb. ile ilgili kısıtlamalar. Ekipman birimleri geleneksel olarak düzen tasarımında kullanılmaktadır. Tasarım optimizasyon araçları, bazı son çalışmalarda emniyet konuları göz önünde bulundurulsa bile, esas olarak ekonomik yönlere odaklanmaktadır. Olası kaza senaryolarının değerlendirilmesini ve sonuç analizini içeren daha ayrıntılı bir emniyet analizi genel olarak tüm tesisin risk performansı doğrulandığında tasarım yaşam döngüsünün son aşamalarıyla sınırlıdır. Ancak bu son aşamada yerleşim iyileştirmesi için sınırlı paylar kalmıştır. Yerleşim tasarımında kaza etkisi artmasının önlenmesi ile ilgili emniyet konularını tahmin etmek için, domino potansiyelinin ve optimal yerleşim konfigürasyonunun tanımlanmasını amaçlayan yerleşim düzeni tasarımının ilk aşamalarında önerilmiştir. Domino tehlikelerine göre daha güvenli tasarımda farklı düzeylerde risk azaltma stratejilerinin uygulanması tartışılmaktadır. Özellikle yerleşim planlarının doğası gereği emniyet tasarımının önemli rolü vurgulanmaktadır.

İnsan faktörleri için petrol ve gaz üreticileri modeline dayanarak, istenmeyen olaylardan kaçınmak ve önlemek ve sonuçlarını azaltmak için alınabilecek üç yaklaşımda bulunmaktadır. Bu üç yaklaşım insanlar, prosedürler ve teknoloji'dir. Bir kuruluş içindeki domino risk yönetimine uygulanan ilk yaklaşım olan insan, insanların (bireysel ve grup olarak) basamaklı risklerle nasıl başa çıktıklarını ve kuruluştaki domino riskleri hakkında nasıl düşündüklerini gösterir (örneğin, büyük afet eğitimi, yeterlilik, davranış ve tutum vb.). İkinci yaklaşım olan prosedürler, tüm olası durumlarda ve akla gelebilecek tüm koşullar altında (çalışma talimatları, prosedürler, yönergeler vb. konular dahil) domino riskleriyle mücadele etmek için kuruluştaki alınan tüm yönetim önlemleri ile ilgilidir. Üçüncü yaklaşım olan teknoloji, domino risk yönetimi ile ilgili olarak alınan ve uygulanan tüm teknolojik önlemleri ve çözümleri içerir. (örn. Domino etkileri yazılımı, güvenlik aracılı işlevler vb. dahil).

Domino risk yönetiminin ilk yaklaşımı bu nedenle "İnsan" olarak tanımlanmaktadır. Bazı tahminlere göre, insan hatası tüm kazaların% 80-90'ına katkıda bulunmaktadır. Bu sayı, ön hat işletim personeli, mühendisler ve denetim de dahil olmak

üzere olası tüm hata kaynaklarını dikkate alır. Güvenlik durumunda, tüm olaylar bile insan yapımıdır. Bu nedenle, tüm çalışanlar arasında (güvenlik ve emniyet) risk bilincinin oluşturulması, domino risklerinin yeterli bir şekilde yönetilmesi, uygun eğitimin sağlanması, güvenlik ve emniyet teşvikleri sağlanması, emniyet odaklı ve güvenlik odaklı bir organizasyon topluluğu oluşturulması gerekmektedir.

İkinci boyut olan “Prosedür”, bir güvenlik yönetim sistemi (GYS) (emniyet durumunda) ve bir güvenlik yönetim programı (güvenlik durumunda) tarafından yönetilmektedir. Bu yönetim sistemleri, iyi bir emniyet kültürünü ve / veya güvenlik kültürünü korumak için kullanılan mevcut prosedürleri gözden geçirir. “Prosedür” terimi çok geniş bir şekilde yorumlanabilir. Güvenli ve emniyetli bir şekilde çalışma, tehlikeli maddeleri güvenli bir şekilde depolama, çalışanların yetkinliklerini yönetme, acil durumları yönetme, prosedürleri yerinde belirleme, tespit etme ve geciktirme, organizasyon yapısı ve kültürü bu konuda büyük rol oynamaktadır.

