



**T.C. İSTANBUL TİCARET  
ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BÜYÜK BİR ENDÜSTRİYEL KAZA DURUMU İÇİN YENİ BİR  
GÜVENLİK ANALİZİ GELİŞTİRİLEREK ÇEVRESEL ETKİ  
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Nuri BİNGÖL**

**Danışman  
Prof. Dr. İsmail EKMEKÇİ**

**DOKTORA TEZİ  
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANABİLİM DALI  
İSTANBUL - 2019**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

**Nuri BİNGÖL** tarafından hazırlanan “ Büyük Bir Endüstriyel Kaza Durumu İçin Yeni Bir Güvenlik Analizi Geliştirilerek Çevresel Etki Değerlendirilmesi “ adlı tez çalışması 02/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde başarı ile savunularak, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı**’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman**

**Prof. Dr. İsmail EKMEKÇİ**  
İstanbul Ticaret Üniversitesi



**Jüri Üyesi**

**Prof. Dr. Osman YAZICIOĞLU**  
İstanbul Ticaret Üniversitesi



**Jüri Üyesi**

**Prof. Dr. Özalp VAYVAY**  
Marmara Üniversitesi



**Jüri Üyesi**

**Prof. Dr. Ali Fuat GÜNERİ**  
Yıldız Teknik Üniversitesi



**Jüri Üyesi**

**Doç. Dr. Berk AYVAZ**  
İstanbul Ticaret Üniversitesi



**Onay Tarihi : 09.07.2019**



**Prof. Dr. Necip ŞİMŞEK**  
Enstitü Müdürü

## AKADEMİK VE ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

02.07.2019

Nuri BİNGÖL

# İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER .....	i
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	ix
1. GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	4
2.1 “Felakete Dönük” ( Katastrofik ) Olaylar .....	4
2.1.1 Geçmişteki katastrofik tank kazaları .....	5
2.1.1.1 Kazaların nedenleri .....	5
2.1.2 Boru hatları ile tehlikeli madde taşımacılığı.....	6
2.2 Modellemeler ve Modelleme Senaryoları .....	9
2.2.1 Modelleme programları .....	11
2.3 HAZOP Tekniği .....	13
2.3.1 HAZOP'un avantajları ve dezavantajları .....	15
2.3.2 HAZOP süreci .....	16
2.3.3 HAZOP’ un etkinliği .....	18
3. GEREÇ VE YÖNTEM .....	20
3.1 Örnek ( Alan ) Çalışma Tesisi ve Çevresine ait Tespitler.....	21
3.1.1 Bölge yakınındaki liman ve kazaya etkisi olabilecek tehlikeli kimyasal taşınımı .....	23
3.2 Hazop Çalışması.....	24
3.2.1 Hazop Amacı .....	24
3.3 Hazop Metodunun Uygulanması.....	24
3.3.1 Tanımlamalar:.....	24
3.3.2 Risk no .....	25
3.3.3 İncelenen madde .....	25
3.3.4 Düğüm .....	25
3.3.5 Hat/Ekipman .....	25
3.3.6 Alt sistemler.....	25
3.3.7 Proses sapmaları .....	25
3.3.8 Anahtar kelime.....	26

3.3.9 Olası nedenler .....	26
3.3.10 Olası sonuçları .....	26
3.3.11 Mevcut güvenlik önlemleri.....	26
3.3.12 Gerekli aksiyonlar.....	26
3.3.13 Aksiyonu alacak kişi.....	26
3.3.14 Termin tarihi .....	26
3.3.15 Yapılan düzeltici önleyici faaliyet / faaliyetler.....	26
3.3.16 Gerçekleşme tarihi .....	26
3.4 Hazop Analizi Yapılacak Durumlar: .....	26
3.5 Hazop Analizinin Uygulanması: .....	27
3.6 HAZOP Çalışmasında Kullanılacak Kılavuz ve Rehber Kelimeler.....	28
3.7 LOPA - Koruma Katmanları Analizi (Layers of Protection Analysis).....	29
3.8 PHAST Yazılımı ile Kantitatif Risk Analizleri.....	32
4. ARAŞTIRMANIN BULGULARI .....	34
4.1 Yazılımların Etkinliği.....	34
4.2 N-Heptane Üzerinden Örnekler.....	36
4.2.1 ALOHA yazılımı sonuçları : termal radyasyon pool fire ( havuz ).....	37
4.2.2 ALOHA Yazılımı Sonuçları : Flammable Area of Vapor Cloud.....	38
4.2.3 Breeze yazılımı sonuçları : termal radyasyon pool fire .....	39
4.2.4 Phast yazılımı sonuçları .....	41
4.3 Modelleme Yazılımlarının Örnek Model Üzerinden Karşılaştırılması.....	43
4.4 HAZOP Çalışması Bulguları.....	45
4.5 LOPA Çalışması Bulguları.....	59
4.6 Phast Yazılımı Kantitatif Risk Analizi Bulguları.....	73
4.6.1. Benzin tankından sızıntı bulguları .....	74
4.6.2 Benzin tankından taşma bulguları .....	77
4.6.3 Benzin Tankında Katastrofik Yarıлма.....	79
4.7 En Kötü Durum Senaryosu.....	90
5. TARTIŞMA .....	94
5.1 Domino Etkisi Üzerine Başlatıcı Sebepler .....	96
5.2 Tesislerin Konumlandırılması ve Yoğun Nüfus Varlığının Değerlendirilmesi ....	98
5.3 En Kötü Durum Üzerine Konum Bazlı Kantitatif Risk Değerlendirmesi.....	100
5.4 Yasal Koruma Gerekliliği .....	101
5.5 Yangın Ve Patlama Etkileri.....	102
5.6 Meteorolojik Verilere Göre Değerlendirme .....	104

5.7 Sızıntı, Tanktan Taşma ve Katastrofik Yarıлма Etkileri ile Birlikte Domino Etkisinin Değerlendirilmesi.....	107
6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	113
KAYNAKLAR .....	120
EKLER.....	124
ÖZGEÇMİŞ .....	145



# ÖZET

Doktora Tezi

## BÜYÜK BİR ENDÜSTRİYEL KAZA DURUMU İÇİN YENİ BİR GÜVENLİK ANALİZİ GELİŞTİRİLEREK ÇEVRESEL ETKİ DEĞERLENDİRİLMESİ

Nuri BİNGÖL

İstanbul Ticaret Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İsmail EKMEKÇİ

2019, 146 sayfa

Bu çalışma kapsamında, “Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik” kapsamınca yüksek miktarlarda tehlikeli madde depoladığından “Üst Seviyeli Kuruluş” grubunda bulunan, İstanbul, Avrupa yakasında yerleşim yerinin içinde kalmış çok büyük bir akaryakıt depolama ve dağıtım tesisinde, “yangın-patlama” risklerine neden olabilecek tehlikelerin tespiti ile risklerin analizlerinin, çalışan-kentli sağlık ve güvenliğini derinden etkileyecek kaza senaryoları modellemeler yapılmak suretiyle araştırılmıştır. Bu amaca yönelik olarak, örnek tesis üzerinde çeşitli modelleme yazılımları kullanılarak, fonksiyonel güvenlik kavramları üzerinden oluşabilecek büyük bir kaza senaryosu çalışılmış aynı zamanda yazılımların yetkinliği tartışılmıştır.

Çalışmanın ana yaklaşımı içinde örnek tesis içindeki depolama tankları kritik ekipman olarak değerlendirilerek. HAZOP çalışması ile benzin tankında riskler ele alınmış, devamında koruma katmaları analizi (LOPA) ile bütünleştirilerek kantitatif analizlere gidilmiş ve kritik noktalar tespit edilerek yangın ve patlama gibi büyük kazalara yol açabilecek senaryolar belirlenmiştir. Belirlenen senaryolar üzerinde kantitatif analizler ve Phast yazılımı ile modellemeler yapılmış, bu senaryoların etki alanları ortaya çıkarılmıştır. Başlatıcı bir olası kaza sonrası oluşabilecek domino etkisi ele alınarak, coğrafi bilgi sistemi (GIS) üzerinden ortaya konulmuştur.

Sonuç olarak bu gibi tesislerdeki olasılığı çok düşük ama şiddeti büyük kazaların çok uzak mesafeleri etkileyebileceği ortaya çıkarılmıştır. Bu gibi tesisler için alınması gereken önlemlerin; tesisin kendi içyapısı, komşu kuruluşlar, yerel ve merkezi yönetimler ile bir bütün içinde alınmasının zorunluluğu kanıtlanmış olup, bu bağlamda öneriler geliştirilmeye çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler :** Domino etkisi, kaza senaryosu, modelleme programları, Seveso.

# **ABSTRACT**

**Ph.D. Thesis**

## **ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT BY DEVELOPING A NEW SAFETY ANALYSIS FOR A MAJOR INDUSTRIAL ACCIDENT**

**Nuri BİNGÖL**

**İstanbul Commerce University  
Graduate School of Applied and Natural Sciences  
Department of Occupational Health and Safety**

**Supervisor: Prof. Dr. İsmail EKMEKÇİ**

**2019, 146 pages**

In the context of this study, fire and atex explosion risks are analysed by identifying the hazards and explored the effects of a major accidents by modeling some deep impact scenarios on employee-public about health and safety issues for the aim of the study. The facility of the case study is a "Top-Level Organization" considering the amount of hazardous substances stored under " The Regulation on Prevention of Major Industrial Accidents and Mitigation of Their Impacts". The work site which is a very large fuel storage and distribution facility in the middle of the settlement on the European side of Istanbul. A major accident scenario has been studied on the establishment and discussed the effectiveness of some modeling software.

In the main approach of the study, storage tanks containing dangerous substances in the sample plant are considered as critical equipment. Primarily, the risks of gasoline tank has been considered an HAZOP study. After that, it is completed with Layer of Protection Analysis (LOPA) by analysing quantitatively and resulted the critical scenarios that could cause fire and atex explosions. After identifying the critical scenarios by using Phast software, the effects of these accidents has been examined. Domino effect has been taken into consideration after a starting event on geographically

As a result, major accident probability of such facilities is very low, but, it has been found that severe accidents can affect the long distances. It has been proved and suggestions have been developed in this context so that the measures to be taken for such facilities should be taken as a whole with the facility's own internal structure, with the neighboring institutions and local and central administrations.

**Key Words :** Accident scenarios, domino effect, modelling software, Seveso.



## TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni ynlemdiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Prof. Dr. İsmail EKMEKÇİ' ye teőekkürlerimi sunarım. Ekip ruhu içinde çalışmamızı sağlayan, ekibin bir parçası olduğumuzu her zaman hissettiren değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Rüştü UÇAN' a, araştırma boyunca desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Esin TMER' e teşekkür ederim.

Nuri BİNGÖL  
İSTANBUL, 2019



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Basitleştirilmiş P&ID diyagramı.....	17
Şekil 2.2. HAZOP esnasında izlenilecek aşamalar .....	18
Şekil 3.1. Tesis Krokisi .....	22
Şekil 3.2. LOPA katmanları .....	30
Şekil 4.1. ALOHA yazılımı N-Heptane kimyasalı veri girişleri.....	36
Şekil 4.2. ALOHA yazılımı N-Heptane kimyasalı Jet yangını sonuçları .....	37
Şekil 4.3. ALOHA yazılımı havuz yangını; kırmızı, turuncu ve sarı bölge etki alanları .....	37
Şekil 4.4. ALOHA Sonuç Ekranı Termal Radyasyon.....	38
Şekil 4.5. ALOHA yazılımı buhar bulutu oluşumu, kırmızı ve sarı bölge etki alanları .....	38
Şekil 4.6. ALOHA Sonuç Ekranı Yanıcı Buhar Bulutu .....	39
Şekil 4.7. BREEZE Giriş Ekranı.....	39
Şekil 4.8. BREEZE yazılımı havuz yangını etki alanları.....	40
Şekil 4.9. BREEZE Sonuç Ekranı Termal Radyasyon .....	40
Şekil 4.10. Phast Yazılımı Sonuçları : Termal Radyasyon (Early Pool Fire) .....	41
Şekil 4.11. Phast Yazılımı Sonuçları : Termal Radyasyon (Late Pool Fire).....	41
Şekil 4.12. Phast Yazılımı Sonuçları : Termal Radyasyon (Flash Fire) .....	41
Şekil 4.13. Phast Yazılımı Sonuçları: Termal Radyasyon (Flash Fire) Etki Alanı Grafik görüntüsü .....	42
Şekil 4.14. Phast Yazılımı Sonuçları: Dispersion (Dağılım) .....	42
Şekil 4.15. Phast Yazılımı Sonuçları: Dağılım, Yanıcı Buhar Bulutu Alanı .....	43
Şekil 4.16. Tesis P&ID Diyagramı – Benzin Tankı.....	46
Şekil 4.17. Jet Yangını Etki Çapı Benzin Tankı .....	75
Şekil 4.18. Geç Havuz Yangını Benzin Sızıntı .....	76
Şekil 4.19. Sızıntı Benzin Tankı .....	77
Şekil 4.20. Geç Havuz Yangını Benzin Tankı – Katastrofik Yarıлма .....	81
Şekil 4.21. Geç Havuz Yangını Benzin Tankı – Katastrofik Yarıлма Etki alanı.....	82
Şekil 4.22. Geç Havuz Yangını Benzin Tankı – Katastrofik Yarıлма Etki alanı.....	82
Şekil 4.23. Parlama Yangınının Etki Alanı Benzin Katastrofik Yarıлма .....	84
Şekil 4.24. Geç Patlama – Benzin Tankı .....	86
Şekil 4.25. Benzin Buhar Bulutu Yayılımı Kuşbakışı – GIS üzerinde .....	87
Şekil 4.26. Geç Patlama - Benzin Tankı - En Kötü Senaryo çapı.....	87
Şekil 4.27. Geç Patlama - Dizel Tankı – Katastrofik Yarıлма.....	87
Şekil 4.28. Geç Patlama - En Kötü Senaryo .....	88
Şekil 4.29. Çevresel Veri (Terrain Type) Giriş Ekranı .....	91
Şekil 4.30. Birleşik Etki – En kötü Durum Senaryosu.....	91
Şekil 4.31. Birleşik Etki – En kötü Durum Senaryosu.....	92
Şekil 4.32. Birleşik Etki – En kötü Durum Senaryosu.....	92
Şekil 5.1. Florya Meteoroloji İstasyonu Hakim Rüzgar Yönü.....	105
Şekil 5.2. Florya Meteoroloji İstasyonu Hakim Rüzgar Yönü Grafiği .....	106

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Tank kazalarının sebepleri .....	6
Çizelge 2.2. HAZOP Kılavuz Kelimeler .....	15
Çizelge 3.1. Ambarlı limanına uğrayan gemilerin türlerine göre dağılımı .....	24
Çizelge 3.2. Anahtar-Rehber Sözcükler Tablosu .....	28
Çizelge.4.1. Hazop çalışması .....	47
Çizelge 4.2. Risklerin Önceliklendirilmesi ile HAZOP Çalışması .....	54
Çizelge 4.3. Koruma Katmanları Analizi (LOPA)-Kantitatif Risk Analizleri.....	61
Çizelge 4.4. Jet Yangını - Sızıntı -Benzin Tankı .....	74
Çizelge 4.5. Erken Havuz Yangını – Benzin tankı .....	75
Çizelge 4.6. Geç Havuz Yangını.....	75
Çizelge 4.7. Parlama Yangını .....	76
Çizelge 4.8. Erken Havuz Yangını - Taşma.....	78
Çizelge 4.9. Geç Havuz Yangını - Taşma.....	78
Çizelge 4.10. Benzin Tankında Katastrofik Yarıлма – Geç Havuz Yangını .....	79
Çizelge 4.11. Motorin Tanklarında Katastrofik Yarıлма – Geç Havuz Yangını .....	80
Çizelge 4.12. Parlama Yangını.....	82
Çizelge 4.13. Geç Patlama .....	85
Çizelge 4.14. Maksimum Basınç Çapı .....	89
Çizelge 5.1. Ortalama sıcaklık çizelgesi Beylikdüzü Meteoroloji İstasyonu.....	104
Çizelge 5.2. Florya Meteoroloji İstasyonu Rüzgârların Esme Sayıları Toplamı .....	105
Çizelge 5.3. Florya Meteoroloji İstasyonu Yönlere Göre Rüzgar Hızı.....	106
Çizelge 5.4. Florya Meteoroloji İstasyonu Maksimum Rüzgar Hızı ve Yönü.....	106

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ADR	Karayoluyla Tehlikeli Yüklerin Taşınmasına İlişkin Uluslararası Anlaşması.
AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
ALARA	As low as reasonable applicable - En düşük uygulanabilir seviye
ALARP	As low as reasonable practical - En düşük mantıklı seviye
API	American petroleum institute – Amerikan Petrol Enstitüsü
ATEX	Atmosphere explosive - Patlayıcı ortam
BLEVE	Boiling liquid expanding vapor explosions – Kaynayan Sıvı Genleşen Buhar Patlaması
BM	Birleşmiş Milletler
BP	British Petroleum – Britanya Petrolleri
CCPS	Center for chemical process safety – Kimyasal proses güvenliği merkezi
CO	Carbon monoxide – Karbon monoksit
ÇED	Çevresel etki değerlendirmesi
CNG	Compressed Natural Gas - Basınçlı doğal gaz
ÇSGB	Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı
DOTEK	Doğal ve Teknolojik
ETA	Event tree analysis – Olay ağacı analizi
F-N	Frequency-Number of fatality – Frekans-Ölüm sayısı
FTA	Fault tree analysis – Hata ağacı analizi
GIS	Geographical Information Systems – Coğrafi bilgi sistemi
HAZOP	Hazard and operability – Tehlike ve İşletilebilirlik
HSE	Health and Safety Executive
İSG	İş Sağlığı ve Güvenliği
KKD	Kişisel Koruyucu Donanım
LFL	Lower flammability limit - Alt yanıcılık limiti
LNG	Liquified natural gas – Sıvı doğal gaz
LOC	Loss of Containment – Bütünlük kaybı
LOPA	Layer of protection analysis – Koruma katmanları analizi
LPG	Liquified petroleum gas – Sıvı petrol gazı
OSHA	İş Sağlığı ve Güvenliği Ajansı
PES	Programlanabilir elektronik sistemler
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
P&ID	Pipe and Instruments – Borulama ve Enstrüman
PKD	Patlamadan Korunma Dökümanı
QRA	Quantitative risk assessment – Kantitatif risk değerlendirmesi
RBI	Risk based Inspection - Risk tabanlı gözetim
RBM	Risk based maintenance - Risk tabanlı bakım
RCM	Reliability centered management – Güvenilirlik merkezli yönetim
SEVESO	Avrupa Birliği Büyük Endüstriyel Kazaları Önleme Direktifi
SIL	Safety Integration Level – Güvenlik bütünlük seviyesi

SGK	Sosyal Güvenlik Kurumu
TNO	Netherlands organization for applied scientific research – Hollanda uygulamalı araştma merkezi organizasyonu
TNT	Trinitrotoluene - Trinitrotoluen
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu Başkanlığı
VCE	Vapor cloud explosion – Buhar bulutu patlaması
Q	Thermal radiation, W/m <sup>2</sup> - Termal etki



# 1. GİRİŞ

İş sağlığı ve güvenliği ile ilgili ayrı şekilde bir yasanın çıkması ile ve buna bağlı yönetmeliklerle çalışanların sağlık ve güvenliklerinin korunması, önemini katlayarak artırmıştır. Yakın zamanlarda ülkemizde birçok ölümlü iş kazasının olması, özellikle de bulunduğumuz yüzyılda madenler başta olmak üzere çoklu ölümlü kazalar, bu yolda daha pek çok eksiğimizin bulunduğunu belirtmektedir. Özellikle sanayideki pek çok kaza konumuz dâhilinde olan atmosferik patlamalar açısından önemlidir. Sanayinin gelişmesi ile birlikte yaklaşık 100 - 150 yıldır çalışılmakta olan endüstri kolları bulunmaktadır. Bu süre zarfında da birçok, bazıları çok vahim olan iş kazalarına sahne olmuştur. Özellikle Avrupa Birliği ülkeleri ve Amerika Birleşik Devletleri (ABD) bu kazalardan dersler çıkararak önlemler alma ve bu önlemler kapsamında da çeşitli ulusal ve uluslararası düzenlemeler yapma yoluna gitmişlerdir (Atex95,1994; Atex137,1999). Biz de ise konunun hala önemi tam olarak anlaşılammamaktadır. Bununla ilgili ulusal politikalara ihtiyaç vardır. Ancak, asıl önemlisi ise bu konudaki akademik ve bilimsel çalışmalara olan ihtiyaçtır.