İyi bir domino risk yönetimi politikası sağlamak için teknolojik boyutun vazgeçilmez olduğu konusunda çok az tartışmaya ihtiyaç vardır. Makul bir şekilde ulaşılabilir prensibi takip ederek, ekonomik olarak gerekçelendirilemeyen giderler olmadan hiçbir riskin sifıra düşürülemeyeceği belirtilmelidir. Bu nedenle teknolojik boyut, ortaya çıkan domino riskinin sosyal olarak kabul edilen sınırlar arasında kalacak şekilde tasarlanmalıdır.

Her yaklaşım (İnsan, Prosedür ve Teknoloji) tek bir kimyasal tesisin bakış açısından ve çoklu organizasyonel bakış açısıyla olabilir. Bu şekilde, bu üç yaklaşım, iç domino etkilerinin ve dış domino etkilerinin endüstriyel bir alanda nasıl yönetilebileceğini açıklamak için kullanılabilir.

Bu yaklaşımlar içerisinde olan teknoloji domino etkilerini engelleme ve yönetme konusunda modellemelerle tabiri caizse ayakları basan sonuçlarla çok daha kıymetli önlemler alınabilir; yönetim sistemleri oluşturulabilir.

KAYNAKLAR

- Abdolhamidzadeh, B., Abbasi, T., Rashtchian, D., Abbasi, S.A., 2011. Domino effect in process-industry – an inventory of past events and identification of some patterns. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 24, 575–593.
- Acikalin, H.A., 2003. *Dynamische Simulation thermisch initiiertes domino-Effekte*. Doctoral Dissertation (in German). Berlin University, Berlin, Germany.
- American Petroleum Institute (API), 2000. *Risk-Bases Inspection Base Resource Document*. API Publication 581, first ed. API Publication, Washington.
- American Petroleum Institute (API), 2004. *Security Vulnerability Assessment Methodology for the Petroleum and Petrochemical Industries*, second ed. API Publication, Washington.
- Antonioni, G., Spadoni, G., Cozzani, V., 2009. Application of domino effect quantitative risk assessment to an extended industrial area. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 22, 614–624.
- Bagster, D.F., Pitblado, R.M., 1991. The estimation of domino incident frequencies: an approach. *Proceedings of Safety and Environment* 69, 196.
- Barbosa-Po`voa, A.P., Mateus, R., Novais, A.Q., 2002. Optimal design and layout of industrial facilities: a simultaneous approach. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 41, 3601–3609.
- Bingöl N, 2019. *Büyük Bir Endüstriyel Kaza Kurumu İçin Yeni Bir Güvenlik Analizi Geliştirilerek Çevresel Etki Değerlendirmesi*, İSTANBUL
- Bollinger, R.E., Clark, D.G., Dowell III, A.M., Ewbank, R.M., Hendershot, D.C., Lutz, W.K., Meszaros, S.I., Park, D.E., Wixom, E.D., 1996. *Inherently Safer Chemical Processes: A Life Cycle Approach*. American Institute of Chemical Engineers. CCPS, New York, NY.
- Casal, J., 2008. *Evaluation of the Effects and Consequences of Major Accidents in Industrial Plants*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.

CBS, Centraal Bureau voor de Statistiek, 2003. Vademecum gezondheidsstatistiek en arbeidsinspectie Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport, Voorburg, The Netherlands.

CCPS, 2008. Guidelines for Hazard Evaluation Procedures, third ed. American Institute of Chemical Engineers, New York, USA.

CCPS, Center for Chemical Process Safety, 2000. Evaluating Process Safety in the Chemical Industry: A User's Guide to Quantitative Risk Analysis. American Institute of Chemical Engineers, New York (USA).

CCPS, Center for Chemical Process Safety, 2003. Guidelines for Analyzing and Managing the Security Vulnerabilities of Fixed Chemical Sites. American Institute of Chemical Engineers, New York (USA).

Center for Chemical Process Safety (CCPS), 1994. Guidelines for Evaluating the Characteristics of VCEs, Flash Fires and BLEVEs. AIChE, New York, NY.

Center for Chemical Process Safety (CCPS), 2008. Guidelines for Hazard Evaluation Procedures, third ed. Wiley/AIChE, New York, NY.