6331 sayılı iş sağlığı ve güvenliği yasınının çıkması ve buna bağlı olan yönetmeliklerin yürürlüğe girmesi ile birlikte ülkemizde çalışanların sağlığının ve güvenliğinin korunmasının önemi artmıştır. Yakın zamanda ülkemizde yaşanan ölümlü iş kazaları bu konuda hala çok eksiğimiz olduğunu ayrıca göstermektedir. Özellikle ülkemiz ex-proof cihazların bakımı ve güvenilirlik hesaplamaları bakımından Avrupa'nın ve Amerika'nın gelişmiş ülkelerinin çok gerisinde kalmaktadır. Bunun sebeplerinden biri de ülkemizde bu konu ile ilgili yeterince araştırma ve akademik çalışma bulunmamasıdır. Özellikle güvenilirlik merkezli bakım başta olmak üzere SEVESO kapsamında çalışmaların yapıldığı alanlardaki kantitatif risk değerlendirmesinin ve kaza senaryolarının önemi ülkemizde daha yeni fark edildiği için Türkçe bir kaynak bulmak çok zordur. Bu çalışma, işte bu eksikliği de bir açıdan gidermek için atılan bir adımı temsil etmektedir. Bu Çalışma kapsamında, kurulduğunda mücavir alan şeklinde bulunan ve yerleşim yerlerinin neredeyse hiç bulunmadığı büyük endüstriyel kaza riski taşıyan çok tehlikeli maddeler depolayan tesisler ve bunları barındıran özel bölgeler, zamanla çeşitli nedenlerle yerleşim yerlerinin ortasında kalmıştır. İşte bu kapsamda örnek alan üzerinde bu tesislerden biri ele alınarak olası bir büyük bir endüstriyel kaza

durumunda; bu kazanın etkileri neler olacak ve nerelere kadar etkili olacaktır bilgisine ulaşılması ve bu veriler ışığında tesisler, yerel ve merkezi yönetimler bağlamında önlemlerin gözden geçirilerek değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Yöntem olarak, kantitatif risk analizleri yaklaşımı ile birlikte kalitatif risk analizleri uygulanması ile kritik muhtemel kaza noktalarının belirlenmesi, en kötü durum senaryoları oluşturularak etkili bir yazılım kullanılması ile kaza modellemesi ve etki alanlarının bulunması amaçlanmıştır.

Sanayi de en büyük tehlikelerden biri toz ve gaz kaynaklı patlayıcı ortamlardır. Bu atmosferlerle ilgili Türkiye’de son yıllarda yeni yönetmelikler çıkarılmakta ve önemli gelişmeler yaşanmaktadır. Çıkarılan bu yeni yönetmelikler ve denetimler sayesinde İş Sağlığı ve Güvenliği konusunda çok önemli adımlar atılmış bulunmaktayız.

Ülkemizde bulunan birçok firmada yaptığımız araştırma ziyaretlerinin sonrasında ex-proof ekipmanlarla ilgili ülkemizdeki önemli bir eksikliğin farkına varılmıştır. Ülkemizde ex-proof cihaza yatırım yapan büyük şirketler ne yazık ki cihaz alındıktan sonra nasıl bakım yapılması gerektiği veya cihazın nasıl muhafaza edilmesi gerektiğini bilmediği için, son derece pahalı fiyatlara alınan bu cihazlar ex-proof özelliklerini kaybetmektedir. Ayrıca ortamın patlama riskini de artırmaktadır (Sarı, 2011). Bununla birlikte birçok şirket patlayıcı ortamların bölgelendirilmesinin nasıl yapılması gerektiğini bilmediği için hatalı bölge seçimleri yaparak kendilerini büyük zararlara sokmaktadırlar. Bu hataların sonucunda şirketler milyonlarca liralık zarara girebilmektedirler.

Güvenilirlik merkezli bakım da dâhil olmak üzere büyük endüstriyel kazalara neden olabilecek riskler kapsamında henüz ülkemizde yeterince yatırım yapılmamıştır. Şirketlerin pekçoğu Büyük endüstriyel kazaların önlenmesi kapsamında yapılacak çalışmaların ne kadar önemli olduğunun daha farkına varmamış, farkında olanlar ise bu konu ile ilgili nasıl bir yatırım yapılması gerektiğini bilmemektedir. Bu konu hakkında oluşan bilgisizlik de şirketlere daha farkında olmasalar dahi milyarlarca liralık zarar ile birlikte karşı karşıya kalabilecekleri büyük facialara sürükleyebilmektedir.

Petrokimya tesislerindeki akaryakıt depolama tankları çok yüksek hacimlerde parlayıcı, kolay alevlenir ve tehlikeli kimyasallar ihtiva etmektedir. Çok küçük çaptaki herhangi bir kaza bile milyonlarca lira kayıplara, uzun süreli iş kesintisine, daha ötesi can kaybı ve/veya yaralanmaya neden olabilecek nitelikte olabilmektedir. Büyük çaptaki bir kaza ise mahkemeler, çok miktarda can kaybı, firmanın itibar kaybı ve hatta iflası gibi onarılamaz sonuçlara yol açabilecek niteliktedir. Bu tarz tanklar ve depolama tesisleri özellikle API (American Petroleum Institute) standartları başta olmak üzere Avrupa ve Türk Standartları dahil bir çok standarta uygun şekilde çok sıkı bir şekilde uygulanan düzenlemeler ile malzeme seçimleri yapılmakta, üretilmekte, tasarlanmakta ve güvenli işletilmeleri sağlanmaktadır. Ancak, tüm bunlara rağmen kazalar ise hala olmaya devam etmektedir.

Geçmişten ders çıkarmak, ileride olabilecek kazalar açısından büyük önem taşısa da, günümüzün gelişmiş teknolojilerini kullanarak kestirim yaparak, malzemelerin ömür hesaplarını ve yapılan testler ile ortaya konulan güvenilirlik verilerini güvenli marj aralıklarında kullanarak kaza risklerini azaltabilecek önlemleri alabilecek seviyede olmalıyız. İşte bu aşamada yapılan çalışma kapsamında büyük kazaların, elde edilecek veriler ile modellenmesi yoluyla etkilerinin değerlendirilmesi ve bu kapsamda fonksiyonel güvenliklerinin saptanması, risk temelli denetimlerin (RBI) yapılması, güvenilirlik merkezli yönetimlerin (RCM) yapılması ve acil durum önlemlerinin gözden geçirilerek etki azaltıcı ek önlemler ile risk önemli ölçüde azaltılarak güvenli sınırlar dahilinde çalışma sağlanabilecektir.



## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

### 2.1 “Felakete Dönük” (Katastrofik) Olaylar

Bazı sık olmayan fakat çok ciddi olaylar ve kazaların uzun dönemli etkileri görülmektedir. Bunlar arasında cana, mala ve çevreye verilecek çok büyük zararların haricinde, uzun süreli tesis kapanması ile çok miktarlarda üretim kaybı da vardır. Bu olayların sık görülen ama çok ciddi üretim kaybı ve tesis durması gibi sıkıntıları olmayacak tarzdeki olaylardan ayrılması gerekir. Küçük olaylarda, olay sonrası beklenen ürün kaybı, ciddi bir olaya göre gözardı edilebilecek büyüklüktedir. Analizlerde bu durumun tesbiti için, ürün mevcudiyeti ve dağıtımın sürekliliği de göz önüne alınır. Ciddi sonuçlar doğurabilecek olaylar; “felakete dönük”, katastrofik olaylar olarak sınıflandırılmaktadır. Felakete dönük bir olay sonrası gerçek kayıp çok büyük çapta olacak, ürün üretiminde dramatik bir düşüşe neden olarak, ürün mevcudiyetinde ve dağıtımında da dramatik sorunlar yaratacaktır.

Depolama, üretim ve dağıtım tesislerinde, olaylar ve neticesindeki kazalar sonrası oluşacak, etkiler normalde risk analizlerinde göz önüne alınmaktadır. Felakete yol açabilecek (Felakete Dönük) olayları anlayabilmek ve irdelemek adına, risk analizleri; üretim kaybına etki edebilecek tüm faktörleri ele alabilmek için üretim performans analiz raporlarını da içerebilir (EN ISO 20815, 2010).

Olayların felakete dönük olmasındaki paylardan biri de domino etkisi adı verilen ve yan yana bulunan tesis içi tank ve benzeri ekipmanlar ile birbirine komşu iki veya daha fazla sayıdaki, yüksek miktarlarda tehlikeli madde içeren tesislerde oluşabilecek ve başlatıcı etki yaratabilecek doğal veya teknolojik olayların birbirini tetiklemesidir.

Kimyasal ve proses endüstrisindeki birçok katastrofik kazaların sorumlusu Domino etkisi olarak gözükmektedir. Domino etkisi düşük olasılığa sahip ama şiddeti çok büyük olaylardır (Reniers ve Dullaert, 2007). Depremler, seller, fırtınalar ve/veya yıldırımlar sonucunda oluşan çok ciddi “Dotek” (Natech “Doğal ve/veya teknolojik”) olaylar gerçekleşmiş, üzerlerinde çalışılmış ve belgelenmiştir (Cozzani vd. 2014).

Havuz ve tank yangınları, genellikle tetiklenen bir başlangıç olayından, ör. Yıldırım düşmesi, gerçekleşmekle birlikte seri şekilde birbirini etkileyerek ciddi sonuçlar

doğuracak kazalara sebep olabilecek ve domino etkisi yaratabilecek durumdadır ( Necci, vd. 2014).

### **2.1.1 Geçmişteki katastroofik tank kazaları**

Yapılan bir araştırmada Kuzey Amerika'dan 114, Asya'dan 72 ve Avrupa'dan 38 depolama tankı kazası incelenmiş, bu kazaların %48 i petrol rafinerilerinde meydana gelmesine rağmen, İkinci sırada en sık kaza yaşanan yer terminal ve pompa istasyonları (64 vaka, % 26,4)'dır. Kazaların sadece % 25,7' i, enerji santralleri, gaz tesisleri, boru hatları, gübre fabrikaları vb. petrokimya tesislerinde (% 12,8), petrol sahalarında (% 2,5) ve diğer endüstriyel tesis türlerinde (% 10,3) meydana gelmiştir. Bu kazalar esnasında tank içerisinde bulunan ürünler; Yakıt yağı, dizel, ham petrol, benzin ve petrol ürünleri vb..., en fazla orana sahip olan ürünlerdir. Tank türlerinin çoğunluğu atmosferik yüzer tavanlı olmak üzere konik tavanlı tanklar da mevcuttur (Chang ve Cheng-Chung, 2006).

#### **2.1.1.1 Kazaların nedenleri**

Çizelge 1' de belirtildiği gibi, yıldırım en sık rastlanan kaza nedeni ve bakım hatası en sık görülen ikinci neden olmuştur. Geri kalan kısımda ise operasyon hatası, ekipman arızası, sabotaj, çatlak ve yırtılma, kaçak ve hat kopması, statik elektrik, açık alevler vb. diğer kazaların nedenleridir (Çizelge 2.1).

Yıldırım en sık raslanan neden olarak görünse de bakım hatalarına, operasyonel hatalar, ekipman arızaları, çatlak/kırılma, sızıntı ve hat kopması; hatta statik elektrik ve sabotajı da ekleyerek geniş spektrumdan baktığımız da ki, olan kazaları yıldırım dışı nedenler olarak ayırmış şekilde görürsek, bu bahsettiğimiz diğer kazalar da büyük bir oranı oluşturmaktadır. Bakım işleri büyük öneme haizdir. Aliağa/Tüpraş' taki son kaza da 4 kişi ölmüş, 2 kişi de yaralanmıştır. Mal kaybı da cabasıdır. Tüpraş / İzmit tesislerinde yapmış olduğumuz ziyaretler de gördüğümüz, ülkemizin hassas durumu nedeni ile emniyet (security) kapsamında ki güvenlik çok üst düzeyde tutulmakta idi.

Çizelge 2.1. Tank kazalarının sebepleri (Chang ve Cheng-Chung, 2006).

Yıl	1960–1969	1970–1979	1980–1989	1990–1999	2000–2003	Toplam
Yıldırım	4	10	19	37	10	80
Bakım/Sıcak İşler	1	5	9	12	5	32
Operasyonel Hata	1	5	6	8	9	29
Ekipman Arızası	3	1	5	7	3	19
Sabotaj	2	5	2	6	3	18
Çatlak/Kırılma	0	3	3	3	8	17
Sızın ve Hat						
Kopması	0	3	2	5	5	15
Statik Elektrik	2	1	2	2	5	12
Açık Alev	1	0	4	2	1	8
Doğal Afetler	1	2	1	1	2	7
Kaçak						
Reaksiyonlar	2	1	0	2	0	5
Toplam	17	36	53	85	51	242

Dolayısı ile sabotaj ihtimali de yadsınamayacak derecede önem taşımaktadır ki tesisler de bunun bilincinde olup bu konudaki önlemlerini üst düzeyde tutmaktadır. Operasyonel hatalar ile ekipman arızaları, çatlaklar kırılmalar sızıntı gibi nedenler ise bizim çoğu kez öngörülerle, dahası bilimsel teknikler ile ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak hazırlanan bir çok yazılım ile RBI ve RCM kapsamında ele alınarak önlenmesi risklerinin çok önemli ölçüde azaltılması olası görülmektedir.

### 2.1.2 Boru hatları ile tehlikeli madde taşımacılığı

Petrol tesislerinde tanklara depolanan ürünler boru hattı ile taşınmaktadır. Dolayısı ile boru hattı üzerinde de inceleme yaparak, kaza oranları hakkında bilgi sahibi olmamız gerekir. İlerideki çalışmalarda tank üzerinden yaptığımız incelemelerin benzerini boru hatları üzerinden yapabilmemiz ve hatta bu ikisinin etkileşimlerini de analiz etmemiz, olası kazaların önüne geçecek ve daha sağlıklı işletmelere sahip olmamızı sağlayacaktır.

Doğal gaz ve petrol gibi tehlikeli ürünlerin taşınmasında boru hatları, taşımadaki büyük miktarlar ve kolaylık açısından gerçekçi başka seçeneği barındırmamakla birlikte, ABD 'de veriler petrol taşımacılığında kullanılan çeşitli yöntemler arasında

boru hattı ile iletimin en güvenli yöntem olduğunu da ortaya koymaktadır (TRB,2004).

EGIG (European Gas Incident Data Group) tarafından yayımlanan veriler ışığında, Avrupa' daki boru hatlarında 1970 ile 2013 arasında 1.309 önemli tehlikeli olay meydana gelmiştir. Boru hattındaki olaylardaki sızıntıların hepsi de çok büyük çapta sonuçlar doğurmamıştır. Bunları sınıflandırdığımızda boru hattındaki yırtılmaların ve büyük delinmelerin sıklıkları, boru hattındaki küçük deliklerin ve kırılmaların sıklığından daha azdır.

Kaza nedenleri üzerine yapılan araştırmalardan elde edilen verilere göre, 2004 – 2013 yılları arasında oluşmuş olayların % 35 lik kısmı Harici Müdahaleler, % 24 lük kısmı Korozyon kaynaklı ve % 16 lük kısmı da imalat ve malzeme hatalarından ileri gelmektedir (EGIG, 2015).

Yaşlanmaya bağlı korozyon nedeni incelendiğinde ise, ortaya 1964 öncesi yapılan hatlarda gerçekten daha yüksek hata sıklığı olduğu çıkmıştır. Aynı şekilde boru hattının duvar kalınlığı incelendiğinde 15 mm den daha kalın üretilen borularda korozyon kaynaklı hata tesbit edilmemiştir. Daha ince et kalınlığından üretilen borularda daha fazla korozyon etkisi gözlemlenmiştir (EGIG, 2015).

Bu boru hatlarındaki olayların sonucundaki gaz salınımının hepsinde de tutuşma olmamıştır. Tutuşma oranı % 5 ler seviyesindedir. Boru hattı yırtılmaları sonucu çok ciddi toplumsal yıkım gerçekleşebilmektedir. Özellikle çapları büyüdükçe daha riskli olmaktadır. Büyük çapta yüksek basınçtaki yırtılmaların düşük basınçtaki ufak yırtılmalara oranla tutuşma oranı yüksektir (EGIG, 2015).

Hong Kong örneğinde yapılan bir çalışmada LPG nakliyatında olan kazaların %11 'i boru hatlarında,, % 40 'ının sabit tesisler içinde, % 46 'sının da deniz, kara veya demiryolu taşımacılığı sırasında olduğunu göstermektedir. (Boult M., 2000, Journal of Hazardous Materials, s. 85–100 ) % 11 olan boru hattı kazaları azımsanmayacak kadar çok olsa da, genellikle bu taşımacılık LPG nezdinde örneklendiği üzerine; petrol türevi diğer tehlikeli kimyasallar içinde aynı olup, deniz hava veya demiryolu taşımacılığı boru hatları ile birleştirilmektedir. Örnek tesis olarak ele aldığımız İstanbul' daki tesise rafinerilerden gelen petrol türevi tehlikeli maddeler özellikle gemi nakliyesi ile gelerek, limandan da tanklara boru hatları vasıtasıyla

iletilmektedir.

### 2.1.3 Geçmişteki katastrofik boru hattı kazaları

Aşağıda, birkaç boru hattı üzerinden yaşanan önemli kazalara örnekler verilmiştir. Bunların dışında da olan birçok kaza bulunmaktadır.

Carsbad, New Mexico, ABD ‘ de, 19 Ağustos 2010 tarihinde, 30 inç çapındaki yeraltı doğalgaz boru hattındaki yırtılma nedeniyle, açığa çıkan gaz tutuşmuş ve 55 dakika yanmıştır. Alevlerin yüksekliği 150 metreye ulaşmıştır. Yakınlarda ( olay yerine 200 m. uzaklıkta ) kamp yapan 12 kişi ölmüş, bu kişilere ait 2 araç tahrip olmuştur. Nedeninin korozyon olduğu incelemelerde bulunmuştur (NTSB, 2003).

Ghislenghien, Belçika’ da, Endüstriyel alan yakınlarında, 30 Temmuz 2004 tarihinde bir metre çapındaki yüksek basınçlı yeraltı boru hattındaki yırtılma sonucu; 24 kişi ölmüş, 132 kişi yaralanmıştır. Birçok kurban, patlamanın etkisi ile onlarca metre havaya savrulmuşlar, boru hattından 11 metrelik bir tondan fazla ağırlığındaki bir parça 150 m. uzağa fırlamıştır. Patlama ve devamındaki korkunç yangının çevreye de etkisi büyük olmuştur ( Mahgerefteh ve Atti, 2006 ).

San Bruno, Kaliforniya ‘ da, yerleşim merkezinde, 9 Eylül 2010 tarihinde 30 inç çapındaki yeraltı doğalgaz boru hattındaki yırtılma nedeniyle, 9 kişi ölmüş ve yaklaşık 40 ev tahrip olmuştur. Gaz sızıntısı yaklaşık 90 dakika boyunca sürmüş, gaz akışı kesilememiştir (NTSB, 2010).

Coussoules de Crau (Bouches-du-Rhone), Faransa ‘ da 7 Ağustos 2009 tarihinde 40 inçlik ham petrol iletimi sağlayan yeraltı boru hattında yırtılma nedeniyle 5.400 m<sup>3</sup> ham petrol çevreye saçılmıştır. Tutuşma olmamıştır, ölen kişi de yoktur. Ancak, çevreye, çevre deki yaşama ve ekosisteme büyük zararları olmuştur. Şans eseri, bir park devriyesi uzaktan gayzer şeklindeki kara petrol şeklinde niteledikleri, yırtığı gözlemlemiş; pompa istasyonuna haber vererek daha büyük faciaları önlemiştir (Concawe, 2011).

Ufa, Chelyabinsk, USSR ‘ da ( Eski Sovyetler Birliği ), 3 Haziran 1989 tarihinde LPG boru hattındaki sızıntı nedeniyle oluşan yanıcı gaz, yakınlardaki trans-siberya tren hattı üzerinde gaz bulutu oluşturmuş, havadan ağır olduğundan demiryolu üzerinde birikmiş ve karşılıklı gelen 2 trenin bir anda tutuşarak alevler içinde

kalmasına ve çok kötü bir şekilde yanmasına neden olmuştur. 1 mil boyunca çok sayıda patlama gerçekleşmiş, 2,5 mil çapındaki tüm ağaçlar dümdüz olmuş, 8 mil uzaktaki camlar kırılmış ve çıkan alvler 100 km uzaktan görülebilmektedir. Tam sayısı yangından dolayı tesbit edilemekle birlikte 500 civarında kişinin öldüğü belirtilmektedir (NYT, 1989).

Houston, Texas, ABD ' de 20 Ekim ile 21 Ekim 1994 tarihleri arasındaki sel baskını nedeniyle, 8 boru hattı yırtılmış, 4100 m<sup>3</sup> petrol ve petrol türevi ürün yakınlardaki San Jakinto nehrine akmıştır. Bir çok patlama yangın ve yangın topu ( fire ball ) nehir üzerinde oluşmuştur. Yırtılan boru hatları içinde LPG, Benzin, Dizel ve Doğalgaz boru hatlarının hepsi mevcuttur. 547 kişi çoğu küçük hasarlar olmak üzere yanıklar ve solunum problemleri ile yaralanmıştır (NTSB, 1996).

Olan bu tip kazalardan ders çıkarmak ve reaktif bir şekilde önlem almak mümkündür. Ayrıca bu tip kazalar bize proaktif önlem alırken de yardımcı olabilmektedir. Kazaların incelemeleri sonrası, daha sonra oluşabilecek kazalar için öngörü yapabilmemize de imkan tanır. En azından korozyon dahil oluşturucu ya da başlatıcı nedenlerini kullanarak modellemeler yapabilmemizi ve bu modeller sonucunda da bakım periyotları ve ömür hesaplamaları ile birlikte acil durum senaryolarını iyileştirmemizi sağlayarak, daha güvenli istemler geliştirmemizi sağlar. SEVESO direktifleri üzerinden, tanklarla yaptığımız depolama kapsamında da, tankların dolumunu boru hatları üzerinden yaptığımızı düşünürsek, bize zayıf noktaların gösterilmesi açısından önem arz etmektedir.

## **2.2 Modellemeler ve Modelleme Senaryoları**

Her bir senaryo üzerinden elde edilecek bilgiler, yöneticilere, iş güvenliği profesyonellerine ve mühendislere etkili risk azaltma stratejileri konusunda değerlendirme ve uygulama yapabilmeleri imkanını sunar. Böylece tesbit edilmemiş bir/birkaç tehlike ve risk öngörülerek, tesis üzerindeki modifikasyonlar ile gerekli aksiyonları önceden alarak, ve hatta dahili ve harici acil durum planlarını gözden geçirerek önlemlerin alınmasını veya etkisinin artırılmasını sağlar.