Contini, S., Boy, S., Atkinson, M., Labath, N., Banca, M., Nordvik, J.P., 1996. Domino effect evaluation of major industrial installations: a computer aided methodological approach. In: Proceedings of European Seminar on Domino Effects, Leuven (B), pp. 21–34.

Cozzani, V., Antonioni, G., Spadoni, G., 2006. Quantitative assessment of domino scenarios by a GIS-based software tool. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 19, 463.

Cozzani, V., Gubinelli, G., Antonioni, G., Spadoni, G., Zanelli, S., 2005. The assessment of risk caused by domino effect in quantitative area risk analysis. *Journal of Hazardous*

Cozzani, V., Gubinelli, G., Salzano, E., 2006. Escalation thresholds in the assessment of domino accidental events. *Journal of Hazardous Materials* A129, 1–21.

Cozzani, V., Salzano, E., 2004. Threshold values for domino effects caused by blast wave interaction with process equipment. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 17, 437.

- Cozzani, V., Salzano, E., 2004a. The quantitative assessment of domino effects caused by overpressure. Part I: probit models. *Journal of Hazardous Materials* 107, 67–80.
- Cozzani, V., Salzano, E., 2004b. The quantitative assessment of domino effect caused by overpressure. Part II: case-studies. *Journal of Hazardous Materials* 107, 81–94.
- Cozzani, V., Tugnoli, A., Salzano, E., 2007. Prevention of domino effect: from active and passive strategies to inherently safe design. *Journal of Hazardous Materials* 139, 209–219.
- Cozzani, V., Tugnoli, A., Salzano, E., 2009. The development of an inherent safety approach to the prevention of domino accidents. *Accident Analysis and Prevention* 41, 1216–1227.
- Cozzani, V., Tugnoli, A., Salzano, E., 2007. Prevention of domino effect: from active and passive strategies to inherently safer design. *Journal of Hazardous Materials A139*, 209–219.
- Darbra, R.M., Palacios, A., Casal, J., 2010. Domino effect in chemical accidents: main features and accident sequences. *Journal of Hazardous Materials* 183, 565–573.
- Deb, S.K., Bhattacharyya, B., 2005. Solution of facility layout problems with pickup/drop-off locations using random search techniques. *International Journal of Production Research* 43, 4787–4812.
- Delvosalle, C., 1996. Domino effect phenomena: definition, overview and classification. In: *Proceedings of European Seminar on Domino Effects*, Leuven (B), pp. 5–10.
- Delvosalle, C., 1998. A Methodology for the Identification and Evaluation of Domino Effects, Rep. CRC/MT/003, Belgian Ministry of Employment and Labour, Bruxelles (B).
- Delvosalle, C., Fievez, C., Pipart, A., Debray, B., 2006. ARAMIS project: a comprehensive methodology for the identification of reference accident scenarios in process industries. *Journal of Hazardous Materials* 130, 200–219.
- DHS. URL: <http://www.dhs.gov/xlibrary/assets/dhs-risk-lexicon-2010.pdf> (last accessed in 2010).

Díaz-Ovalle, C., Va'zquez-Roma'n, R., Mannan, S., 2010. An approach to solve the facility layout problem based on the worst-case scenario. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 23 (3), 385–392.

Directive 2012/18/EU. European Parliament and Council Directive 2012/18/EU of 4 July 2012 on Control of Major-Accident Hazards Involving Dangerous Substances, Amending and Subsequently Repealing Council Directive 96/82/EC. *Official Journal of the European Communities*, L 197/1, Brussels, 24.7.2012.

Directive 82/501/EEC. Council Directive 82/501/EEC of 24 June 1982 on the Major Accident Hazards of Certain Industrial Activities. *Official Journal of the European Communities* L 230/25, Brussels, 5.8.82.

Directive 96/82/EC. Council Directive 96/82/EC of 9 December 1996 on the Control of Major-Accident Hazards Involving Dangerous Substances. *Official Journal of the European Communities*, L 10/13, Brussels, 14.1.97.

EC, 2002. Document 2002/605/EC, *Official Journal of the European Communities*, L 195/79, Brussels, 14.1.2002.

Egidi, D., Foraboschi, F.P., Spadoni, G., Amendola, A., 1995. The ARIPAR project: an analysis of the major accident risks connected with industrial and transportation activities in the Ravenna area. *Reliability Engineering and System Safety* 49, 75.

Fievez, C., 1996. Effets domino dans l'industrie chimique: recherche d'une me'thologie de prevention sur base d'une analyse accidentologique. *Faculte's Polytechniques de Mons*, Mons, Belgium.

Forcier, T., Zalosh, R., 2000. External pressures generated by vented gas and dust explosions. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 13, 411.

Ford, K.A., Brown, W.H., 1990. Innovative Applications of the Hazop Technique. Presentation at the AIChE Spring National Meeting, Orlando, FL, USA.

Georgiadis, M.C., Schilling, G., Rotstein, G.E., Macchietto, S., 1999. A general mathematical programming approach for process plant layout. *Computers and Chemical Engineering* 23, 823–840.

- Gledhill, J., Lines, I., 1998. Development of Methods to Assess the Significance of Domino Effects from Major Hazard Sites, CR Report 183, Health and Safety Executive, London (UK).
- Greenberg, H.R., Cremer, J.J., 1991. Risk Assessment and Risk Management for the Chemical Process Industry. J. Wiley and Sons Inc., New York, USA.
- Gubinelli, G., Zanelli, S., Cozzani, V., 2004. A simplified model for the assessment of the impact probability of fragments. *Journal of Hazardous Materials* 116, 175.
- Gupta, J.P., Hendershot, D.C., Mannan, M.S., 2003. The real cost of process safety – a clear case for inherent safety. *Process Safety and Environmental Protection* 81, 406–413.
- Heikkilä, A., 1999. Inherent Safety in Process Plant Design (Dissertation n. 384). VTT Publications, Espoo, Finland.
- Hendershot, D.C., 1997. Inherently safer chemical process design. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 10, 151–157.
- Hendershot, D.C., 1999. Designing safety into a chemical process. In: Proceedings of the 5th Asia Pacific Responsible Care Conference, Shanghai, China.
- Hessami, A.G., 2004. A system framework for safety and security: the holistic paradigm. *Systems Engineering* 7 (2), 99–112.
- Hoiset, S., Hjertager, B.H., Solberg, T., Malo, K.A., 1999. Properties of simulated gas explosions of interest to the structural design process. *Process Safety Progress* 17, 278.
- Holden, P.L., Reeves, A.B., 1985. Fragment Hazards from Failures of Pressurized Liquefied Gas Vessels. *ICHEME Symposium Series* 93 p. 205.
- Holtrop D., Kretz D., 2008. Research Security & Safety: An Inventory of Policy, Legislation and Regulations. Research Report 141223/EA8/043/000603/sfo. Arcadis, The Netherlands (in Dutch).
- Hopkins, A., 2005. Safety, Culture and Risk. The Organizational Causes of Disasters. CCH Australia Ltd., Sydney, Australia.
- Hovden, J., 1998. Models of organizations versus safety management approaches: a discussion based on studies of the “internal control of HSE” reform in Norway. In: Hale,

A., Baram, M. (Eds.), *Safety Management. The Challenge of Change*. Pergamon, Oxford, UK.

HSE, Health and Safety Executive, 1978. *Canvey: An Investigation of Potential Hazards from Operations in the Canvey Island/Thurrock Area*. HM Stationary Office, London, (UK).

HSE, Health and Safety Executive, 1981. *Canvey: A Second Report. A Review of the Potential Hazards from Operations in the Canvey Island/Thurrock Area Three Years after Publication of the Canvey Report*. HM Stationery Office, London (UK).

Hurme, M., Rahman, M., 2005. Implementing inherent safety throughout process lifecycle. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 18 (4–6), 238–244.

International Organization for Standardization (ISO), 2000. *Petroleum and Natural Gas Industries – Offshore Production Installations – Guidelines on Tools and Techniques for Hazard Identification and Risk Assessment*. ISO standard 17776. ISO, Geneva, Switzerland.

Johnston, R.G., 2004. Adversarial safety analysis: borrowing the methods of security vulnerability assessments. *Journal of Safety Research* 35, 245–248.

Jung, S., Ng, D., Diaz-Ovalle, C., Vazquez-Roman, R., Mannan, M.S., 2011. New approach to optimizing the facility siting and layout for fire and explosion scenarios. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 50 (7), 3928–3937.