Geçmişte yaşanan kazalardan ders çıkarmak önemlidir. Geçmişteki bu kazaların nicel olarak tekrarlanma olasılıkları ve elde edilen verilerden yola çıkarak alınacak önlemler reaktif olarak yapılmakta ve çok büyük önem arz etmektedir. Daha önce başka tesislerde yaşanmış olan kazalardan ders çıkarmak için kaza analizi yapıyoruz.

Bunu yapmamızdaki amaç;

Sonuçların Büyüklüğünün Tahmin Etmek

Dizayn ve Tasarım İncelenmesi

Değişikliklerinin Etkileri Belirlemek

Acil Durum Hazırlığı

Yönetmeliklere Uymak

Sigorta Tahminleri ve Mevzuatlar

Güvenlik Bilincini Teşvik Etmek

QRA (Nicel Risk Değerlendirme) Çalışması başlatmaktır.

Ancak, olmadan olası bir kaza veya olayı önlemek bazen onlarca hayatı ve milyonlarca lira zayıtı önleyecektir. Bundan dolayı, olası kaza senaryoları üzerinden giderek önlemlerimizi çıkacak sonuca göre tesis üzerinde kurgulamak ve gerekirse pekiştirmek gerekmektedir.

Tehlike ve risk analizi hesaplamaları kullanılarak modellemeler üçe ayrılmaktadır:

Salınım Hesaplamaları: Tanktan veya borudan sızıntı modellemesi

Dağılım Hesaplamaları: Materyalin sızıntısı sırasındaki hareketlerinin modellemesi (Ör: Bulut şeklinde)

Etkilerin Hesaplamaları: Bütün potansiyel sonuçların tahmini ve modellemesi (Checklist System for Safety Reports, 2015; Gilbert vd., 2012).

Tehlikeli Ekipmanlar yada diğer adıyla kritik ekipmanlar açısından modellemeler yapılarak değerlendirildiğinde; bu ekipmanlar dört kategoriye ayrılmaktadır.

Basınçlı Küre: Modeller basınç altında salınmaktadır.

Atmosferik Depolama Tankı: Modeller atmosferik basınç altında salınmaktadır.

Bağımsız Hesaplama: Modeller bağımsız patlama, BLEVE'ler ve yangınlar için kullanılmaktadır.

Uzun Boru Hattı: Uzun borularda oluşan salınımlar için modelleme

Örneğin, Atmosferik depolama tankı senaryoları,

Dökülme Senaryosu

-Buhar Boşluğundan Havalandırma

-Sızıntı

-Kısa Boru Sızıntı

-Zamanla Değişen Sızıntı

-Zamanla Değişen Kısa Boru Salınımı

-Kullanıcı Tanımlı Kaynaklar

-Sabit süreli salınım

-Kullanıcı Tanımlı Kaynaklar

şeklinde tanımlanır (Checklist System for Safety Reports, 2015), (Gilbert vd., 2012).

### **2.2.1 Modelleme programları**

ALOHA, Breeze, Phast gibi çeşitli seviyelerdeki olası kaza senaryolarının modellemelerini yaparak etkilenim alanlarını ortaya koyan bir takım yazılımlar ile İstanbul gibi bir metropoldeki yerleşim yerinin içinde kalmış bir tesis incelenecektir. Bu kapsamda ilgili yazılımlar üzerine kısaca bahsetme ihtiyacı doğmuştur.

ALOHA, Amerikan EPA kuruluşunun yayımladığı, internet üzerinden indirilebilen basit ama kullanışlı, ücretsiz bir yazılımdır. Bir LNG tesisi üzerine çalışmada direkt sızıntılar ile birlikte tank veya borudaki potansiyel salınımları da çok etkili bir şekilde modellemiştir. Buna mukabil Hollandalı Effects isimli yazılım, aynı çalışmada sızıntının meydana geldiği noktanın çevresinde, 5 ile 9 metre yerden yükseklikte herhangi bir tehlikeli konsantrasyon belirtememiştir. Çek yazılımı TerEx sıradışı olaylar için tasarlanmış olup, ön verileri pek kabul etmemektedir. Buna rağmen ALOHA ile hemen hemen benzer sonuçlar vermektedir (Bernatik vd., 2011).

BREEZE Olay Analisti ( Breeze Incident Analyst ), kazara veya sabotaj benzeri kasıtlı olarak oluşabilecek / oluşturulabilecek, kimyasal salınım tehlikesi ve sonuç modellemesi için kapsamlı bir araçtır. Breeze Incident Analyst, ABD hükümeti, askeri ve endüstri grupları tarafından geliştirilen endüstri standardı toksik dağılım, yangın ve patlama modellerini içermektedir ve kazara tehlikeli kimyasal salımlarla ortaya çıkan tehditleri değerlendirmek için tasarlanmıştır. Tesis tasarımı / güvenlik iyileştirmesi için modelleme yaparak, Risk Yönetimi programlarında olmayan Sonuç Analizi verir. Acil durumlardaki tehlikeleri gerçek zamanlı olarak değerlendirmek veya geçmiş bir olayı yeniden yapılandırmak için on değişik modelin kullanımını sağlar (Breeze, 2017). Breze patlamalardan oluşabilecek yapıların tahribatını, ve yıkımını olduğu kadar, insanların yaralanma ve zarar görmelerinin boyutunu da değerlendirmek üzere hazırlanmış bir modelleme yazılımıdır. (Steinhäusler, August 2017) Yavuz Sultan Selim ( 3. Köprü) projesinde yapılmış olan çalışmalar sonucu ortaya çıkan ÇED ( Kuzey Marmara Otoyolu (3.Boğaz Köprüsü dâhil) Projesi için



Çevresel ve Sosyal Etki Değerlendirmesi ) raporu hazırlanırken yollar ve kamp yerleşkeleri dahil hava etkilerinin incelenmesinde, kirleticiler ve herhangi bir birikme olduğu hakkındaki değerlendirmeler için Breeze grafik modelleme arayüzü kullanılmıştır (Cuthbert, 2013).

Phast, DNV firmasının ürettiği ve pazarladığı ücretli bir yazılım olup, kullanımı saha tecrübesi ile birlikte uzun eğitimler gerektiren komplike bir yazılımdır. Karaüstü ( On-shore ) ve denizden ( Off-shore ) petrol üretimi, nakliyesi veya rafinasyon işlemi yapan bir çok firma bu programı kullanmaktadır. Modellemeleri çok detaylandırmakla birlikte tehlike bölgeleri ile ilgili sayısal veriler de sağlayabilmektedir.

PHAST (Process Hazard Analysis Software Tool) kimyasal proseslerde meydana gelebilecek olaylar sonucu oluşacak gelişmeleri başlangıç aşamasındaki bulut veya havuz oluşturacak salınımlardan, son dağılımını konsantrasyon oranlarını hesaplayarak yangın yayılımını, zehirlenme boyutlarını ve patlamanın basınç etkilerini inceleyen bir yazılımdır. Yazılım kaza eseri olan bir kimyasalın yayılımının başlangıç yani çıkış noktasından en uzak dağılım gösterdiği alana kadar kadar, yağmurlama veya havuz buharlaşması dahil simülasyonlarını, aynı zamanda yanma ve zehirleyicilik etkilerini hesaplayarak yapmaktadır. Phast; sızıntılar, hat yırtılmaları, uzun boru hatlarındaki salınımları, tank yapılarının yıkılma ve parçalanmalarını, Birleştirilmiş Dağılım Modellemesi ile yapmaktadır.

Güvenilirliğinden, altyapısının uzun yıllardan beri olduğu için sağlamlığından ve teknik üstünlüklerinden dolayı 300 ün üstünde dünya çapında organizasyon tarafından kullanılmaktadır. PHAST 'ın sahibi Det Norske Veritas (DNV) firmasıdır. Tehlike ve risk analizi paketi proses ve kimyasal endüstrisi sektörlerinin geniş bir bölümünde; tasarım ve operasyonel anlamda tüm safhalarında uygulanabilmektedir. Quantitative ( Nicel ) Risk Analiz yöntemleri çok iyi uygulanabilmektedir. Can, mal ve çevreye olabilecek mevcut potansiyel tehlikeleri proaktif bir yöntem ile tanımlamak ve olası önlemleri alabilmek ve gözden geçirmek için kullanılır (Parvini ve Kordrostami, 2014; Pandya vd. 2012; Wang vd., 2017 ).

PHAST birçok alan ölçekli hidrolojik çalışmalarda da kullanılmaktadır. Yeraltı akışkanlarının simülasyonunda, çözünebilen maddelerin taşınmasında ve çok bileşkenli jeokimyasal reaksiyonlarda kullanılmaktadır (Parkhurst vd., 2005 ).

DNV tarafından geliştirilen PHAST 6.7 simulatorü (Process Hazard Analysis Software Tool) sonuç modelli kimyasal proses risk değerlendirmelerinde iyi bir şekilde kullanılmaktadır ( Di Domenico vd., 2014 ).

### 2.3 HAZOP Tekniği

Endüstriyel Proses tesislerinde ve benzeri diğer tesislerde tehlikelerin belirlenmesi güvenli tasarımı ve sistemin güvenli şekilde işletilebilirliğinin sağlanabilmesi için esastır. Ciddi ölümlere, ekonomik kayıplara ve çevre felaketlerine yol açan proseslerdeki potansiyel tehlikeli durumları tanımlamak, değerlendirmek ve engelleyebilmek için çok çeşitli teknikler mevcuttur. Tesislerin yaşam süreçleri boyunca kullanılmış birçok değişik teknik mevcuttur (Swann ve Preston, 1995).

Bunların hepsi titiz, kapsamlı ve sistematik ve planlı yapısal uygulamaları gerektirir. Bu tekniklerinden biri, tehlike ve çalışabilirlik üzerine odaklanır. Buna Tehlike ve işletilebilirlik analizi (HAZOP) adı verilmiştir. HAZOP kelimesi, Tehlike ve İşletilebilirlik (HAZard and Operability Study) çalışmasının kısaltması olarak kullanılmaktadır (Swann ve Preston, 1995). HAZOP genel anlamda en geniş kullanıma sahip Proses Tehlike Değerlendirme metodu olup birçok kullanıcı tarafından en etkin ve kapsamlı method olarak görülmektedir (Baybutt, 2015). HAZOP sistem bilgisi ve potansiyel durumu tanımlar (Kotek ve Tabas, 2012; Rossing vd., 2010).

HAZOP metodolojisinin temelleri kimya sanayinde tehlikelerin üstesinden gelebilmek adına bu tehlikeleri tanımlayabilme ihtiyacı ile ortaya çıkmıştır. Bu yöntemin amacı, tehlikeleri belirleyerek alınması gereken önlemleri almak ve potansiyel risk kaynaklarını tümüyle yok ederek proaktif çözümler sunmaktır (Kotek ve Tabas, (2012). 30 yıldan fazla süren etkili kullanımı ile kimya endüstrisi ile bu sanayinin spesifik tehlike ve riskleri baz alınarak geliştirilmiş olan bu metod, tümüyle standart olarak kabul edilmiş ve başka endüstriler tarafından da kullanılmaya başlamıştır. (Ör. İlaç sanayi, elektroteknik sanayi, makina sanayi vs.) (Kletz, 2000). Son yıllarda yayımlanan bilimsel çalışmalar HAZOP metodolojisinin Laboratuvar İşlemlerinde, mekanik operasyonlarda ve programlanabilir elektronik sistemlerde (PES) kullanılabildiğini belirtmektedir (Dunjó vd., 2010).

HAZOP, sistematik yaklaşıma dayalı bir güvenlik çalışması olup, karmaşık üretim

proseslerinin veya ekipmanların çalışabilirliği ve güvenliğinin değerlendirilmesini temel alan bir yaklaşımdır. Önceden belirlenmiş bazı kelimeleri anahtar kelime ve kılavuz kelime (Çizelge 2.2) şeklinde belirleyerek ilerler (Özkılıç, 2014). Bu tekniğin ortaya çıktığındaki fikir, bir sorun ancak normalde beklenenden farklı bir durum yani normalde olamsı gerekenden bir “ sapma “ olduğunda gerçekleşmektedir, mantığı üzerinden oluşmuştur.

HAZOP yöntemi emniyet ve işleyişin değerlendirilmesine yönelik sistematik yaklaşım sunar, üstelik güvenli durumdan sapmaların oluşması için anahtar kelimelerin (Çizelge 2.2) avantajına sahiptir ( IEC 61882: 2001 Tehlike ve İşletirlik Çalışmaları (HAZOP Çalışmaları) - Uygulama Rehberi ).

Ele alınan olay senaryolarının yaratıcı gelişimi sırasında beyin fırtınası prensibi ön analiz için tehlike belirleme sürecinde destek olabileceği gibi, güvenli durumdan sapmadan kaynaklanan, ardından sapmanın nedenlerinin bulunması için sistemsel bir yapıdadır. Güvenlik fonksiyonlarının tanımlanması ve olası etkilerinin tahmin edilmesi şeklinde yürütülür. Çalışma sonuçta potansiyel tehlikelerin işlenebilirlik konularını tanımlar (Tehlike ve İşlevsellik Analizi şeklinde) ve eylemlerin önlenmesi önerisinde bulunur (Kletz, 2001).

**HAZOP** belirli **anahtar** ve **kılavuz** kelimeler kullanılarak yapılan bir beyin fırtınasıdır Çizelge2.

HAZOP; “Proseste hangi tehlikeler mevcut, Risk ne kadar büyük, Güvende miyiz?” sorularını cevaplamalıdır. Riskler;

- 1- Risk belirlendiğinde bir önem seviyesinde algılanır. Ancak zamanla önem seviyesinde bir azalma gözlenir. (kanıksama),
- 2- Ciddi bir kaza sonrasında ise risk algılama seviyesi aniden yükselir,
- 3- Zaman geçtikçe risk algılama seviyesi tekrar azalır.

Risk in algılanmasındaki bu farklılıklar, risk değerlendirmesi sonuçlarının objektif olması beklenirken daha çok subjektif olmasına sebep olmaktadır.

Risk değerlendirmesi yapılacak sektör bir petro kimya / kimya sektörü olduğunda, proses tehlike analizi yöntemlerine (Proses PHA, HAZOP, Sapma analizi, Bow Tie vb.) ağırlık verilmesi gereklidir.

Çizelge 2.2. HAZOP Kılavuz Kelimeler ( Özkılıç, 2014 )

KILAVUZ KELİMELER	ANLAMI
FAZLA (MORE)	Kantitatif çoğalma
AZ ( LESS)	Kantitatif azalma
HİÇ ( NONE)	Mevcut değil, amaçlana sonucun bölümü elde edilmez
TERS (REVERSE)	Öngörülen yönün aksine
PARÇASI (PART OF)	Sistemin bir bölümünün olması gerekenden farklı
.... KADAR İYİ (AS WELL AS)	Aynı derecede
...DAN BAŞKA (OTHER THAN)	Tamamen farklı
ERKEN (EARLY)	Öngörülen süreden önce
GEÇ (LATE)	Öngörülen süreden SONRA

### 2.3.1 HAZOP'un avantajları ve dezavantajları

Tehlikeli maddeleri tanımlamak amacıyla değerlendirilen ekipmanın sistematik ve kapsamlı bir şekilde incelenmesi durumları ( tehlikeli sapmalar üzerinden ) ve Personel başarısızlığının sonuçlarının da değerlendirilmesi, bu tür durumların tespit edilmesi, HAZOP yöntemlerinin sistematik çalışmasının bir avantajıdır. Aksi durumlarda personelin hatası önemli sonuçlar doğurabilecektir.Yeni tehlikeli durumların bulunması, yeni tehlikeli maddelerin bulunmasına izin veren sistematik bir prosedür içerir. Operasyon ekipmanının etkinliğinin artması veya ihtiyaç durumunda güvenilirliğinin artırılması, Operasyonda hata, plansız kesintiler, ekipmanın hasar görmesi, işlenmemiş maddelerin kaybına yol açabilecek durumların önceden öngörülerek tesbiti ve önlemlerinin alınması aynı zamanda operasyonel düzenlemelerin iyileştirilmesine yönelik bir çalışmadır. Tanımlanan tüm senaryolarda nitel değerlendirmesinin kullanılması, çalışmayı yapan/yapanların daha çok ve etkili olarak odaklanmalarını sağlar.

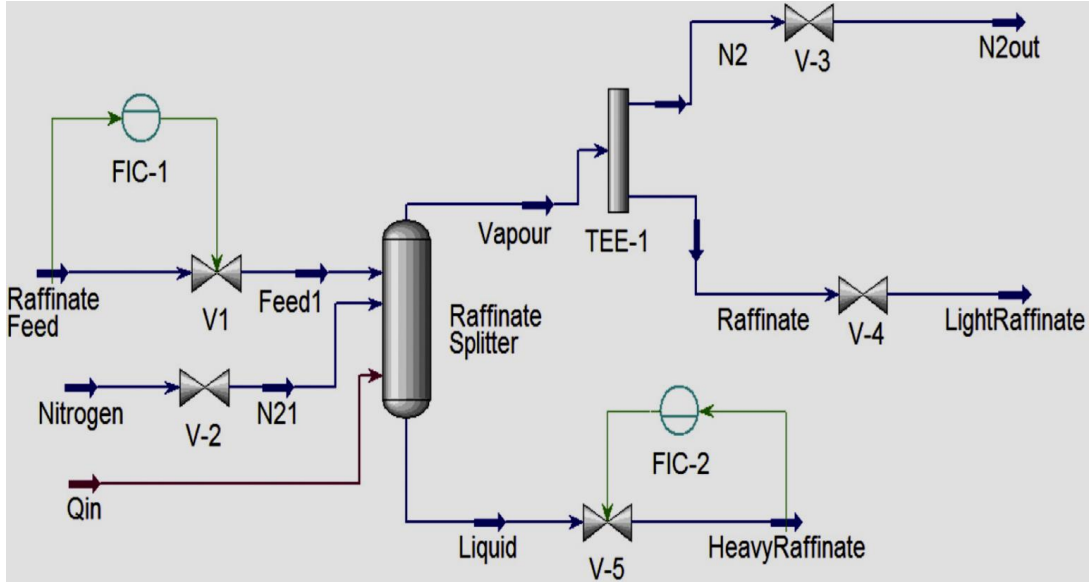
HAZOP yöntemlerinin sistematik çalışmasının bir dezavantajı ise teknolojinin ve proses sisteminin büyüklüğüne bağlı olarak uzun zamana ihtiyaç vardır. Ayrıca, hedeflerin odak tanımının ve HAZOP çalışmalarının belirlenmesinin açıklığa kavuşturulması ihtiyacı vardır.

HAZOP yöntemini kullanılmasının temel düşüncesi, zararlı sonuçlara neden olabilecek sapmaların (deviations) araştırmasının yapılarak, bu sonuçların ortaya çıkmadan önlenmesidir. HAZOP yöntemi ile özellikle kimyasal proses endüstrisinde tasarım yapan kişiler bir mantık silsilesi içinde güvenli tasarımlar yaparak, proaktif şekilde yaratıcılıkları ön plana çıkarılır, tehlikelerin belirlenmesi süreci etkin olarak değerlendirilir.

Proses endüstrisi için ekipman, kullanılan elemanlar ve güvenlik eleman/ekipmanlarının dayanıklılığı, güvenilirlikleri gibi performans kriterleri kabul edilebilir risk şartlarındandır. Yine hata anında güvenli durumda kalma, güvenliği şartları, sapmaların tamamının tasarım aşamasında tanımlanarak önlemlerinin belirlenmesi, eksik kalabilen noktaların sistemin yaşam döngüsü içinde tamamlanması yine kabul edilebilir risk sınırları dahilindedir. Çok geniş güvenlik kriterleri belirlenmiş olup, tek veya çoklu hata durumlarında sistemin savunma sisteminin sürekliliğinin sağlanması, hataların daha vahim sonuçlar doğurmadan etkisizleştirilmesi (savunma sistemi ve bariyerler tarafından) gerekmektedir (Özkılıç, 2014).