Jung, S., Ng, D., Lee, J.-H., Vazquez-Roman, R., Mannan, M.S., 2010. An approach for risk reduction (methodology) based on optimizing the facility layout and siting in toxic gas release scenarios. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 23 (1), 139–148.

Khan, F.I., Abbasi, S.A., 1998a. Models for domino effect analysis in chemical process industries. *Process Safety Progress* 17, 107.

Khan, F.I., Abbasi, S.A., 1998b. DOMIFFFECT (DOMIno eFFECT): user-friendly software for domino effect analysis. *Environmental Modelling and Software* 13, 163–177.

Khan, F.I., Abbasi, S.A., 1999. The world's worst industrial accident of the 1990s. *Process Safety Progress* 18, 135–145.

- Khan, F.I., Abbasi, S.A., 2000. Studies on the probability and likely impacts of chains of accident (domino effect) in a fertilizer industry. *Process Safety Progress* 19, 40–56.
- Khan, F.I., Abbasi, S.A., 2001. An assessment of the likelihood of occurrence, and the damage potential of domino effect (chain of accidents) in a typical cluster of industries. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 14, 283–306.
- Khan, F.I., Amyotte, P.R., 2003. How to make inherent safety practice a reality. *Canadian Journal of Chemical Engineering* 81, 2–16.
- Khan, F.I., Amyotte, P.R., 2004. Integrated inherent safety index (I2SI): a tool for inherent safety evaluation. *Process Safety Progress* 23, 136–148.
- Khan, F.I., Amyotte, P.R., 2005. I2SI: a comprehensive quantitative tool for inherent safety and cost evaluation. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 18, 310–326.
- Khan, F.I., Husain, T., Abbasi, S.A., 2001. Safety weighted hazard index (SWeHI): a new, user-friendly tool for swift yet comprehensive hazard identification and safety evaluation in chemical process industries. *Process Safety and Environmental Protection* 79, 65–80.
- Kirchsteiger, C., 1998. Absolute and relative ranking approaches for comparing and communicating industrial accidents. *Journal of Hazardous Materials* 59, 31–54.
- Kletz, T.A., 1978. What you don't have, can't leak. *Chemistry and Industry* 6, 287–292.
- Kletz, T.A., 1984. *Cheaper, Safer Plants, or Wealth and Safety at Work*. Institution of Chemical Engineers, Rugby, UK.
- Kletz, T.A., 1991. *Plant Design for Safety, a User-Friendly Approach*. Hemisphere – Taylor & Francis, New York, NY.
- Kletz, T.A., 1998. *Process Plants: A Handbook for Inherent Safer Design*. Taylor & Francis, Bristol, PA.
- Kletz, T.A., Amyotte, P., 2010. *Process Plants: A Handbook for Inherent Safer Design*, second ed. Taylor & Francis, Boca Raton, FL.
- Kourniotis, S.P., Kiranoudis, C.T., Markatos, N.C., 2000. Statistical analysis of domino chemical accidents. *Journal of Hazardous Materials* 71, 239–252.

- Landucci, G., Gubinelli, G., Antonioni, G., Cozzani, V., 2009. The assessment of the damage probability of storage tanks in domino events. *Accident Analysis and Prevention* 41, 1206–1215.
- Landucci, G., Tugnoli, A., Cozzani, V., 2008. Inherent safety key performance indicators for hydrogen storage systems. *Journal of Hazardous Materials* 159 (2–3), 554–566.
- Latha, P., Gautam, G., Raghavan, K.V., 1992. Strategies for the quantification of thermally initiated cascade effects. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 5, 18.
- Lees, F.P., 1996. *Loss Prevention in the Process Industries*, second ed. Butterworth-Heinemann, Oxford (UK).
- Leveson, N.G., 2004. A new accident model for engineering safer systems. *Safety Science* 42, 237–270.
- Mannan, S., 2005. *Lees' Loss Prevention in the Process Industries*, third ed. Elsevier, Oxford, UK.
- Materials 127, 14–30.
- Mecklenburgh, J.C., 1973. *Plant Layout*. John Wiley & Sons, New York, NY.
- Mecklenburgh, J.C., 1985. *Process Plant Layout*. George Goodwin, London (UK).
- Mecklenburgh, J.C., 1985. *Process Plant Layout*. George Goodwin, London, UK.
- Meyer, T., Reniers, G., 2013. *Engineering Risk Management*. De Gruyter, Berlin, Germany.
- Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2004. *Handboek kanscijfers: voor het opstellen van een veiligheidsrapport. ver. 2.0*. Heirman JP, AMINAL, Brussel, Belgium.
- Morris, M., Miles, A., Copper, J., 1994. Quantification of escalation effects in offshore quantitative risk assessment. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 7, 337.
- Nolan, P.F., Bradley, C.W.J., 1987. Simple technique for the optimization of lay-out and location for chemical plant safety. *Plant/Operations Progress* 6, 57–61.
- OGP, 2005. *Human Factors*. International Association of Oil and Gas Producers, London, UK.