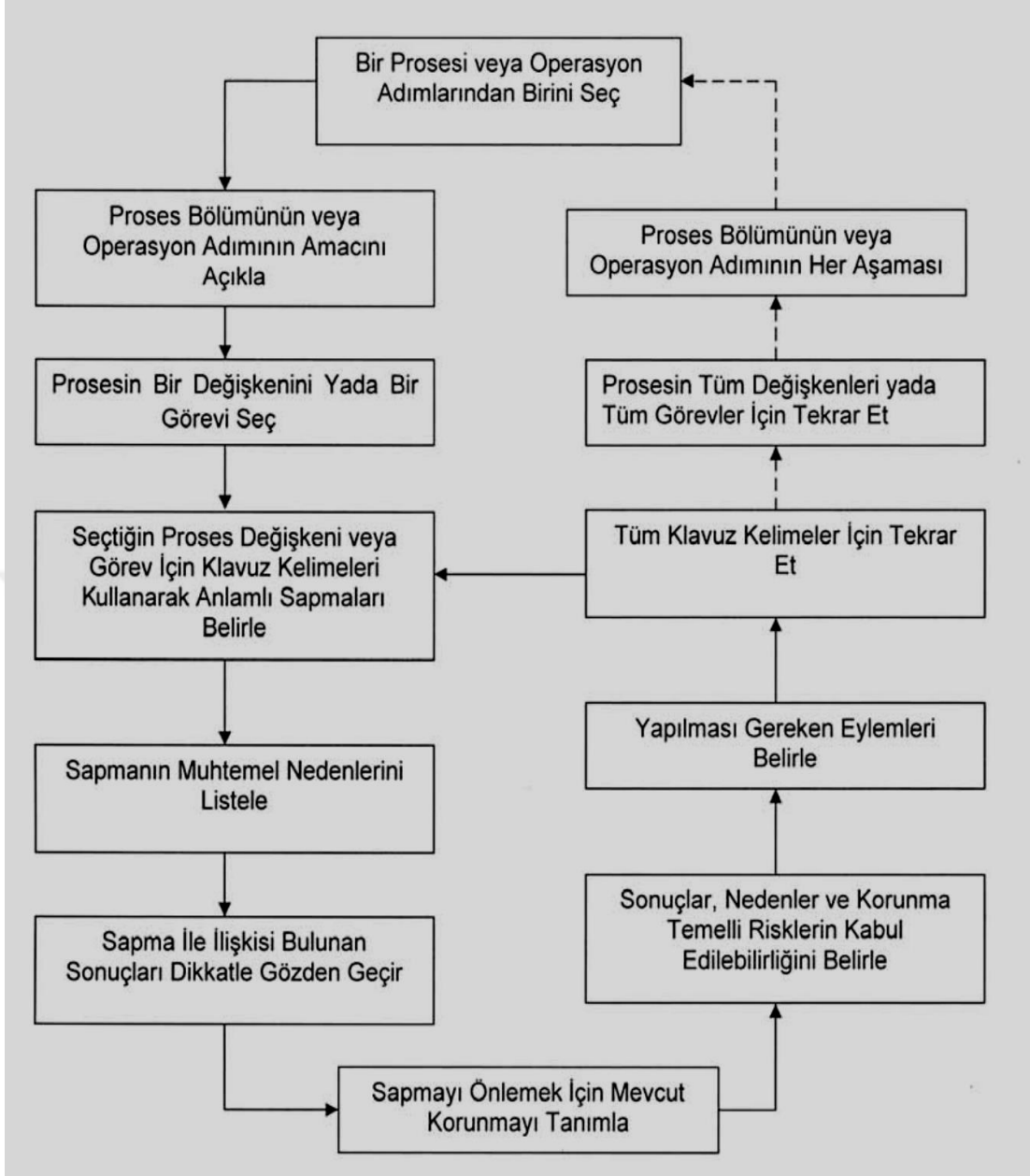
### **2.3.2 HAZOP süreci**

Çeşitli çizimler, akış diyagramları ve/veya P&ID (Process and Instrument Diagrams) diyagramlarından (Şekil 2.1) yararlanılarak proses üzerinden mevcut bilgiler irdelenerek geliştirilen süreç içinde beyin fırtınası veya benzeri bir teknik ile bazı klavuz kelimelerin yardımı ile olası sapmalar hedef alınarak yapılacak analiz süreci başlatır. Analizin devamında olası sapmaların neler olabileceği ile sonuç ve etkileri ele alınır, sistemin tüm elemanları gözden geçirilerek bu sapmalara karşı sapmalar daha oluşmadan alınabilecek etkili önlemler belirlenir. P&ID diyagramları (Şekil 2.1) proses üzerinden yapılacak HAZOP çalışmalarında çoğunlukla prensip olarak kullanılan tasarımsal gösterimlerdir. Kılavuz ve anahtar kelimelerin kullanım amacı işlemi daha standart hale getirmek ile birlikte, sapmalar ile normal operasyon durumlarının karşılaştırmasını yaparak çalışmayı sistematik bir yapıya oturtmaktır (Özkılıç, 2014; Rossing vd., 2010; Baybutt, 2015).



Şekil 2.1. Basitleştirilmiş P&ID diyagramı ( Isimite ve Rubini, 2016)

Sapmalar üzerinden yola çıkarak, “Ne tarz sapmalar oluşabilir?” gibi bazı sorulara cevap aranması yoluna gidilir, bunun kolay yolu olarak ise bu sorulara yönelik bazı kılavuz kelimeler üzerinden yola çıkmaktır. Yani “Ne tarz sapmalar oluşabilir?” sorusu aslında “Hangi anahtar kelimeler ve proses parametreleri bu sapma ile ilgilidir? “ sorusuna yönlendirilir ve “ Niçin bu sapma/sapmalar oluşur? “ (Nedenler) ile “Bunların etkileri neler olabilir?” (sonuç ve etkiler) sorularına ulaşılır. Bir HAZOP çalışmasında bu sorular öncelikle sistem yapısal ve bütünsel parçalara (node) ayrılarak sorulur (Şekil 2.2). Alınacak cevaplar ile de çözümler yapılır, sistemin güvenilirliğinin sağlanması için iyileştirmeler önerilerek uygulanır (N.L. Rossing vd. 2010; M. Pérez-Marín ve M.A. Rodríguez-Toral 2013).



Şekil 2.2. HAZOP esnasında İzlenilecek Aşamalar ( Özkılıç, 2014 )

### 2.3.3 HAZOP' un etkinliği

HAZOP çalışmaları Proses sistemlerinin güvenliğini tek başına garantileyen basit bir prosedür değildir. Global bir tasarım ve döngüsünün ve operasyonel işlemlerin bir parçasıdır. Bu nedenle, HAZOP çalışmasının kapsamını kabul edilebilir risk kriterleri ve beklenen olası sonuçlar ile önceden kurgulayarak işe başlamak kapsamını belirlemek gereklidir. Olası sonuçlarının etkileri ise bu çalışmanın sonucunda başka çalışmalara girdi olabilecek veriler sağlayacaktır (Pérez-Marín ve Rodríguez-Toral, 2013).

BP' nin Texas Rafinerisindeki 2005 yılındaki patlama proses endüstrisindeki en büyük felakete dönük facialardan biridir .Patlama sonucu 15 kişi ölmüş ve 180 kişi yaralanmıştır. Ekonomik kayıp 1,5 Milyar Dolar olarak tahmin edilmektedir. (US CSB, 2005) Bu kazadan dersler çıkarmak adına dünya üzerinde bir çok analist ve teknik uzman çalışmalar yapmış, teknik güvenlik performansını artırmak ve proses güvenlik yönetim sistemlerini geliştirmek için incelemeler üzerinden dersler çıkarmaya çalışmıştır. Literatürde yapılan bu çalışmalardan biri de HAZOP çalışması üzerinden bir yaklaşımla, daha güvenli operasyonların nasıl gerçekleştirilebileceği üzerinedir. HAZOP metodu potansiyel tehlike ve riskleri en iyi tanımlayabilen ve kontrolünü sağlayabilen endüstri en iyi uygulanan endüstriyel kalitatif uygulamadır (Isimite ve Rubini, 2016).





### 3. GEREÇ VE YÖNTEM

QRA yazılımlarından PHAST programı kullanılarak, fonksiyonel güvenlik kavramları üzerinden büyük endüstriyel kazalar kapsamında İstanbul ilinde yerleşim yerinin ortasında kalmış çok büyük bir akaryakıt depolama ve dağıtım tesisindeki tehlike ve risklerin belirlenmesi ile bu risklerden doğabilecek yangın, patlama ve sızıntı şeklindeki büyük kazaların çalışanlar başta olmak üzere yakın bölgede yaşayanlar üzerindeki etkileri, kazaların senaryoları modellemeler yapılmak suretiyle incelenmiştir. Öncelikle, Phast yazılımının benzeri diğer yazılımlar üzerinden etkinliği bu yazılım ile birlikte ALOHA ve Breeze Incident Analysis yazılımı kullanılarak, örnek bir durum üzerinden aynı senaryo etkinliği belirlenmiş ve ayrıca literatürdeki yeri araştırılmıştır. Modelleme yapılacak kaza senaryolarını oluşturmak için HAZOP çalışması üzerinden kritik durumlar belirlenmiş ve bu kritiklikler üzerinden senaryolar geliştirilmiştir. Daha sonra LOPA ( Koruma Katmanları ) analizi ile kantitatif risk analizleri yapılmış, bu analizin çıktıları bize kritik senaryoların nasıl olabileceğini belirtmiştir. LOPA ( Koruma Katmanları Analizi ) ile HAZOP çalışması üzerinden belirlenen kritik durumlar, kantitatif analiz yapılarak bu analiz neticesinde modellemenin ve senaryonun etkinliği artırılmıştır. Dolayısı ile çalışmanın sonunda, HAZOP ve LOPA çalışmaları ile Phast gibi bu konuda etkinliğini kanıtlamış bir yazılımın yeni bir teknik olarak birlikte uygulama ve sonuçlarının etkinliğini görme şansı da bize sunulmuştur.

Kolay alevlenir kimyasal depolama yapan endüstriyel tesislerde yanma/yangın meydana gelme olasılığı gerekli yönetmelikler ve uluslararası/ulusal standartlar ile getirilmiş yükümlülükler kapsamında alınması gereken ve alınan önlemler ile azaltılmaktadır. Fakat, ne kadar önlem alınırsa alınsın, gerekli düzenlemeler en uygun şekilde yapılsın bu şekildeki çok yüksek hacimlerde kimyasal depolayan veya işleyen büyük endüstriyel tesislerde muhtemel bir yangınında çok ciddi sayıda insan oluşabilecek patlamanın etkisi ile veya yanarak ya da yanma sonucu açığa çıkabilecek olan zehirli gazların etkisi ile hayatlarını kaybedebilir, hatta işletmenin faaliyetlerini durdurabilecek çok büyük çapta maddi hasara neden olabilir.

Yapılan HAZOP, “ Tehlike ve İşletilebilirlik Çalışması” ve akabinde LOPA “ Koruma Katmanları Analizi “ ile elde edilen bulgular neticesinde tüm alınan önlemlere rağmen oluşabilecek kaza senaryoları çalışılmış ve ortaya benzin

tankından dolun sırasında operatör ve/veya ekipman arızaları dolayısı ile ortaya çıkabilecek benzin tankından taşma, basınç veya sıcaklık artışlarından oluşabilecek bağlantı noktaları olarak adlandırdığımız flanşlardan sızıntı ve yıldırım düşmesi etkisi ile oluşabilecek, felakete yönelik bir parçalanma olarak adlandıracağımız “Katastrofik Parçalanma” üzerinden senaryolar değerlendirilmiştir.

Yangın ve/veya patlayıcı ortamın oluşması için tehlikeli kimyasalların bulunduğu ekipman, boru hattı veya tank içerisinden dışarıya taşması veya delinerek/yırtılarak fiziksel bütünlük kaybının (LOC – Loss of Containment) oluşması lazımdır. Bu fiziksel bütünlük kaybının nedeni ise genel bilgiler kısmında belirtildiği üzere yıldırım, bakım işleri, sıcak işler, sabotaj, doğal felaketler vs.. de olabilmektedir. Bu yapılacak modellemelerde doğru sonuçlara ulaşmak adına HAZOP çalışmasını gerçekleştirilmiş, kritiklik verileri üzerinden uygulama yapılmıştır. HAZOP ve LOPA bizi bütünlük kaybının nerelerde gerçekleşebileceği hakkında detaylı bilgiye ulaştırmıştır. Olası bir sızıntı ürünün tanka veya tankere dolma / boşalma anında oluşması ve sapmaların etkilerinin üzerinden verileri elde etmeye olanak sunmuştur.

### **3.1 Örnek ( Alan ) Çalışma Tesisi ve Çevresine ait Tespitler**

İstanbul ilinde çok yüksek miktarlarda akaryakıt depolaması yapan bir büyük bir endüstriyel tesis üzerinde olası bir sızıntı, yayılım ve bunun sonucundaki yanma ve patlama etkilerinin; yaşayanlara, çevreye mala, yapılara ve topluma olabilecek etkileri modelleme gerçekleştirilmiştir.

Kuruluşun ürünü olan Benzin ve Motorin, çok kolay alevlenir ve alevlenebilir özellikte olup depoladığı tehlikeli ürünlerin miktarı dikkate alındığında, 2 Mart 2019 tarihli 30702 sayılı resmi gazetede yayınlanan “Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik” ’in 11. Maddesi uyarınca “üst seviyeli” bir kuruluş konumundadır.

Tesisin 1 adet 12 metre çapında ve 12 metre yüksekliğinde dikey silindirik yapıda atmosferik depolama tankı mevcut olup bu tank içinde benzin depolanmaktadır. Benzin istasyonlara kara tankerleri aracılığı ile depodan dolun yapılarak satılmakta, kritik seviyeye indiğinde de alım yapılarak depolama tankı tekrar doldurulmaktadır. 1.000 m<sup>3</sup> envantere sahiptir. Yaklaşık 1000 ton ürün alabilmektedir. Diğer tanklara bakacak olursak; toplam 9 adet dikey silindirik konumlandırılmış mazot tankları vardır. Bu motorin tanklarının 6 adedi 30 metre çapında, 15 metre yüksekliğinde; 2

adedi ise 46 metre çapında, 14,5 metre yüksekliğinde; 1 tanesi ise 85 metre çapında ve 15 metre yüksekliğindedir. 6 adet 30 metre çapında, 15 metre yüksekliğinde olan tanklar 10.000 m<sup>3</sup>, 2 adet 46 metre çapında 14,5 metre yüksekliğinde olan tanklar 25.000 m<sup>3</sup> ve 85 metre çapında ve 15 metre yüksekliğinde olan son tank ise 60.000 m<sup>3</sup> hacme sahiptir (Şekil 3). Motorin de yine istasyonlara kara tankerleri aracılığı ile depodan dolum yapılarak satılmakta, kritik seviyelere indiğinde de alım yapılarak depolama tankları yeniden doldurulmaktadır. Komşu elektrik tesisi için de depolama ve satış yapıldığından satış mevcut boru hattı üzerinden gerçekleşmekte, alım ise deniz yoluyla gelen gemiler aracılığı ile mevcut denizdeki iskeleden gelen boru hattı aracılığı ile yapılmaktadır. İki adet tank en az % 80 doluluk ile komşu elektrik tesisinde elektrik arzında artış olduğunda, dizel jenerasyon ünitelerine gerekli olabilir diye devamlı olarak rezerve halinde bekletilmektedir.



Şekil 3.1. Tesis Krokisi

Çalışılan tesisin yakınlarında yine basınçlı kürelerle stoklanan LPG depolama tesisi ve benzer başka yüksek hacimlerde atmosferik tanklar ile depolama yapan akaryakıt tesisleri de bulunmaktadır. Bunların yanı sıra Elektrik Üretimi yaparak İstanbul şehrinin önemli ölçüde elektrik ihtiyacını karşılayan bir elektrik üretim tesisi de bulunmakta, doğalgaz çevrimi ile çalışan bu tesis kapasite artışını motorin ile üretim yapan bir jenerasyon ünitesini ek olarak devreye alarak gerçekleştirmektedir.

Akaryakıt depolama yapılan kuruluş ile Elektrik Üretim tesisinin araları 7 -10 metre kadar yakındır.

Bu bölgenin yakın çevresi ise 450 metre kadar doğu yönünde uzaklıkta başlayan 500.000 nüfusu barındıran bir yerleşim yeri ile yine batı yönünden 1400 metre kadar uzaklıkta başlayan 800.000 nüfusu barındıran bir başka yerleşim bölgesi ile kuşatılmıştır. Kuzeyden 800 metre kadar uzaklıktan ise ana yol geçmektedir. Güneyde deniz ve doğal olarak liman bulunmaktadır.

Bölgenin limana sahip olmasından kaynaklanan stratejik konum daha sonra yerleşim yerlerinin gelişmesi ile birlikte, çevre yerleşim üzerinde risk teşkil etmektedir. Limana yanaşan gemilerden akaryakıt transferi tanklara dolum yapılarak gerçekleştirilmektedir.

Kuruluşta çok yüksek miktarlarda yanıcı, hatta çok kolay alevlenebilir akaryakıt depolanması nedeniyle parlama yangını, havuz yangını, jet yangını ve buhar bulutu patlaması riskleri değerlendirilmiştir. Kuruluşta seçilen tehlikeli maddeleri bulunduran ekipmanlar ise kritik ekipman olarak ele alınmıştır.

Harici tehlikeler olarak doğal afetlerden kaynaklı; yıldırım, sel, deprem vb. ile çevre tesislerden kaynaklanan tehlikeler; sabotaj, kundaklama, hava hareketleri nedeniyle uçak veya helikopter gibi hava araçlarının tesis üzerine düşmesi gibi olaylar nedeniyle olabilecek kötü kazaların sonucu sızıntı, yayılım, erken veya geç tutuşma ile birlikte patlama üzerinden en kötü durum da dahil domino etkisi üzerinden etki alanı belirlenmeye çalışılarak yazılım ile modellenmiş, çıkan neticeye göre alınması gereken önlemler hakkında değerlendirmeler yapılarak öneriler getirilmiştir. . Bu tesislerden ve ekipmanlardan kaynaklı büyük kazalardan kaçınmak ve/veya etkilerini azaltmak için mevcut önleme ve hafifletme önlemleri de sonuç bölümünde yer almıştır.

### **3.1.1 Bölge yakınındaki liman ve kazaya etkisi olabilecek tehlikeli kimyasal taşınımı**

Bölge Limanı olarak, İstanbul Bölge Müdürlüğü'ne bağlı olan limanda, kuru sıvı ve katı yük yükleme yapılmaktadır. İskele boyu 6.141 metre, eni 20-35 metre, derinliği ortalama 12 metre ve yüksekliği 3 metre olan limanın kapasitesi vinç

kapasitesi 10 -104 tondur. Aynı anda orta boyda 48 gemi yanaşabilmektedir. 14.500 m<sup>2</sup>, açık olmak üzere toplam depolama kapasitesi 434 500 m<sup>2</sup> dir.

Çizelge 3.1. Ambarlı limanına uğrayan gemilerin türlerine göre dağılımı

Gemi Cinsi	Türk Gemisi	Yabancı Gemi	Toplam
LPG Tankeri	96	0	96
Kimyevi Madde Tankeri	539	20	559

### 3.2 Hazop Çalışması

6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu,

İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirme Yönetmeliği ve

IEC 61882 “Tehlike ve İşletilebilirlik Çalışması (HAZOP)-uygulama rehberi” ne uygun şekilde HAZOP çalışması yapılmıştır.

#### 3.2.1 Hazop Amacı

Özellikle petrokimya ve kimya sanayine yönelik risk metodlarından biri olan tehlike ve işletilebilirlik çalışması (HAZOP) yapılan risk değerlendirmesi çalışmasında, tesis ve proseslerde uygulamak, bir prosesi yöneten farklı fiziksel parametrelerin, nominal değerlerinden sapmaları sonucunda oluşturacakları etkileri tespit edip, değerlendirebilmek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

### 3.3 Hazop Metodunun Uygulanması

#### 3.3.1 Tanımlamalar:

HAZOP (Tehlike ve işletilebilirlik çalışması) metodolojisi tekniği olarak kullanılmıştır. HAZOP nitel risk değerlendirme aracı, kimyasal, fiziksel veya değişen koşullara tanımlamak için kullanılan insan hayatı, çevre veya maddi hasara nedenleri tespit etme ve riskleri belirleyebilme potansiyeline sahiptir. Yöntemin özeti aşağıda yer almaktadır:

Süreç Tehlike Analizi Raporu (Tehlikelerin Belirlenmesi)

- Düğüm seçimi,
- Sapma parametresi ve kılavuz kelime dayalı seçim,
- Nedenleri belirlenmesi ve kayıt,
- Sonuçları belirlemek & kayıt etme (güvenceler olmadan),

- Tespit edilen önem ve önceliğe göre aksiyon planı çıkartılması,
- Kabul edilebilir risk seviyesinin belirlenmesi, kabul edilemez riskler için aksiyonların önceliklendirilmesi,

Tesisteki tehlikelerin belirlenmesinde tehlikeli kimyasal maddeler baz alınarak benzin hattı parlama noktası çok düşük olduğu ( - 42 °C ) ve kolay alevlenebilir olduğu için en tehlikeli madde olarak değerlendirilmiştir ve bu hat ele alınmıştır. İnsan faktörleri bir kontrol listesinin kullanımı yoluyla gözden geçirilmiştir.

### **3.3.2 Risk no**

Risk değerlendirmesinin yapıldığı tarihi / değerlendirme tablosundaki sırayı / varsa revizyon numarasını ifade eder,

### **3.3.3 İncelenen madde**

Risk Yapılan kimyasal sınıflandırmasında tesis içerisinde tespit edilmiş olan ve proses güvenliğini etkileyebilme potansiyeli olan maddeyi ifade eder,

### **3.3.4 Düğüm**

Proses akışında yer alan hat/ekipman ve alt sistemleri barındıran bir bütündür.

### **3.3.5 Hat/Ekipman**

Belirlenen bir düğüm (Node) içerisinde tanımlanmış olan hat veya ekipmanı belirtir.

### **3.3.6 Alt sistemler**

Belirlenen bir düğüm (Node) içerisinde tanımlanmış olan başlangıç veya bitiş noktasını belirtir.

### **3.3.7 Proses sapmaları**

Proseste tasarlanmış ve işletme amacının kontrolü dışına çıkabilecek tehlikeli olay/durumlardır. Akış, basınç, sıcaklık, seviye, parlama noktası, ısı kapasitesi, kompozisyon, reaksiyon, zaman, işlem sırası, insan faktörü, korozyon, erozyon, pH, başlatma veya açma, kapatma veya durdurma, statik elektrik, karışım, vizkosite, sıyırma, karıştırma, transfer, ekleme, ayırma, hız, partikül büyüklüğü, ölçüm, kontrol, bakım, servis, iletişim, işlem, sinyal (işaret), tahliye (taşma havuzu) vb. 'dir.

### **3.3.8 Anahtar kelime**

Bir tasarım ve işletme amacıyla ilişkili olarak kullanıldıklarında, uygun sapmalara yönelik yaratıcı düşüncüyü yönlendirir ve teşvik eder.

### **3.3.9 Olası nedenler**

Tehlikeli sapmaya neden olabilecek, ekipman arızası, insan hatası vb. durumların belirtildiği ve değerlendirildiği kısımdır.

### **3.3.10 Olası sonuçları**

Tehlikeli sapma nedeniyle oluşabilecek olan zararın öngörülmesiyle belirtmektedir.

### **3.3.11 Mevcut güvenlik önlemleri**

Prosesteki tehlikeli sapmayı kontrol altında tutmak için tanımlanmış olan iş, ekipman, vb. durumların tanımlandığı alandır.

### **3.3.12 Gerekli aksiyonlar**

Tehlikeli sapmayı kontrol altına almak veya riski kabul edilebilir seviyeye çekebilmek için yapılması önerilen çalışmaları ifade etmektedir.

### **3.3.13 Aksiyonu alacak kişi**

Tehlikeli sapmayı kontrol altına almak için görevlendirilmiş olan kişiyi ifade ettiği gibi Risk kabul edilir seviyeye indiğinde en geç altı ayda bir kez ilgili riski kontrol etmek için görevlendirilmiş kişiyi işaret etmektedir.

### **3.3.14 Termin tarihi**

Tehlikeli sapmayı kontrol altına almak için belirlenen en geç tarihi ifade etmektedir.

### **3.3.15 Yapılan düzeltici önleyici faaliyet / faaliyetler**

Tehlikeli sapmayı kontrol altına almak veya riski katlanılabilir seviyeye indirmek için yapılan çalışmayı ifade etmektedir.

### **3.3.16 Gerçekleşme tarihi**

Belirlenen aksiyonun alındığı tarihini belirtmektedir.

## **3.4 Hazop Analizi Yapılacak Durumlar:**

Tekniğin nasıl uygulanacağını anlatan kapsamlı birçok klavuz hazırlanmıştır, en

önemlisi ve günceli ise IEC 61882 HAZOP Uygulama Rehberi'dir.

Buna göre HAZOP çalışması;

1-Proses dizayn aşamasında, planlama aşamasında, tasarım ve inşaa aşamasından önce, sistem çalışmaya başlamadan önce,

2-Risk değerlendirmesinde hazop ekibinin belirlediği sürelerde,

3-Çalışma koşullarında önemli bir değişiklik olduğunda,

4-Ortam ölçümlerinde ve sağlık gözetimlerinin sonuçlarına göre gerektiğinde,

5-Proseste veya operasyonda kimyasal maddeler nedeniyle her hangi bir kaza olduğunda,

6-Mevzuatta belirtilen sürelerde veya en az iki yılda bir defa,

7-Proses ve ekipmandaki önemli değişiklikler,

8-Proses ve operasyona bir eklenti veya tehlikeli kimyasal içeren yeni bir faaliyette hazop uygulaması yenilenir.

### **3.5 Hazop Analizinin Uygulanması:**

-Hazop uygulanırken öncelikle proses veya operasyonun bir adımı seçilir.

-Prosesin veya operasyonun bir değişkeni seçilir ve kılavuz kelimeler kullanılarak anlamlı bir "tehlikeli sapma" belirlenir.

-Tehlikeli sapmanın belirlenmesinde HAZOP Sapma Matrisi yardımcı olarak kullanılır.

-Belirlenen tehlikeli sapma için HAZOP takımı tarafından olası nedenlerin listesi hazırlanır.

-Tehlikeli sapmanın sonuçları dikkatle gözden geçirilerek sapmanın oluşmasını önleyici koruyucu önlemler tanımlanır.

-Önlemlerin alınmasından sonra kalan riskin kabul edilebilir olup olmadığına karar verilir.

-Kalan risk kabul edilebilir bir düzeyde ise alınacak aksiyonlar belirlenir.

Prosesin veya operasyonun bir adımında seçilen bir değişken için uygulanan çalışma diğer değişkenler için de uygulanır.Bu adım tamamlanınca proses veya operasyonun diğer adımlarına geçilir.

- HAZOP uygulaması İş Güvenliği ile ilgili denetimlerde kontrol edilmelidir.



### 3.6 HAZOP Çalışmasında Kullanılacak Kılavuz ve Rehber Kelimeler

Hazop çalışmasında kullanılan klavuz ve rehber kelimeler çizelge 3.2' deki gibidir.

Çizelge 3.2. Anahtar-Rehber Sözcükler Tablosu (IEC 61882, 2001 )

ANAHTAR-REHBER SÖZCÜKLER	ANLAMLAR	YORUMLAR
YOK veya DEĞİL (HİÇ)	Bu amaçların tümüyle yokluğu	Amaçların hiçbir kısmı gerçekleştirilmemiştir, ancak başka bir durum da gerçekleşmez
DAHA FAZLA	Nicel artış (bir parametrede sayısal artış – kantitatif çoğalma) veya Nicel azalışlar (bir parametrede sayısal azalış – kantitatif azalma)	DAHA AZ sözcükleri 'ISI' ve 'REAKSİYON' aktiviteleri ifade ederken, bunlar da akış oranları ve sıcaklıklar gibi miktar + özellikleri ifade etmektedir
DAHA AZ		
EK OLARAK (...KADAR İYİ)	Nitel bir artış ( <i>ilave bir aktivite meydana geliyor</i> )	Tüm tasarım ve işletme amaçları ek bir aktivite ile birlikte gerçekleştirilmiştir
		Amaçların yalnızca bazıları gerçekleştirilmiş; bazıları gerçekleştirilememiştir ( <i>Tasarım amacının sadece bir kısmına ulaşıyor – sistemin bir bölümü olması gerekenden farklı</i> )
KISMI (PARÇASI)	Nitel bir azalış	
TERS	Amacın mantıksal karşıtı ( <i>tasarım amacının mantıksal karşıtı – öngörülen yönün aksine</i> )	Bu çoğunlukla ters akış veya ters kimyasal reaksiyon gibi aktivitelere uygulanır Ayrıca maddelere de uygulanabilir, örneğin 'ANTİDOT' yerine 'ZEHİR', veya 'L' optik izomerleri yerine 'D' gibi
		Esas amacın hiçbir kısmı gerçekleştirilmemiştir. Tamamen farklı bir başka durum gerçekleşmiştir
	Tamamen değişme ( <i>başka bir aktivite oluşuyor – tamamen yerine geçme</i> )	
-DEN/DAN BAŞKA		
ERKEN	Tasarım parametresi değeri beklenenden çok önce oluşmakta.	Erken +Akış=Ürün akışı çok erken, Erken+Sıcaklık= Beklenen sıcaklığa (yüksek yada düşük) erken ulaşıldı.
GEÇ	Tasarım parametresi değeri beklenenden çok sonra oluşmakta. Erken'in karşıtı.	Geç+Seviye= Beklenen seviyeye çok geç ulaşıldı. Geç+Sıcaklık= Beklenen sıcaklığa çok geç ulaşıldı.
Tabloda belirtilen temel HAZOP Rehber-Anahtar sözcüklere ilave olarak ÖNCE/ SONRA, DAHA HIZLI / DAHA YAVAŞ, DAHA / BAŞKA NEREDE (WHERE ELSE) gibi ilave rehber-anahtar kelimeler kullanılabilir.		

### 3.7 LOPA - Koruma Katmanları Analizi (Layers of Protection Analysis)

Tamamlayıcı bir unsur olarak, risk bazlı yaklaşımlar açısından; risk analizlerinin bir bölümünün sistemin güvenliğinin doğrulanması gerekmektedir. Sistemdeki güvenlik işini gören ekipmanların işlevselliğinin ve bariyerlerinin yetkinliğini değerlendirmek amaçlanmaktadır. Bu yaklaşım bazı risk değerlendirme yöntemleri tarafından temel alınmaktadır.

Seveso direktifleri gibi; hükümetler, kanun yapıcılar veya yetkili merciler tarafından hazırlanan ve yayımlanan bazı mevzuatlarda, kimya sanayi, nükleer sanayi veya petrol tesisleri benzeri yüksek miktarlarda depolama ya da üretim yapan bazı yerler için kaza risklerinin analizine yönelik mecburiyetler vardır. Birçok durumda kalitatif risk değerlendirme yöntemleri ile elde edemeyeceğimiz, riskin kabul edilir olup olmadığı ile ilgili kesin bilgilere gereksinim duyulmaktadır.

Genel yaklaşım, “Yaralanmalar için yeterli korumadan”, veya “riskin gerektiği kadar azaltılmasından” genel ifadeler ile bahsedilmekte, “ yeterli “ kelimesinin anlamı netleştirilememektedir. Dolayısı ile risk değerlendirmeleri kapsamında, risk değerlendirmesi yapacak kişileri karar vermekte zorlayacak bir durum ortaya çıkmaktadır. Güvenliği sağlayacak sistemler kime veya nereye kadar yeterli veya kabul edilebilir olmaktadır. Hangi seviye risk, kabul edilebilir olarak ele alınmalıdır.

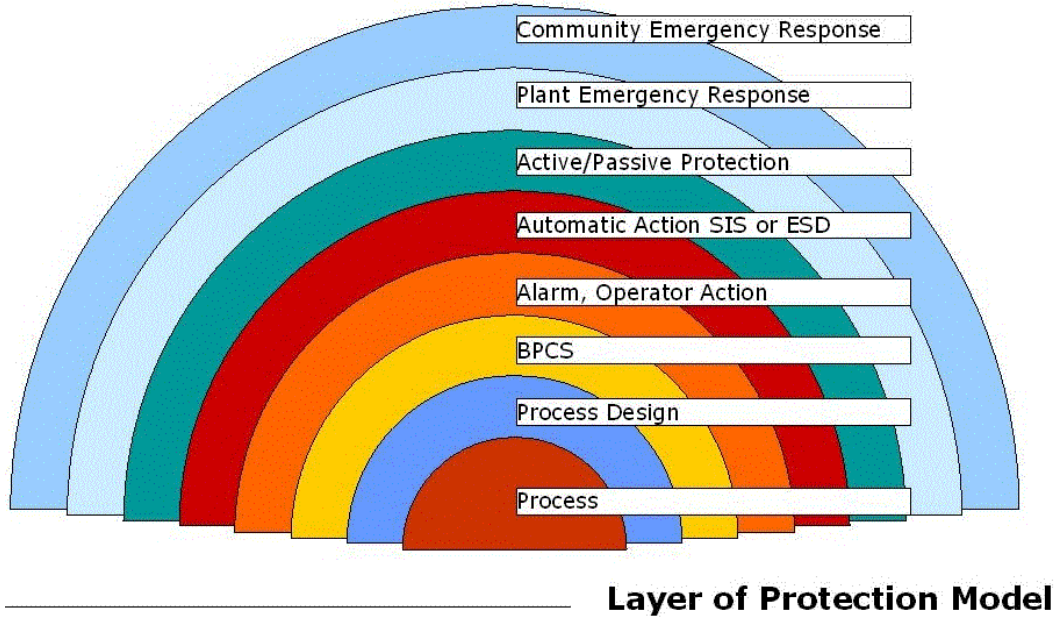
Bu bağlamda risk değerlendirmelerinin çoğunda bazı nicel değerlendirmeler kullanılabilir. Belli bir kazanın oluşma olasılığı ile meydana geldiğindeki etkilerinin büyüklüğü tahmin edilerek ya da hesaplanarak analize sokulur. Daha sonra riskin kantitatif değeri riskin kabul edilip, edilemeyeceği durumunda verilecek olan kararlarda kullanılır. Bu analizlerden en öne çıkanı ve önemlisi Koruma Katmanları Analizi (LOPA)’ dir. Koruma Katmanları Analizi, bağımsız ve yedekli sistemler istediğinden, proses emniyeti açısından maliyetli bir yöntemdir. Üstelik, operatör müdahalesi ile koruma şekline de sıcak bakmaz; bunun yerine teknolojik proses ekipmanlarına daha fazla güven duyar ve otomatik sistem durdurucu ekipmanlar üzerine kurgulama ister.

Kullanılan temel terim, açık şekilde tanımlanmamakla birlikte “koruyucu tabaka” dır. Bu tipik olarak özel proses tasarımlarını, ekipmanını, idari prosedürleri, temel proses kontrol sistemini ve / veya olumsuz ani proses durumlarına karşı alınan planlanmış önlemleri kapsamaktadır. Söz konusu önlemler otomatik veya operatör ( insan )

hareketine bağılı olabilir. “Koruyucu tabaka” Şekil 11’de gösterildiğı gibi sekiz seviyeden oluşmaktadır (Christopher, 2008).

Bunlar, muhtemel kazalara karşı nasıl aktive edildiklerine göre aşağıdaki gibi düzenlenmiştir:

1. Kendinden emniyetli proses tasarımı,
2. Temel kontrol, proses alarmı ve operatörün denetimi,
3. Kritik alarm, operatörün denetimi ve manuel müdahale,
4. Otomatik güvenlik kilit sistemleri,
5. Fiziksel koruma (tahliye ekipmanları, PRV, patlama kapakları vb.)
6. Fiziksel koruma (izolasyon, bentler, kanallar, setler vb.),
7. Tesis dahili acil durum tedbirleri,
8. Topluluk harici acil durum tedbirleri (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. LOPA katmanları (S2S, 2018)

LOPA, istenmeyen olay ya da senaryolarla ilgili riskleri tahmin etmeye yönelik yarı kantitatif bir yöntemdir. Riski kontrol etmek ya da hafifletmeye yönelik yeterli önlem bulunup bulunmadığını analiz eder. Koruma Katmanları Analizi, özellikle petrokimya endüstrisinde proses tehlike analizi yapılırken koruma seviyesinin yeterli

olup olmadığını değerlendirmek ve hangi koruma katmanının ya da bariyerinin eksik olduğunu belirlemek için kullanılır. Özellikle Seveso Direktifleri çerçevesinde proses tehlikelerine karşı ne derecede koruyucu önlemlere ihtiyaç duyulduğunu ve bu koruyucu katmanların güvenilirlik ve hata olasılıklarını analiz etmek amacı ile en çok kullanılan yöntemdir (Özkılıç, 2017).

#### **Referans standartlar:**

- IEC 61508, Elektrik/elektronik/ programlanabilir elektronik güvenlik ile ilgili sistemlerin işlevsel güvenliği (CFS, 2016).
- IEC 61511, İşlevsel Güvenlik - Proses endüstrisi sektörü için emniyetli enstrümantal sistemler (CFS, 2016).

Bu analizde bir neden-sonuç çifti seçilir ve istenmeyen sonuca yol açan nedeni engelleyen koruma katmanları tanımlanır. Olasılık hesaplaması ise; riski kabul edilir bir seviyeye indirmek için koruyucu bariyerlerin yeterli olup olmadığı belirlemek için gerçekleştirilir. HAZOP ya da PHA' yı takip eden tehlike analiz sürecinde ihtiyaç hissedilen koruyucu katmanların ne kadarlık kısmına gereksinim duyulduğunun analizi için, yarı nitel bir yaklaşım olarak kullanılır. LOPA, bir risk ya da tesadüfi bir olay ile bu olayın/riskin sonucu arasındaki koruma katmanlarını incelemek için daha kolay bir şekilde nitel olarak da kullanılabilir. Bu analiz çoğu zaman olasılıklar üzerine güvenlik analizi veya olasılıklar üzerine risk analizi olarak adlandırılır. Bu tür uygulamalarda risk değerlendirmesi iki ana bileşene sahiptir:

- Risk tahmini (olasılıkların ve etkilerle ilgili tahmin yapma)
- Risk değerlendirmesi (riskle ilgili genel olarak değerlendirme yapma, mesela, nasıl anlaşıldığı ve riskin kabul edilebilirliği ile ilgili)

Belli bir risk için risk değerlendirmesi yapıldığında birtakım kriterler ve kabul edilme seviyeleri gerektirir. Bir tehlike için meydana gelme sıklığı ile sonuçlarının derecesi ve kabul edilme seviyeleri arasındaki ilişki ALARP ( As Low As Reasonably Practical ) veya ALARA ( As Low As Reasonably Applicable ) şeklinde değerlendirilir.

IEC 61508 standardında tarif edildiği üzere LOPA, güvenlik enstrümanlarına yönelik güvenlik bütünlüğü seviyelerinin (Safety Integrity Level-SIL) saptamasına ve enstrümanlı sistemlerin bağımsız koruma katmanlarının (Independent Protection

Layer-IPL) belirlenmesine bir zemin hazırlar. LOPA, her bir koruma katmanı tarafından üretilen risk azaltılmasını analiz ederek, risk azaltma kaynaklarını etkili bir şekilde değerlendirmeye yardımcı olması için kullanılır (Christopher, 2008).

### 3.8 PHAST Yazılımı ile Kantitatif Risk Analizleri

Öncelikle benzin yakıtının depolandığı tank üzerinde, benzinin çok tehlikeli bir materyal olmasından kaynaklanan senaryolar dâhilinde çalışmalar yürütülmüştür. Ancak, motorin yakıtı daha az tehlikeli görünmesine rağmen depolanan miktarlar benzin depolamasının çok çok üzerinde olduğundan özellikle katastrofik yarılma şeklindeki bütünlük kaybı etkisi bu tanklar üzerinde de çalışılmıştır. Havuz yangını, jet yangını, flaş yangını, havuz yangınları ve buhar bulutu patlaması modellemeleri DNV firmasının Phast 7.21 yazılımı ile modellenmiştir. Bu modellemeler gerçekleştirilirken, patlama modellemeleri için Multi Enerji modeli kullanılmış; erken ve geç patlama hesaplamaları yapılmıştır. Jet yangını için Cone modeli kullanılmış; 2,5 mm çapındaki bir delikten sızıntı modellenerek, 4 kW/m<sup>2</sup>, 12,5 kW/m<sup>2</sup> ve 37,5 kW/m<sup>2</sup> termal etkinin etkileyebileceği alan hesaplanmış ve modellenmiştir. Sızıntı için 2,5 mm çapında bir delik alınması, Atex standardı olan EN 60079-10 Tablo B-1 de tanımlanan değerdir. Havuz yangını için ise, yine sızıntı veya dolum sırasında bir taşma sonucu oluşacak havuzda bir tutuşma sonrası 4 kW/m<sup>2</sup>, 12,5 kW/m<sup>2</sup> ve 37,5 kW/m<sup>2</sup> termal etki üzerinden hesaplamalara gidilmiştir. Bu etkiler sırasıyla %1, %10 ve %99 öldürücü etki olarak anılmaktadır. 37,5 kW/m<sup>2</sup> proses ekipmanlarına ve yapısal zararlara yol açabilen yanma etkisi, 12,5 kW/m<sup>2</sup> ahşabın tutuşma sıcaklığına (yaklaşık 270 °C) ulaşarak tutuşabileceği nokta ile plastiğin eriyeceği sıcaklık ve 4kW/m<sup>2</sup> ise insanlar üzerinde 20 saniye sonrasında 1. derece yanık ve 30 dakikalık bir etki ile camların kırılarak zarar görebileceği etkiler olarak da tanımlanmıştır (Gye, 2019). Purple Book (Mor Kitap) 4 kW/m<sup>2</sup> etkinin camları kırabileceğini, 10 - 15 kW/m<sup>2</sup> etkinin ise tutuşturucu alevlerin başlayabileceği kritik nokta olarak belirtmektedir. Aynı zamanda, herhangi bir uzaklıktaki 35 kW/m<sup>2</sup> termal etkinin 0,1 ile 0,03 bar arasında bir aşırı basınç etkisine sahip olduğunu da işaret etmektedir (Book, 1999).

Buhar bulutu patlaması için ise patlama 0,1396 bar etki kulak zarının patlatabilecek yapıların taşıyıcı aksamını yıkabilecek çatıları çökertebilecek şiddete sahip bir patlamadır. 0,04 bar ise pencerelerin parçalanması ve evlere küçük yapısal hasarlar

verebilen bir basınçtır. Patlama etkisinin anlaşılabilmesi adına verebileceğimiz bir örnek de 0,01 bar basıncının camların kırılması için eşik basınç değeridir (Casal, 2017). Purple Book (Mor Kitap) 0,01 bar basınç etkisinin camları kırabilecek kritik basınca işaret ettiğini belirtmektedir. 0,1 bar basıncın ise evlerin %10 unun ciddi şekilde hasar göreceği ve içindekilerin % 2,5 unun ölebileceği bir etkiye sahip olduğunu belirtmektedir (Book, 1999).



## 4. ARAŞTIRMANIN BULGULARI

### 4.1 Yazılımların Etkinliği

Yanıcı gazlar ve yanıcı sıvıların buharları fiziksel bütünlük kaybı sonucu dışarı çıktığında (LOC) gaz ve/veya buharın salınım ve dağılım modeline bağlı olarak farklı davranışlar göstermekte ve farklı riskler gelişmektedir. Buhar yoğunluğu havadan yüksek olan benzin buharı ve/veya LPG yer çekimi ile zemine doğru hareket ederken, gaz yoğunluğu havadan çok düşük olan doğalgaz yukarıya doğru yükselmektedir. Gaz ve buharların salınım ve yayılım eğilimi; rüzgârın etkisi ile birlikte büyük ölçüde maddelerin ve/veya bileşiklerin molekül ağırlıklarına ve yoğunluklarına bağlıdır buna mukabil yoğunluğun fazına ve sıcaklığa bağlı değişkenlikte göstermektedir.