- OREDA Project, 2002. Offshore Reliability Data Handbook (OREDA), fourth ed. SINTEF Technology and Society, Høvik, Norway.
- Paltrinieri, N., Dechy, N., Salzano, E., Wardman, M., Cozzani, V., 2012. Lessons learnt from Toulouse and Buncefield disasters: from risk analysis failures to the identification of atypical scenarios through a better knowledge management. *Risk Analysis* 32, 1404–1419.
- Paltrinieri, N., Tugnoli, A., Bonvicini, S., Cozzani, V., 2011. Atypical scenarios identification by the DyPASI procedure: application to LNG. *Chemical Engineering Transactions* 24, 1171–1176.
- Papageorgiou, L., Rotstein, G.E., 1998. Continuous domain mathematical models for optimal process plant layout. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 37, 3631–3639.
- Patsiatzis, D.I., Knight, G., Papageorgiou, L.G., 2004. An MILP approach to safe process plant layout. *Chemical Engineering Research and Design* 82, 579–586.
- Penteado, F.D., Ciric, A.R., 1996. An MILP approach for safe process plant layout. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 4, 1354–1361.
- Pettitt, G.N., Schumacher, R.R., Seeley, L.A., 1993. Evaluating the probability of major hazardous incidents as a result of escalation events. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 6, 37.
- Pietersen, C.M., 1988. Analysis of the LPG-disaster in Mexico city. *Journal of Hazardous Materials* 20, 85–107.
- Randall, L.A., 2008. 21st Century Security and CPTED. CRC Press, Boca Raton (USA).
- Rasmussen, K., 1996. The Experience with the Major Accident Reporting System from 1984 to 1993. EUR 16341 EN. Commission of the European Communities, Luxembourg (L).
- Reniers, G., 2006. Shaping an Integrated Cluster Safety Culture in the Chemical Process Industry. Doctoral Dissertation, University of Antwerp, Antwerp, Belgium.
- Reniers, G., 2010. Multi-Plant Safety and Security Management in the Chemical and Process Industries. Wiley-VCH, Weinheim, Germany.

- Reniers, G., Dullaert, W., 2007. Gaining and Sustaining Site-Integrated Safety and Security in Chemical Clusters. Nautilus Academic Books, Zelzate, Belgium.
- Reniers, G.L.L., 2010. An external domino effects investment approach to improve cross-plant safety within chemical clusters. *Journal of Hazardous Materials* 177, 167–174.
- Reniers, G.L.L., Dullaert, W., 2007. DomPrevPlanning: user-friendly software for planning domino effects prevention. *Safety Science* 45, 1060–1081.
- Reniers, G.L.L., Dullaert, W., 2008. Knock-on accident prevention in a chemical cluster. *Expert Systems with Applications* 34 (1), 42–49.
- Reniers, G.L.L., Dullaert, W., Soudan, K., Ale, B.J.M., 2005. Developing an external domino accident prevention framework: Hazwim. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 18, 127–138.
- Rijnmond Public Authority, 1982. Risk Analysis of Six Potentially Hazardous Industrial Objects in the Rijnmond Area, A Pilot Study. D. Reidel Publishing Company, The Hague.
- Roberts, T.A., 2004a. Linkage of a known level of LPG tank surface water coverage to the degree of jet fire protection provided. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 17, 169.
- Roberts, T.A., 2004b. Directed deluge systems designs and determination of the effectiveness of the currently recommended minimum deluge rate for the protection of LPG tanks. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 17, 103.
- Shirvill, L.C., 2004. Efficacy of water spray protection against propane and butane jet fires impinging on LPG storage tanks. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 17, 111.
- Störfall Kommission (SFK), 2002. Report of the German Hazardous Incident Commission. SFK-GS-38. Störfall Kommission: Bonn, Germany. Available at: www.sfk-taa.de (accessed 13.01.13.).
- Strehlow, R.A., Luckritz, R.T., Adamczyk, A.A., Shimp, S.A., 1979. The blast wave generated by spherical flames. *Combustion and Flame* 35, 297.
- Taleb, N.N., 2007. *The Black Swan. The Impact of the Highly Improbable*. Random House, New York, USA.