Olası kaza modellemeleri yapılırken, muhtemel yanıcı veya patlayıcı ortamları yaratabilecek maddelerin salınımı, yayılımı ve dağılımı belirlenmeli, bu ortamları oluşturabilecek boşalma kaynaklarının ve boşalma derecelerinin tespiti, boşalma kaynaklarından açığa çıkabilecek boşalma hızının belirlenmesi, salınım oluşabileceği ortamdaki hava akım hızının ve yönünün değerlendirilmesi, salınım noktasının çevresinde oluşacak tehlikeli alanın türünün ve sınırlarının belirlenmesi, patlama şiddetinin etki değerlendirmesinin yapılması ile etkileyebileceği alanın hesaplanması gerekmektedir. Ayrıca etki alanı içinde meydana gelebilecek flaş yangınların etkilerinin de hesaplanması gereklidir. Yangın ve patlama riskinin haricinde toksik etki yaratabilecek tehlikeli kimyasallar içinde toksik etki yaratabilecek bulutun yayılımı ve dağılımı üzerinden toksik etki alanı benzer şekilde hesaplanmalıdır. Elde edilecek veriler detaylandırılarak grafiğe döküldüğünde harita üzerinde bir yazılım ile konumlandırılabilir. (Sönmez vd., 2017)

İşte bu hesaplamaların detaylandırılmaları, hatasız yapılabilmesi ve güvenilir olabilmeleri adına manuel hesaplamalardan kaçınarak bazı yazılımlar kullanılmaktadır. Bunların bazıları çok detaylı çıktılar verebilmektedir. Bu bağlamda üç yazılım programı bir örnek uygulamada değerlendirilmiştir. Bunlar, Phast, Breeze Incident Analysis ve ALOHA yazılımlarıdır.

Phast programının kullanımının yaygın olmasından dolayı kullanmak istemekle birlikte, etkilerinin iyi olduğunu daha net belirleyebilmek için alternatif iki yazılım

ile aynı senaryo üzerinde değerlendirmeler yapılarak, elde edilecek sonuca göre kendi sistemimizde detaylı bir şekilde saha üzerinden uygulamalar yapılacaktır.

Bernatik, Senovski ve Pitt' in yapmış olduğu LNG ( Liquified Natural Gas ) üzerine bir çalışma kapsamında; ALOHA ve TerEx isimli yazılımların LNG ' nin tank veya borudaki potansiyel bir delinme sonrasındaki direkt ve potansiyel salınımlarda her ne kadar sonuçları arasında farklılıklar da bulunsa iyi olduklarını göstermiştir. Buna karşılık, aynı iyi sonuç EFFECTS isimli yazılımdan alınamamıştır (Bernatik vd., 2011). Bu sonuç bize ALOHA programını, diğer iki program ile (Breeze ve Phast) birlikte değerlendirebileceğimizi ve sonuçları karşılaştırabileceğimizi göstermiştir.

Alınabilecek proaktif önlemler çok büyük önem arz etmekte, kaza olmadan önlem almak, hatta bütün önlemlere karşılık yine de bir büyük kaza durumunda yapılacak reaktif önlemler açısından bu tip kaza senaryoları ve bunların modellemeleri çok gerekli olmaktadır. Modelleme programları son yıllarda gelişme göstermek ile birlikte ne derece etkili olup olmadığı araştırılmalıdır. Sınırlı seviyede bu araştırmalar literatürde görünse de programların altyapısının her modele uygunluğu henüz tam olarak kanıtlanamamıştır. Yine de el ile yapılabilecek hesaplamaların dışında uzun matematiksel işlemler ve altyapı gerektirdiğinden hızlı ve etkili bir çözüm sunduğundan ve insan hatasını minimize ettiğinden kullanılması gereklilik arz etmektedir. Kantitatif risk analizleri her ne kadar iyi ya da kötü yapılsa da; kaza senaryoları ve modellemeleri tam olarak henüz yapılamamaktadır. Yapacağım bu çalışma bilimsel olarak bir altyapı hazırlayacağı gibi, sonuçlarının ve etkilerinin yerel ve merkezi yetkililere yerleşim yerlerinin konumlanması için gerekli tedbirlerin alınması adına fikir verebilecektir. Sanayi' ye de bir pilot uygulama olarak, yön göstereceğini, yapılması gerekenler açısından örnek teşkil edebileceği umulmaktadır. Sanayi de bu tarz uygulamaların eksikliği çok büyük ölçüde hissedilmekte, bu konudaki yetişmiş insan sayısının olmamasından da kaynaklanan bilgi eksikliği ve/veya kirliliği dolayısı ile görebileceğimiz yanlış uygulamalar olabilmektedir. Bu konudaki çalışma gelecekteki yapılacak çalışmalara da ışık tutabilecek, yanlış veya doğru olmayan uygulamalara son verebilecek, ayrıca yetişmiş insan sayımızı artırmaya yönelik iyi uygulamalar geliştirilmesine de katkı sağlayacaktır.



## 4.2 N-Heptane Üzerinden Örnekler

Aynı etkileri görmek adına N-Heptane adlı ürün benzin ile yaklaşık olarak aynı özellikleri taşıdığından ve her üç yazılımın kütüphanesinde bulunduğundan dolayı seçilmiştir. Ortam sıcaklığı yine her üç yazılımda aynı olarak 25 °C olarak, rüzgâr hızı da 2,5 m/s olarak alınmıştır. Tank üzerinde, yerden 6 metre yüksekliğinde 30 cm çapında bir delik olduğu varsayılmıştır. Tankın çapının 12 m ve yüksekliği 12 m olan benzin tankının modeli esas alınmıştır (Şekil 4.1). Jet yangını için 41 metre alev uzunluğu görülmektedir (Şekil 4.2).

Location: ISTANBUL_A, TURKEY		
Building Air Exchanges Per Hour: 0.53 (unsheltered single storied)		
Time: November 17, 2017 1615 hours ST (using computer's clock)		
CHEMICAL DATA: Chemical Name: <b>N-HEPTANE</b>		
CAS Number: 142-82-5	Molecular Weight: 100.20 g/mol	
PAC-1: 500 ppm	PAC-2: 830 ppm	PAC-3: 5000 ppm
IDLH: 750 ppm	LEL: 10500 ppm	UEL: 67000 ppm
Ambient Boiling Point: 98.4° C		
Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.060 atm		
Ambient Saturation Concentration: 59,875 ppm or 5.99%		
ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)		
Wind: 2.5 meters/second from E at 5 meters		
Ground Roughness: open country	Cloud Cover: 5 tenths	
Air Temperature: <b>25° C</b>	Stability Class: <b>C</b>	
No Inversion Height	Relative Humidity: <b>50%</b>	

Şekil 4.1. ALOHA yazılımı N-Heptane kimyasalı veri girişleri

**SOURCE STRENGTH:**

**Leak from hole in vertical cylindrical tank**

Flammable **chemical is burning** as it escapes from tank

Tank Diameter: 12 meters Tank Length: 12 meters

Tank Volume: **1,357 cubic meters**

Tank contains liquid Internal Temperature: 25° C

Chemical Mass in Tank: 740,033 kilograms

Tank is **80% full**

Circular Opening Diameter: **30 centimeters**

Opening is 5 meters from tank bottom

**Max Flame Length: 41 meters**

Burn Duration: ALOHA limited the duration to **1 hour**

Max Burn Rate: 3,040 kilograms/min

Total Amount Burned: 181,067 kilograms

Note: The chemical escaped as a liquid and formed a burning puddle.

The puddle spread to a diameter of 26 meters.

Şekil 4.2. ALOHA yazılımı N-Heptane kimyasalı Jet yangını sonuçları

**4.2.1 ALOHA yazılımı sonuçları : termal radyasyon pool fire ( havuz )**

Oluşacak havuz, tutuşma esnasında etkileyebileceği mesafe Şekil 4.3' de görüleceği gibi Kırmızı, yani birinci derecede  $10 \text{ kW/m}^2$  ısı etkisi olacak şekilde 64 metre, turuncu alan  $5 \text{ kW/m}^2$  ısı etkisi olacak şekilde 91 metre ve sarı alan  $2 \text{ kW/m}^2$  ısı etkisi olacak şekilde 143 metredir.

**THREAT ZONE:**

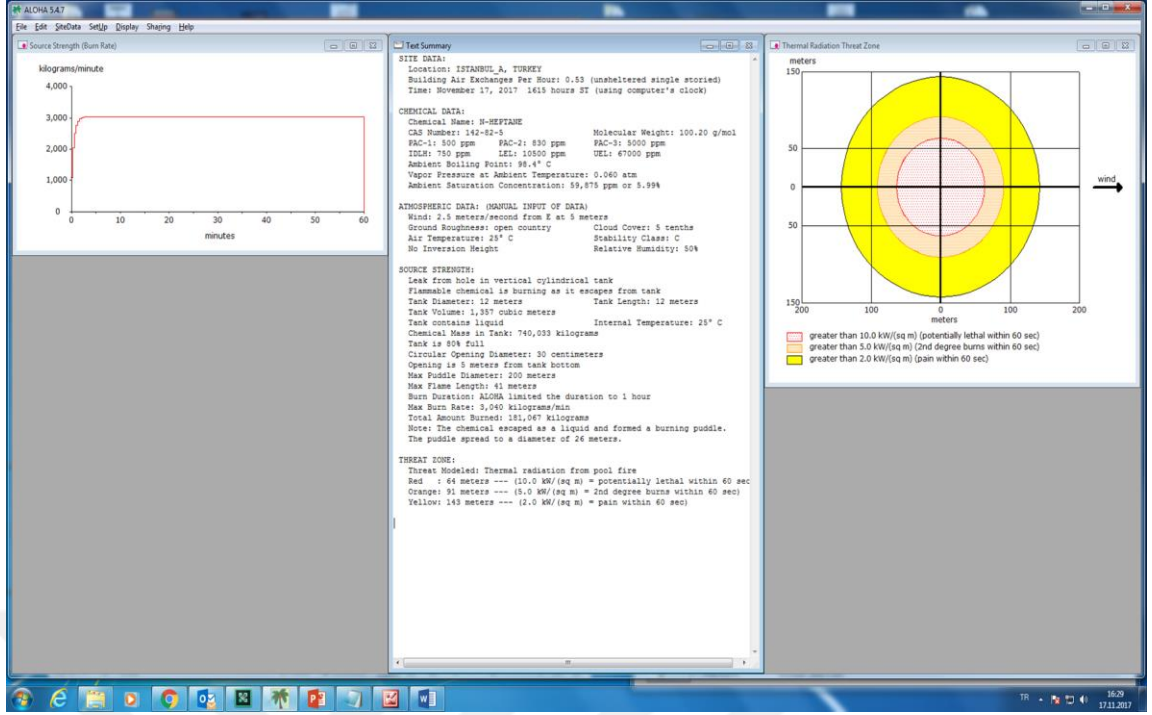
Threat Modeled: Thermal radiation from pool fire

**Red** : 64 meters --- ( $10.0 \text{ kW}/(\text{sq m})$ ) = potentially lethal within 60 sec)

**Orange**: 91 meters --- ( $5.0 \text{ kW}/(\text{sq m})$ ) = 2nd degree burns within 60 sec)

**Yellow** : 143 meters --- ( $2.0 \text{ kW}/(\text{sq m})$ ) = pain within 60 sec)

Şekil 4.3. ALOHA yazılımı havuz yangını; kırmızı, turuncu ve sarı bölge etki alanları



Şekil 4.4. ALOHA Sonuç Ekranı Termal Radyasyon

#### 4.2.2 ALOHA Yazılımı Sonuçları : Flammable Area of Vapor Cloud

Max Average Sustained Release Rate: 1,430 kilograms/min  
(averaged over a minute or more)

Total Amount Released: 57,236 kilograms

Note: The chemical escaped as a liquid and formed an evaporating puddle.  
The puddle spread to a diameter of 200 meters.

##### **THREAT ZONE:**

Threat Modeled: Flammable Area of Vapor Cloud

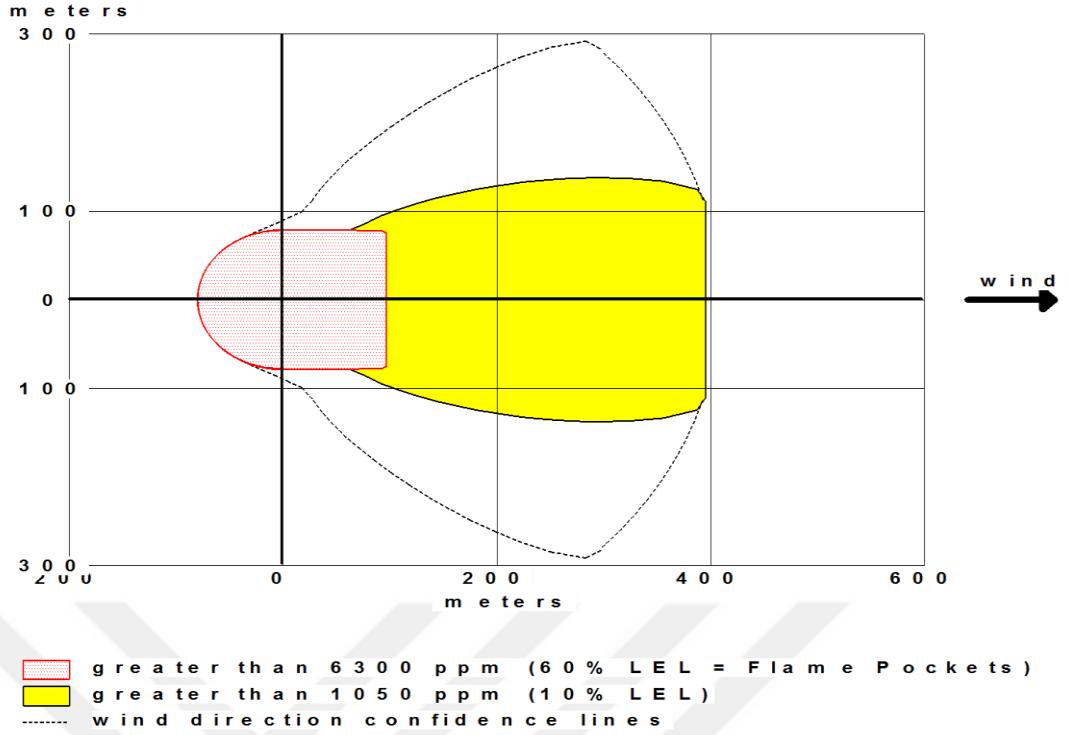
Model Run: Heavy Gas

**Red** : 98 meters --- (6300 ppm = 60% LEL = Flame Pockets)

**Yellow**: 396 meters --- (1050 ppm = 10% LEL)

Şekil 4.5. ALOHA yazılımı Buhar bulutu oluşumu, kırmızı ve sarı bölge etki alanları

Buhar bulutunun ulaşabileceği mesafe Şekil 4.5' de görüleceği gibi kırmızı, yani birinci derecede 98 metre, sarı alan ise 396 metre ile oldukça uzak mesafeleri etkileyebilecektir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. ALOHA Sonuç Ekranı Yanıcı Buhar Bulutu

#### 4.2.3 Breeze yazılımı sonuçları : termal radyasyon pool fire

Source - 0062T005 (2 / 2)

Source SLAB Explosion Fire

Release type

Vertical jet/Stack  
 Horizontal jet  
 Instantaneous  
 Evaporating pool

Continuous  
 Finite duration 1469.876 seconds

Evaporating pool parameters

Emission rate 5.05088 kg/s

Source area 2000 m\*\*2

Calculations

The SLAB dispersion model will compute concentrations along the plume centerline until a particular concentration is estimated or until a particular distance downwind is reached. Select the option that defines the maximum downwind distance SLAB will compute concentrations for.

Stop when the distance to the lowest level of concern is reached  
 Stop when the receptor farthest from the source has been reached  
 Stop at the following downwind distance from each source:  meters

Parameters	Setting	Units
Chemical Name	Heptane	
Boiling point	371.6	K
Critical temperature	540.6	K
Liquid density	684.0	kg/m**3
Ambient temperature	298.18	K
Averaging time	3600	seconds
Height of interest	0.5	meters

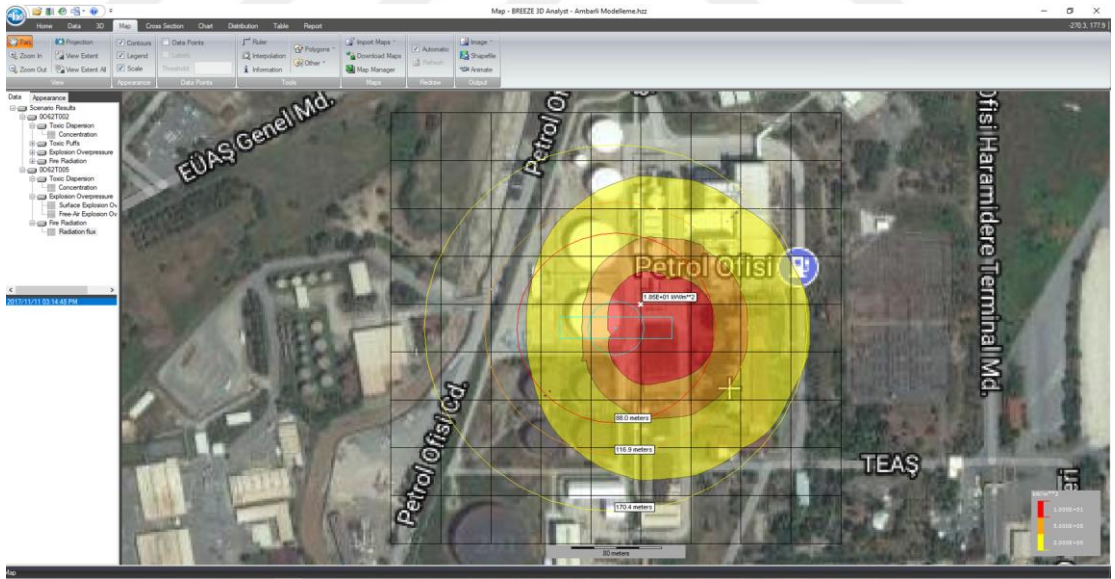
Şekil 4.7. BREEZE Giriş Ekranı

Breeze yazılımının giriş ekranı Şekil 4.7' de görülmektedir. Elde ettiğimiz sonuçlar havuz yangınında termal etki olarak, birinci bölge 88 metre, ikinci bölge 116,90

metre ve üçüncü bölge 170,40 metre olarak görülmektedir (Şekil 4.8). Etki alanı GIS üzerinde de gösterilebilmektedir (Şekil 4.9).

RESULTS	
Mass burning rate	: 0.093 kg/m**2s
Flame length	: 35.59 m
Flame tilt from vertical (front view)	: 36.94
Flame tilt from vertical (side view)	: 0.0
Maximum emissive power	
Front view (view along dike/trench width)	: 140.0 kW/m**2
Effective emissive power (front view)	: 139.96 kW/m**2
Effective emissive power (side view)	: 140.0 kW/m
-----	
Thermal flux (kW/m**2)	Distance from center of pool (m)
-----	
<b>10.0</b>	<b>88.00</b>
<b>5.0</b>	<b>116.90</b>
<b>2.0</b>	<b>170.40</b>

Şekil 4.8. BREEZE yazılımı havuz yangını etki alanları



Şekil 4.9. BREEZE Sonuç Ekranı Termal Radyasyon

#### 4.2.4 Phast yazılımı sonuçları

Path	Scenario	Weather	Pool diameter [m]	Distance downwind to intensity level 1 (2 kW/m <sup>2</sup> ) [m]	Distance downwind to intensity level 2 (5 kW/m <sup>2</sup> ) [m]	Distance downwind to intensity level 3 (10 kW/m <sup>2</sup> ) [m]
Nuri Phast_Heptane\Yakit Tesis\1357 m3	Tankta 30 cm Sızıntı	Hava Hızı 4/C	85.5828	173.859	117.92	66.3926
		<b>Hava Hızı 2.5/C</b>	<b>85.6232</b>	<b>167.304</b>	<b>107.454</b>	<b>62.6922</b>
		Hava Hızı 5/D	85.5674	176.07	122.822	67.7813

Şekil 4.10. Phast Yazılımı Sonuçları : Termal Radyasyon (Early Pool Fire)

Path	Scenario	Weather	Pool diameter [m]	Distance downwind to intensity level 1 (2 kW/m <sup>2</sup> ) [m]	Distance downwind to intensity level 2 (5 kW/m <sup>2</sup> ) [m]	Distance downwind to intensity level 3 (10 kW/m <sup>2</sup> ) [m]
Nuri Phast_Heptane\Yakit Tesis\1357 m3	Tankta 30 cm Sızıntı	Hava Hızı 4/C	474.037	658.828	441.521	270.857
		<b>Hava Hızı 2.5/C</b>	<b>478.181</b>	<b>639.966</b>	<b>413.105</b>	<b>262.466</b>
		Hava Hızı 5/D	473.265	667.927	457.285	275.741

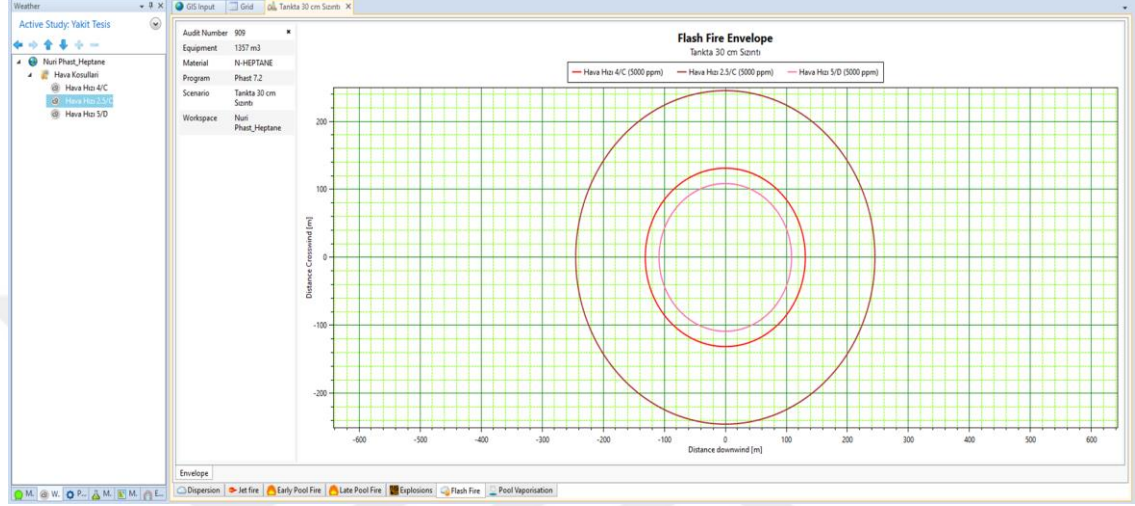
Şekil 4.11. Phast Yazılımı Sonuçları : Termal Radyasyon (Late Pool Fire)

Path	Scenario	Weather	Distance downwind to LFL [m]	Distance downwind to LFL Fraction [m]
Nuri Phast_Heptane\Yakit Tesis\1357 m3	Tankta 30 cm Sızıntı	Hava Hızı 4/C	74.6444	131.096
		<b>Hava Hızı 2.5/C</b>	<b>149.093</b>	<b>245.111</b>
		Hava Hızı 5/D	61.558	108.547

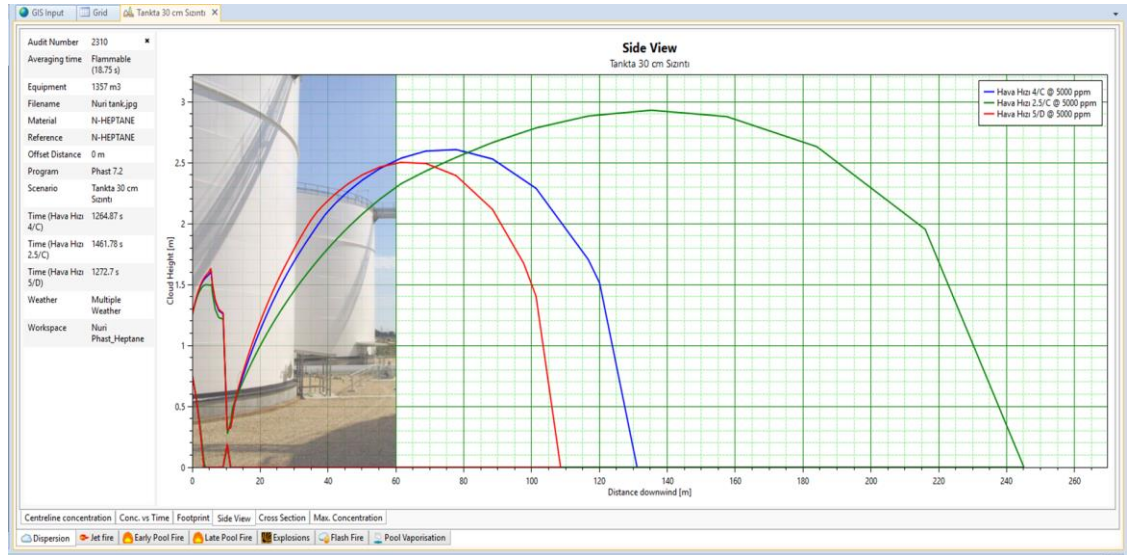
Şekil 4.12. Phast Yazılımı Sonuçları : Termal Radyasyon (Flash Fire)



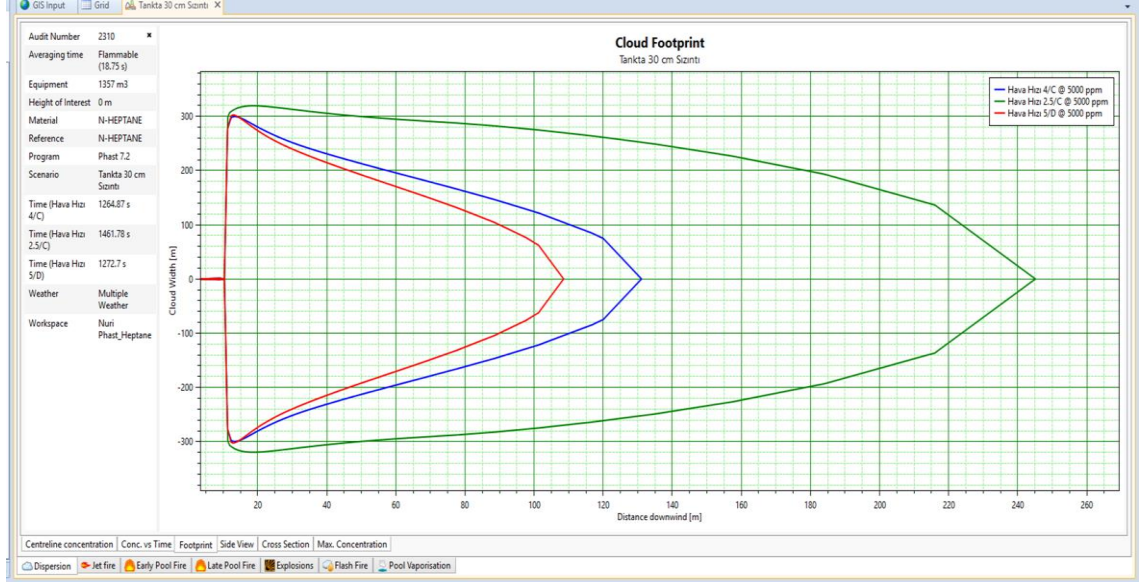
Phast yazılımı sonuçları, erken havuz yangını ve geç havuz yangını olarak ayrı ayrı elde edilebilmektedir (Şekil 4.10, Şekil 4.11). Parlama yangını için elde edilen sonuçlar da Şekil 4.12’ de görülmektedir. Yazılım elde edilen verileri grafiğe dökülebilmektedir. Yandan ve üstten etki alanları grafiksel olarak elde edilebilmektedir. (Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15).



Şekil 4.13. Phast Yazılımı Sonuçları: Termal Radyasyon (Flash Fire) Etki Alanı Grafik görüntüsü



Şekil 4.14. Phast Yazılımı Sonuçları: Dispersion (Dağılım)



Şekil 4.15. Phast Yazılımı Sonuçları: Dağılım, Yanıcı Buhar Bulutu Alanı

### 4.3 Modelleme Yazılımlarının Örnek Model Üzerinden Karşılaştırılması

ALOHA ücretsiz bir yazılım olmakla birlikte, kullanımı diğer yazılımlara nazaran çok kolaydır. Literatür çalışmalarında çok kullanılmakta ve doğruluğu kabul görmektedir. Genel hatlar kapsamında sonuç vermekle birlikte bazı durumlarda detaylı çıktılara sahip değildir. Yazılımların tamamı birbirine yakın sonuçlara sahiptir. Yapılması gereken her yazılım için, modelleme sonrası en kötü senaryoyu hesaplayarak en geniş anlamda önlem almak, tasarımları gözden geçirmek, dâhili ve harici acil durum planlarını bu şartların oluşabileceği göz önünde bulundurularak oluşturmak gerekmektedir.

Phast yazılımı modellemeleri diğerlerine göre daha kapsamlı yapmakta, erken ve/veya geç havuz yangını, en kötü durum anı gibi sonuçları verebilmektedir. Sonuçlarının güvenilirliği yine literatür de yapılmış bir çok çalışmadan da anlaşılmakta, yapılan uygulama sonucunda elde edilen bulgular da bunu desteklemektedir. Aynı anda birkaç etkeni ( parametreyi ) değerlendirerek bütün sonuçları verebilme yeteneğine sahiptir (Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12) örneğin, hava akım hızları **2,5 m/s – 4 m/s – 5 m/s** vb. Buna mukabil, görüntüleme ekranında birden çok etkileme çıktısını vermemektedir. Örneğin  $4 \text{ kW/m}^2$  etki ile  $10 \text{ kW/m}^2$  etkiyi aynı ekranda göremiyoruz.

İnsan faktörünü devreden çıkartarak ne kadar elimine edersek, otomasyonu ne kadar öne çıkartırsak güvenilirlik o kadar iyi artacaktır. İnsanın hata yapabilme ihtimalini



en aza indirmemiz gerekir. Bu bağlamda, Phast yazılımı diğer yazılımlara göre kütüphanesi daha kapsamlı olup, ( 1600 adet kimyasal veritabanı ) manuel girişleri azaltmaktadır. Ayrıca kütüphanesinde olmayan bazı kimyasalların karışımından oluşan bileşimler için ayrı bir modülde hesaplama yapması ile de insan hatası riskini önemli ölçüde azaltmaktadır. Ayrıca, Phast yazılımı ile oransal ( % şeklinde ) giriş yapılabilen olup, kimyasalların sadece net hacim veya ağırlıklarının girilmesi gerekmektedir. Diğer iki yazılımda ise önemli ölçüde uzman bilgisine ihtiyaç vardır.

Phast; Jet Fire, Pool Fire ve Toxic etki için olay ağacı analizine göre maddenin olabilecek zararlı etkilerinin tümünü birden değerlendirebilme yeteneğine sahiptir. Diğer yazılımlarda, her bir olay için ayrı ayrı hesaplama yapılması, senaryonun veri girişlerinin tek tek her seferinde yeniden tanımlanması gerekmektedir. Breeze yazılımında, toksik etki için Lowest Toxic etki değerini ppm olarak manuel olarak girmek gerekmektedir (Şekil 4.7, Şekil 4.8).

Ayrıca, Breeze ve Aloha yazılımları ile domino etkisinin değerlendirilmesi mümkün değildir. Phast yazılımının kombinasyon şeklinde ele aldığı cascade yani domino etkisi olarak adlandırdığımız birbirini tetikleyen/etkileyen olaylarda sonuç çıkarma kabiliyeti tartışılmaz. Domino etkisi için 3 - 4 boru/tank peşi sıra patlaması için konumlandırarak, modelleme yapabilme yeteneğine sahip. Tankların özelliklerine göre de toplam etkiyi modelleyebilmektedir. Üstelik, Phast yazılımı ile termal etkinin kriterlerini belirleyerek değiştirebiliyoruz (Ör. 7 kW/m<sup>2</sup> veya 13 kW/m<sup>2</sup> gibi).

Sonuç olarak, yazılımlar arasında farklılıkların bulunması göreceli olarak programların korumacılık ( koruma marjları ) bakış açılarından kaynaklanmaktadır. Birbirleri ile mukayasenin anlamlı bir sonuç çıkartabilmesi için, yüzlerce deneysel verinin değerlendirilerek doğrulanması gerekmektedir. İş güvenliği analistlerinin, çeşitli modellemelerde bu yazılımları kullanırken, yazılımların kuvvetli yönleri ile limitlerini de değerlendirmeleri yapılan işin güvenilirliği açısından önemlidir. Kullanıcıların becerileri ve deneyimleri genellikle yazılım seçiminde ağır basmaktadır.

Önemli noktalardan bir diğeri ise kullanılan yazılımın yanında **teknik modelin** oluşturulması ve doğrulanmasıdır. Kullanılan parametrelerin hassasiyeti de modellemenin doğrulanması için önemli başka etkenlerdendir. Yüksek miktarlarda depolanan/kullanılan petro-kimya tesislerindeki tehlikeli kimyasalların

dökülme/sızıntı hızı, oluşacak havuzdan buharlaşma hızı, buharlaşma miktarı, oluşan/açığa çıkan yanıcı gaz kimyasalın alt patlama limitine (Lower Explosion Level - LEL) ulaşma süresi, yangın olasılığında, termal radyasyon etki durumu ile güvenli uzaklıklar, patlama olasılığında da patlama şiddeti uygun yöntemler ile hesaplanmalıdır. Bu hesaplamalar sonucu ile kaçış rotaları, tahliye planları, müdahale ekiplerinin yetki alanları ve sorumlulukları, müdahale şekil ve yöntemleri, müdahale mesafeleri vb. gibi önemli konular etkili bir şekilde belirlenebilir. Modelleme programları, bu hesaplamaları insan hatasını minimize ederek yapabilmektedir. Bu çalışmalar sonrasında hazırlanacak acil durum planları, can kaybı ve maddi hasarı minimum seviyeye düşürmüş olacaktır.

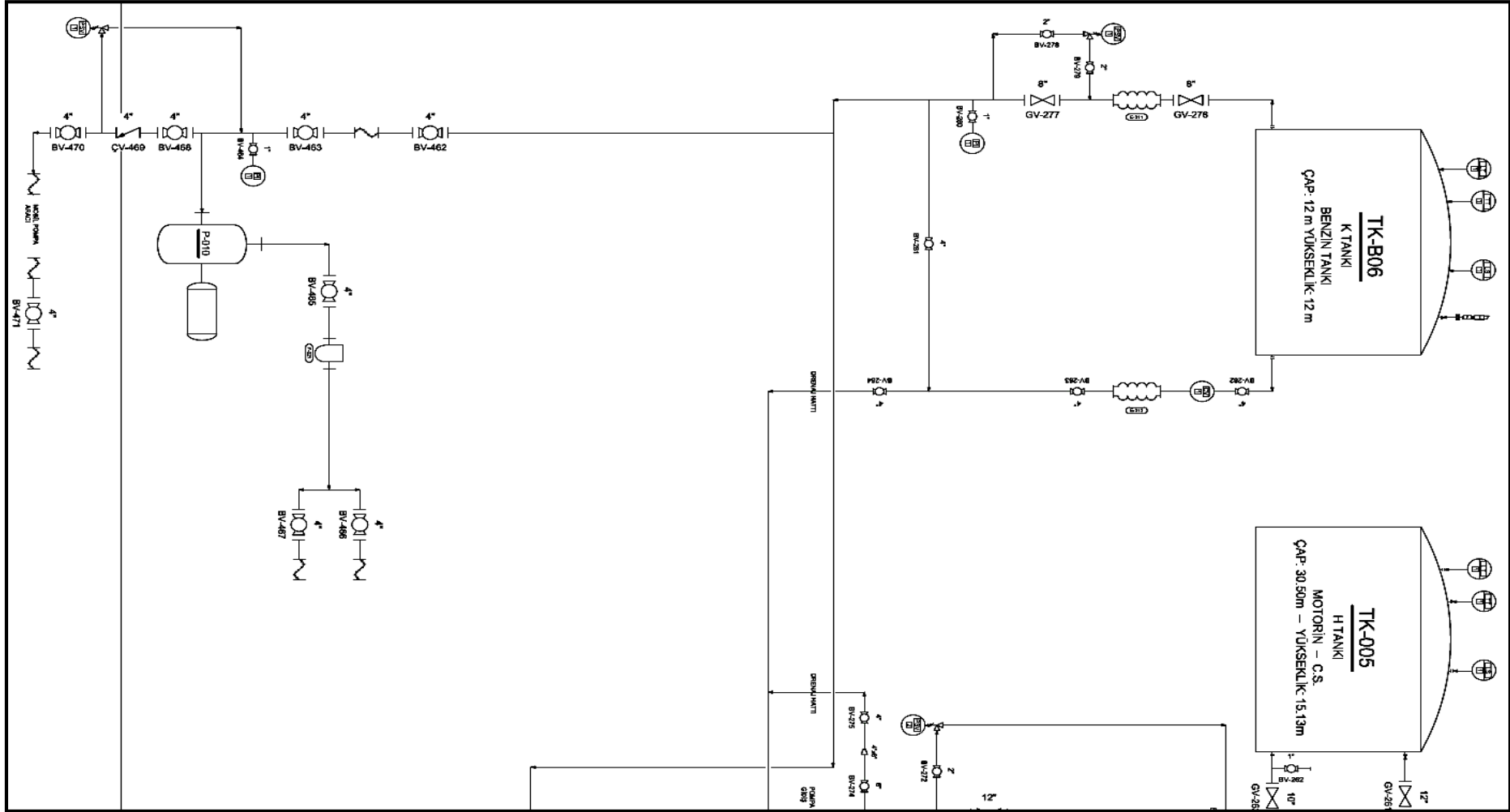
Olası kaza modellemeleri yapılırken, muhtemel yanıcı veya patlayıcı ortamları yaratabilecek maddelerin salınımı, yayılımı ve dağılımı belirlenmeli, bu ortamları oluşturabilecek boşalma kaynaklarının ve boşalma derecelerinin tespiti, boşalma kaynaklarından açığa çıkabilecek boşalma hızının belirlenmesi, salınımın oluşabileceği ortamdaki hava akım hızının ve yönünün değerlendirilmesi, salınım noktasının çevresinde oluşacak tehlikeli alanın türünün ve sınırlarının belirlenmesi, patlama şiddetinin etki değerlendirmesinin yapılması ile etkileyebileceği alanın hesaplanması gerekmektedir. Elde edilecek veriler detaylandırılarak grafiğe döküldüğünde harita üzerinde bir yazılım ile konumlandırılabilir.

Bu çalışmalar sonrasında, bakım planlamaları, ömür hesapları, sistemin ve ekipmanların güvenilirlik durumları da ayrı çalışmalar kapsamında değerlendirilerek belirlenebilir.

#### **4.4 HAZOP Çalışması Bulguları**

İstanbul içindeki petrol ( benzin ve motorin ) tesisi üzerinde dolun ve boşaltım esnasındaki surumlar, benzin hattı üzerinden HAZOP Çalışması ile değerlendirilmiştir. Benzin hattı, benzinin parlama noktasının düşüklüğü ( - 42 °C ) nedeniyle daha riskli bir ürün olduğu için seçilmiştir. Bu çalışma sonucu elde edilen verilerden bu hattın kritik noktaları analiz edilecek ve elde edilen veriler doğrultusunda senaryolar oluşturulacak motorin tankları da dahil domino etkileri ile birlikte Phast yazılımı kullanılarak modellenmiştir.