- Tang, M.J., Baker, Q.A., 1999. A new set of blast curves from vapour cloud explosion. *Process Safety Progress* 18, 235.
- Tugnoli, A., Cozzani, V., Landucci, G., 2007. A consequence based approach to the quantitative assessment of inherent safety. *AIChE Journal* 53 (12), 3171–3182.
- Tugnoli, A., Khan, F., Amyotte, P., 2008c. Inherent safety implementation throughout the process design lifecycle. In: *Book of Abstracts of PSAM9*, Hong Kong, China, p. 24.
- Tugnoli, A., Khan, F., Amyotte, P., Cozzani, V., 2008a. Safety assessment in plant layout design using indexing approach: implementing inherent safety perspective. Part 1—guideword applicability and method description. *Journal of Hazardous Materials* 160, 100–109.
- Tugnoli, A., Khan, F., Amyotte, P., Cozzani, V., 2008b. Safety assessment in plant layout design using indexing approach: implementing inherent safety perspective. Part 2—domino hazard index and case study. *Journal of Hazardous Materials* 160, 110–121.
- Tugnoli, A., Landucci, G., Salzano, E., Cozzani, V., 2012. Supporting the selection of process and plant design options by inherent safety KPIs. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 25 (5), 830–842.
- U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board (US-CSB), 2011. Investigation Report – Pesticide Chemical Runaway Reaction Pressure Vessel Explosion – Bayer CropScience, LP, Report No. 2008-08-I-WV. Available at: <http://www.csb.gov> (accessed 13.08.12.).
- Uijt de Haag, P.A.M., Ale, B.J.M., 1999. *Guidelines for Quantitative Risk Assessment (Purple Book)*. TNO – Committee for the Prevention of Disasters, The Hague, The Netherlands.
- Van den Berg, A.C., 1985. The multi-energy method—a framework for vapor cloud explosion blast prediction. *Journal of Hazardous Materials* 12, 1.
- Van Den Bosh, C.J.H., Weterings, R.A.P.M., 1997. *Methods for the Calculation of Physical Effects (Yellow Book)*. TNO – Committee for the Prevention of Disasters, The Hague, The Netherlands.
- Westin, R.A., 1971. Summary of Ruptured Tank Cars Involved in Past Accidents. Report No. RA-01-2-7. Railroad Tank Car Safety Research and Test Project, Chicago, IL.

Whitham, G.B., 1956. On the propagation of weak shock waves. *Journal of Fluid Mechanics* 1, 290.

Zhang, M., Jiang, J., 2008. An improved probit method for assessment of domino effect to chemical process equipment caused by overpressure. *Journal of Hazardous Materials* 158, 280–286.



EKLER

Ek 1. Özgeçmiş

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Cüneyt ÇAKIR
Doğum Yeri ve Tarihi : Kocaeli 10.04.1990
Yabancı Dili : İngilizce
Telefon : 0507 345 8955
E-Posta : fatmacuneytcakir@gmail.com

Eğitim Durumu :

Lise : Gebze Anadolu Lisesi
Lisans : Trakya Üniversitesi – Makine Mühendisliği
Yüksek Lisans : Üsküdar Üniversitesi – İş Sağlığı ve Güvenliği

İş Tecrübesi:

Ags İthalat ve İhracat San. Tic. Ltd. Şt. / İthalat Yönetici Yardımcısı / 2014-2015

Tek Metal Çelik Kons. İnş. San. Tic. Ltd. Şti. / İmalat Mühendisi / 2015-2016

Seyir Akademi OSGB San. Ve Tic. Ltd. Şti. / Makine Mühendisi / 2016- (devam ediyor)