Yapılan HAZOP çalışması Şekil 4.16' daki P&ID diagramı üzerinden gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.16. Tesis P&ID Diyagramı – Benzin Tankı

Çizelge.4.1. Hazop çalışması

TEHLİKE VE İŞLETİLEBİLİRLİK ÇALIŞMASI (HAZOP) TABLOSU				Doküman No: 01		Rev. 00							
Risk No	İncelenen Madde	DÜĞÜM		Proses Sapmaları	Anahtar Kelime	Olası Nedenler	Olası Sonuçlar	Mevcut Güvenlik Önlemleri	Gerekli Aksiyonlar	Aksiyonu Alacak Kişi	Termin Tarihi	Yapılan Düzeltici Önleyici Faaliyetler	Gerçekleşme Tarihi
		Hat / Ekipman	Alt Sistemler										
1	Benzin	Benzin Transferi	Benzin Çıkış Tanker Dolum	Akış	Daha Fazla	Pompanın set değerinin sapması, dolum otomasyon cihazının bozulması.	Statik elektrik sonucu yangın	Topraklama mevcuttur.	Hattın periyodik olarak korozyon ve topraklama kontrolü yapılmalıdır. Topraklama yapılmadığı zaman otomatik olarak transferi başlatmayan sistem kurulmalıdır.	İşveren	04.12.2018		
2	Benzin	Benzin Transferi	Benzin Çıkış Tanker Dolum	Basınç	Daha Fazla	Dolum kolunun start yapıldıktan sonra açık olmaması	Geri dönüş sistemi açık olduğu için hatta basınç artışı olmaz	Geri dönüş sistemi vardır. Pompa hattı üzerinde PRV valfi, basınç göstergesi (manometre) mevcuttur.	İhtiyaç yoktur	İşveren	Devamlı takip		

Çizelge 4.1. Hazop çalışması (devamı)

3	Benzin	Benzin Transferi	Benzin Çıkış Tanker Dolum	Basınç	Daha Fazla	Ortam sıcaklığının beklenenden fazla olması halinde hat içindeki basıncın yükselmesi	Geri dönüş sistemi açık olduğu için hatta basınç artışı olmaz	Geri dönüş sistemi vardır. Pompa hattı üzerinde PRV valfi, basınç göstergesi (manometre) mevcuttur.	İhtiyaç yoktur	İşveren	Devamlı takip		
4	Benzin	Benzin Transferi	Benzin Çıkış Tanker Dolum	Basınç	Beklenenden Fazla	Ürün alınması sırasında hattın bir veya iki tarafının kapalı olması	Tanker tahliye hattı bağlantısı ile giriş vanası arasındaki flanştan Benzin sızması	Pompa PRV üzerinden geri dönüş yapar. Acil stop butonu mevcuttur.	Tanker dolum pompasının durdurulmasını sağlayacak önlem alınmalıdır.	İşveren	04.12.2018		
5	Benzin	Benzin Transferi	Benzin Çıkış Tanker Dolum	Seviye	Daha fazla	Kapasiteden fazla ürün setlenmesi nedeniyle tankerde Benzin taşması	Sızıntı ve yangın	Dolum esnasında operatör / Şoför tanker kapasitesini setlemeden önce kontrol etmektedir.	İhtiyaç yoktur	İşveren	Devamlı takip		
6	Benzin	Benzin Transferi	Benzin Çıkış Tanker Dolum	Seviye	Daha az	Tankerde ürün seviyesinin düşük olması sonucu statik elektrikleme	Sızıntı ve yangın	Seviyeden kaynaklanan statik elektrik tehlikesi, ürün dolumunda akış hızı kontrol edilerek ve göz kapasiteleri ayarlanarak statik elektrik artışı kontrol altına alınmaktadır.	İhtiyaç yoktur	İşveren	Devamlı takip		

Çizelge 4.1. Hazop çalışması (devamı)

7	Benzin	Benzin Transferi	Benzin Çıkış Tanker Dolum	Sıcaklık	Daha Fazla	Hatta basınç yükselir	Ortam sıcaklığı (güneş altındaki) hat üzerinde tehlikeli bir basınç yükselişi oluşturur	Pompa hattı üzerinde PRV valfi, basınç göstergesi (manometre),geri dönüş sistemi mevcuttur.	Periyodik olarak test ve kontrolleri düzenli olarak yaptırılmalıdır.	İşveren	04.12.2018		
8	Benzin	Benzin Transferi	Benzin Çıkış Tanker Dolum	Açma	Daha Az	Hat üzerinde basınç artışı olur, flanşlar ve manometre Benzin kaçırabilir	Benzin sızdırması, Benzin havuzunun oluşması	Tesis içi koordinasyon kurulmaktadır	Benzin hattı kullanıldığında Tanker dolum ile koordinasyon kurulmalı, hat üzerindeki vanalar tam olarak açılmalıdır	İşveren	04.12.2018		
9	Benzin	Benzin Transferi	Kara Tankeri Benzin Tahliye	Akış	Daha Fazla	Kara tanker hattındaki pompa basıncının yükselmesi, pompa elektriğindeki frekans değişimi	Tank kontrolsüz dolar, Tank taşar, Benzin yayılır, tank içi statik elektrik artışı olur	Otomasyondan gözlenen tank üstündeki seviye göstergeleri mevcuttur. (servo ve harici seviye alarmları) - Tesis içerisinde farklı noktalarda program kurulu ve gerektiği yerde kontrol edilmesi mümkündür.	Kara tanker tahliye hattı üzerine akış ölçer tesis edilmelidir.	İşveren	04.12.2018		

Çizelge 4.1. Hazop çalışması (devamı)

10	Benzin	Benzin Transferi	Kara Tankeri Benzin Tahliye	Akış	Hiç	Kara tanker tahliye hattı pompa arızası vana operasyonu hatası	Akışın durması ve ters yöne ürün akışı	Çek valf mevcuttur. Otomasyondan gözlenen tank üstündeki seviye göstergeleri mevcuttur. (servo ve harici seviye alarmları) - Tesis içerisinde farklı noktalarda program kurulu ve gerektiği yerde kontrol edilmesi mümkündür	İhtiyaç yoktur	İşveren	Devamlı takip		
11	Benzin	Benzin Transferi	Kara Tankeri Benzin Tahliye	Akış	Ters	Çek valf arızası	Hattın içine kontrolsüz Benzin dolması, maddi kayıp	Otomasyondan gözlenen tank üstündeki seviye göstergeleri mevcuttur. (servo ve harici seviye alarmları) - Tesis içerisinde farklı noktalarda program kurulu ve gerektiği yerde kontrol edilmesi mümkündür	Çek-valfin periyodik olarak düzenli şekilde kontrolü yapılmalıdır.	İşveren	04.12.2018		
12	Benzin	Benzin Transferi	Kara Tankeri Benzin Tahliye	Basınç	Daha Fazla	Hat üzerindeki vanaların tam olarak açık olmaması,	Benzinin flanştan sızması sonucu yangın ve patlama	Pompa hattı üzerinde PRV valfi, basınç göstergesi (manometre), by-pass sistemi mevcuttur.	PT tesis edilmeli ve alarm vermesi sağlanmalıdır. Periyodik olarak düzenli test ve kontrolleri yaptırılmalıdır.	İşveren	04.12.2018		

Çizelge 4.1. Hazop çalışması (devamı)

13	Benzin	Benzin Transferi	Kara Tankeri Benzin Tahliye	Basınç	Daha Fazla	Ortam sıcaklığının beklenenden fazla olması halinde hat içindeki basıncın yükselmesi	Benzinin flanştan sızması, Hat basıncının dayanma sınırını aşması halinde hatta yırtılma	Pompa hattı üzerinde PRV valfi, basınç göstergesi (manometre), by-pass sistemi mevcuttur.	PT tesis edilmeli ve alarm vermesi sağlanmalıdır. Periyodik olarak düzenli test ve kontrolleri yaptırılmalıdır.	İşveren	04.12.2018		
14	Benzin	Benzin Transferi	Kara Tankeri Benzin Tahliye	Basınç	Beklenenden Fazla	basınç ölçer arızası, kalibrasyon hatası	Benzinin flanştan sızması	Pompa hattı üzerinde PRV valfi, basınç göstergesi (manometre), by-pass sistemi mevcuttur.	PT tesis edilmeli ve alarm vermesi sağlanmalıdır. Periyodik olarak test ve kontrolleri yaptırılmalıdır.	İşveren	04.12.2018		
15	Benzin	Benzin Transferi	Kara Tankeri Benzin Tahliye	Basınç	Beklenenden Fazla	Ürün alınması sırasında hattın iki tarafının kapalı olması	Tanker tahliye hattı bağlantısı ile giriş vanası arasındaki flanştan Benzin sızması, basıncın dayanma sınırını aşması halinde bağlantı hortumunda yırtılma	Tanker tahliye ile hat girişi arasında operatörler telsiz ile koordine kurmaktadır. Sertifikalı hortum kullanılmaktadır.	Tanker tahliye pompasının durdurulmasını sağlayacak önlem alınmalıdır	İşveren	04.12.2018		



Çizelge 4.1. Hazop çalışması (devamı)

16	Benzin	Benzin Transferi	Kara Tankeri Benzin Tahliye	Seviye	Daha fazla	Tank taşması	Yangın ve patlama	Seviye ölçerler ve alarm sistemi vardır. Otomasyondan gözlünen tank üstündeki seviye göstergeleri mevcuttur. (servo ve harici seviye alarmları) - Tesis içerisinde farklı noktalarda program kurulu ve gerektiği yerde kontrol edilmesi mümkündür.	Tanker tahliye hattı üzerine akış ölçer tesis edilmelidir.	İşveren	04.12.2018		
17	Benzin	Benzin Transferi	Kara Tankeri Benzin Tahliye	Seviye	Daha az	Tanktaki ürün seviyesinin düşük olması sonucu statik elektriklenme	Yangın ve patlama	Seviyeden kaynaklanan statik elektrik tehlikesi, ürün dolusunda akış hızı kontrol edilerek statik elektrik ayarlanmaktadır.	Tanker tahliye hattı üzerine akış ölçer tesis edilmelidir.	İşveren	04.12.2018		
18	Benzin	Benzin Transferi	Kara Tankeri Benzin Tahliye	Sıcaklık	Daha Fazla	Hatta basınç yükselir	Ortam sıcaklığı (güneş altındaki) hat üzerinde tehlikeli bir basınç yükselişi oluşturur	Pompa hattı üzerinde PRV valfi, basınç göstergesi (manometre), Geri dönüş sistemi mevcuttur.	TT tesis edilmeli ve alarm vermesi sağlanmalıdır. Periyodik olarak test ve kontrolleri yaptırılmalıdır.	İşveren	04.12.2018		

Çizelge 4.1. Hazop çalışması (devamı)

19	Benzin	Benzin Transferi	Kara Tankeri Benzin Tahliye	Açma	Daha Az	Hat üzerinde basınç artışı, flanşlar ve manometrenin Benzin kaçırmaması	Benzin sızdırması, Benzin havuzunun oluşması	Tesis içi koordinasyon kurulmaktadır	Benzin hattı kullanıldığında Kara Tankeri tahliye ile koordinasyon kurulmalı, hat üzerindeki vanalar tam olarak açılmalıdır	İşveren	04.12.2018		
20	Benzin	Benzin Transferi	Kara Tankeri Benzin Tahliye	Kapama	Daha Az	Tam olarak kapatılmaması	Terse ürün akışı	Çek valf mevcuttur	Hat üzerindeki vanalar tam olarak kapatılmalıdır, çek valflere periyodik fonksiyon testleri yapılmalıdır.	İşveren	04.12.2018		

Çizelge 4.2. Risklerin Önceliklendirilmesi ile HAZOP Çalışması

TEHLİKE VE İŞLETİLEBİLİRLİK ÇALIŞMASI (HAZOP) TABLOSU													Doküman No: 01			Rev. 01				
Risk No	İncelenen Madde	DÜĞÜM		Proses Sapmaları	Anahtar Kelime	Olası Nedenler	Olası Sonuçlar	Mevcut Güvenlik Önlemleri	Gerekli Aksiyonlar	Aksiyonu Alacak Kişi	Termin Tarihi	LOPA Gerekli Mi?	Önem Öncesi			Yapılan Düzeltici Faaliyet / Faaliyetler	Gerçekleşme Tarihi	Önem Sonrası		
		Hat / Elemanlar	Alt Sistemler										İhtimal	Şiddet	Risk Derecesi			İhtimal	Şiddet	Risk Derecesi
1	Benzin	Benzin Transferi	Benzin Çıkış Tanker Dolum	Akış	Daha Fazla	Pompanın set değerinin sapması, dolum otomasyon cihazının bozulması.	Statik elektrik sonucu yangın	Topraklama , mevcuttur.	Hattın periyodik olarak korozyon ve topraklama kontrolü yapılmalıdır. Topraklama yapılmadığı zaman otomatik olarak transferi başlatmayan sistem kurulmalıdır.	İşveren	04.12.2018	Evet	2	5	10			1	5	5
2	Benzin	Benzin Çıkış Tanker Dolum	Benzin Çıkış Tanker Dolum	Basınç	Daha Fazla	Dolum kolunun start yapıldıktan sonra açık olmaması	Basınç artışı nedeniyle hattın yırtılması	Geri dönüş sistemi vardır. Pompa hattı üzerinde PRV valfi, basınç göstergesi (manometre) mevcuttur.	İhtiyaç yoktur	İşveren	Devamlı	Uygulanmaz	1	5	5			1	5	5
3	Benzin	Benzin Çıkış Tanker	Benzin Çıkış Tanker	Basınç	Daha Fazla	Ortam sıcaklığının beklenenden fazla olması halinde hat içindeki basıncın yükselmesi	Basınç artışı nedeniyle hattın yırtılması	Geri dönüş sistemi vardır. Pompa hattı üzerinde PRV valfi, basınç göstergesi (manometre) mevcuttur.	İhtiyaç yoktur	İşveren	Devamlı	Uygulanmaz	1	5	5			1	5	5
4	Benzin	Benzin Transferi	Benzin Çıkış Tanker	Basınç	Beklenenden Fazla	Ürün alınması sırasında hattın bir veya iki tarafının kapalı olması	Tanker tahliye hattı bağlantısı ile giriş vanası arasındaki flanştan Benzin sızması sonucu yangın ve patlama	Pompa PRV üzerinden geri dönüş yapar. Acil stop butonu mevcuttur.	Tanker dolum pompasının durdurulmasını sağlayacak önlem alınmalıdır.	İşveren	04.12.2018	Evet	3	5	15			1	5	5

Çizelge 4.2. Risklerin Önceliklendirilmesi ile HAZOP Çalışması (devamı)

TEHLİKE VE İŞLETİLEBİLİRLİK ÇALIŞMASI (HAZOP) TABLOSU													Doküman No: 01		Rev. 01				
İncelenen Madde	DÜĞÜM		Proses Sapmaları	Anahtar Kelime	Olası Nedenler	Olası Sonuçlar	Mevcut Güvenlik Önlemleri	Gerekli Aksiyonlar	Aksiyonu Alacak Kişi	Termin Tarihi	LOPA Gerekli Mi?	Önem Öncesi			Yapılan Düzeltici Faaliyet / Faaliyetler	Gerçekleşme Tarihi	Önem Sonrası		
	Hat / Etkinman	Alt Sistemler										İhtimal	Şiddet	Risk Derecesi			İhtimal	Şiddet	Risk Derecesi
Benzin	Benzin Transferi	Benzin Çıkış Tank	Seviye	Daha fazla	Kapaiteden fazla ürün setlenmesi nedeniyle tankerde Benzin taşması	Sızıntı ve yangın oluşabilir	Dolum esnasında operatör / Şoför tanker kapasitesini setmeden önce kontrol etmektedir.	İhtiyaç yoktur	İşveren	Devamlı	Uygulan	1	5	5			1	5	5
Benzin	Benzin Transferi	Benzin Çıkış Tanker Dolum	Seviye	Daha az	Tankerde ürün seviyesinin düşük olması sonucu statik elektriklenme	Sızıntı ve yangın oluşabilir	Seviyeden kaynaklanan statik elektrik tehlikesi, ürün dolumunda akış hızı kontrol edilerek ve göz kapasiteleri ayarlanarak statik elektrik artışı kontrol altına alınmaktadır.	İhtiyaç yoktur	İşveren	Devamlı takip	Uygulanmaz	1	5	5			1	5	5
Benzin	Benzin Transferi	Benzin Çıkış Tanker Dolum	Sıcaklık	Daha Fazla	Ortam sıcaklığı (güneş altındaki) hat üzerinde tehlikeli bir basınç yükselişi oluşturur. Hatta basınç yükselir	Hatta patlamaya neden olabilir.	Pompa hattı üzerinde PRV valfi, basınç göstergesi (manometre),geri dönüş sistemi mevcuttur.	Periyodik olarak test ve kontrolleri düzenli olarak yapılmalıdır.	İşveren	04.12.2018	Uygulanmaz	2	5	10			1	5	5
Benzin	Benzin Transferi	Benzin Çıkış Tanker	Açma	Daha Az	Hat üzerinde basınç artışı olur, flanşlar ve manometre Benzin kaçırabilir	Benzin sızdırması, Benzin havuzunun oluşması, yangın ve patlama	Tesis içi koordinasyon kurulmaktadır	Benzin hattı kullanıldığında Tanker dolum ile koordinasyon kurulmalı, hat üzerindeki vanalar tam olarak açılmalıdır	İşveren	04.12.2018	Uygulanmaz	2	5	10			1	5	5

Çizelge 4.2. Risklerin Önceliklendirilmesi ile HAZOP Çalışması (devamı)

TEHLİKE VE İŞLETİLEBİLİRLİK ÇALIŞMASI (HAZOP) TABLOSU														Doküman No: 01			Rev. 01			
R	İncelenen Madde	DÜĞÜM		Proses Sapmaları	Anahtar Kelime	Olası Nedenler	Olası Sonuçlar	Mevcut Güvenlik Önlemleri	Gerekli Aksiyonlar	Aksiyon Alacak Kişi	Termin	LOPA Gerekli	Önem Öncesi			Yapılan Düzeltici Faaliyet / Faaliyetler	Gerçekleşme	Önem Sonrası		
		Hat / Etkinlik	Alt Sistem										İht	Şi	Risk			İht	Şi	Risk
9	Benzin	Benzin Transferi	Kara Tankeri Benzin Tahliye	Akış	Daha Fazla	Kara tanker hattındaki pompa basıncının yükselmesi, pompa elektriğindeki frekans değişimi	Tank kontrolsüz dolar, Tank taşar, Benzin yayılır, tank içi statik elektrik artışı olur ve patlama olabilir.	Otomasyondan gözlenen tank üstündeki seviye göstergeleri mevcuttur. (servo ve harici seviye alarmları) - Tesis içerisinde farklı noktalarda program kurulu ve gerektiği yerde kontrol edilmesi mümkündür.	Kara tanker tahliye hattı üzerine akış ölçer tesis edilmelidir.	İşveren	04.12.2018	Evet	2	5	10			1	5	5
10	Benzin	Benzin Transferi	Kara Tankeri Benzin Tahliye	Akış	Hiç	Kara tanker tahliye hattı pompa arızası vana operasyonu hatası	Akışın durması ve ters yöne ürün akışı	Çek valf mevcuttur. Otomasyondan gözlenen tank üstündeki seviye göstergeleri mevcuttur. (servo ve harici seviye alarmları) - Tesis içerisinde farklı noktalarda program kurulu ve gerektiği yerde kontrol edilmesi mümkündür	İhtiyaç yoktur	İşveren	Devamlı takip	Hayır	1	5	5			1	5	5
11	Benzin	Benzin Transferi	Kara Tankeri Benzin Tahliye	Akış	Ters	Çek valf arızası	Hattın içine kontrolsüz Benzin dolması, maddi kayıp	Otomasyondan gözlenen tank üstündeki seviye göstergeleri mevcuttur. (servo ve harici seviye alarmları) - Tesis içerisinde farklı noktalarda program kurulu ve gerektiği yerde kontrol edilmesi mümkündür	Çek-valfin periyodik olarak düzenli şekilde kontrolü yapılmalıdır.	İşveren	04.12.2018	Evet	2	5	10			1	5	5
12	Benzin	Benzin Transferi	Kara Tankeri Benzin Tahliye	Basınç	Daha Fazla	Hat üzerindeki vanaların tam olarak açık olmaması,	Benzinin flanştan sızması sonucu yangın ve patlama	Pompa hattı üzerinde PRV valfi, basınç göstergesi (manometre), by-pass sistemi mevcuttur.	PT tesis edilmeli ve alarm vermesi sağlanmalıdır. Periyodik olarak düzenli test ve kontrolleri yaptırılmalıdır.	İşveren	04.12.20	E	3	5	15			1	5	5

Çizelge 4.2. Risklerin Önceliklendirilmesi ile HAZOP Çalışması (devamı)

TEHLİKE VE İŞLETİLEBİLİRLİK ÇALIŞMASI (HAZOP) TABLOSU														Doküman No: 01		Rev. 01				
Risk No	İncelenen Madde	DÜĞÜM		Proses Sapmaları	Anahtar Kelime	Olası Nedenler	Olası Sonuçlar	Mevcut Güvenlik Önlemleri	Gerekli Aksiyonlar	Aksiyon Alacak Kişi	Termin Tarihi	LOPA Gerekli Mi?	Önem Öncesi			Yapılan Düzeltici Önleyici Faaliyet/ Faaliyetler	Gerçekleşme Tarihi	Önem Sonrası		
		Hat / Etki Alan	Alt Sistemler										İhtimal	Şiddet	Risk Derecesi			İhtimal	Şiddet	Risk Derecesi
13	Benzin	Benzin Transferi	Kara Tankeri Benzine Tahliye	Basınç	Daha Fazla	Ortam sıcaklığının beklenenden fazla olması halinde hat içindeki basıncın yükselmesi	Benzinin flanştan sızması, Hat basıncının dayanma sınırını aşması halinde hatta yırtılma	Pompa hattı üzerinde PRV valfi, basınç göstergesi (manometre), by-pass sistemi mevcuttur.	PT tesis edilmeli ve alarm vermesi sağlanmalıdır. Periyodik olarak düzenli test ve kontrolleri yaptırılmalıdır.	İşveren	04.12.2018	Evet	3	5	15			1	5	5
14	B	Benzin Transferi	Kara Tanker	Basınç	Beklenenden Fazla	Basınç ölçer arızası, kalibrasyon hatası	Benzinin flanştan sızması	Pompa hattı üzerinde PRV valfi, basınç göstergesi (manometre), by-pass sistemi mevcuttur.	PT tesis edilmeli ve alarm vermesi sağlanmalıdır. Periyodik olarak test ve kontrolleri yaptırılmalıdır.	İşveren	04.12.	E	3	5	15			1	5	5
15	Benzin	Benzin Transferi	Kara Tankeri Benzine Tahliye	Basınç	Beklenenden Fazla	Ürün alınması sırasında hattın iki tarafının kapalı olması	Tanker tahliye hattı bağlantısı ile giriş vanası arasındaki flanştan Benzine sızması, basıncın dayanma sınırını aşması halinde bağlantı hortumunda	Tanker tahliye ile hat girişi arasında operatörler telsiz ile koordine kurmaktadır. Sertifikalı hortum kullanılmaktadır.	Tanker tahliye pompasının durdurulmasını sağlayacak önlem alınmalıdır	İşveren	04.12.2018	Uygulanmaz	2	5	10			1	5	5
16	Benzin	Benzin Transferi	Kara Tankeri Benzine Tahliye	Seviye	Daha fazla	Tank taşması	Yangın ve patlama	Seviye ölçerler ve alarm sistemi vardır. Otomasyondan gözlenen tank üstündeki seviye göstergeleri mevcuttur. (servo ve harici seviye alarmları) - Tesis içerisinde farklı noktalarda program kurulu ve gerektiği yerde kontrol edilmesi mümkündür. SIL 2 seviyesinde kurulu sistem mevcuttur.	Tanker tahliye hattı üzerine akış ölçer tesis edilmelidir. SIL İhtiyacı belirlenmeli ve SIL doğrulanması yapılmalıdır.	İşveren	04.12.2018	Evet	3	5	15	SIL		1	5	5

Çizelge 4.2. Risklerin Önceliklendirilmesi ile HAZOP Çalışması (devamı)

TEHLİKE VE İŞLETİLEBİLİRLİK ÇALIŞMASI (HAZOP) TABLOSU														Doküman No: 01		Rev. 01				
Risk No	İncelenen Madde	DÜĞÜM		Proses Sapmaları	Anahtar Kelime	Olası Nedenler	Olası Sonuçlar	Mevcut Güvenlik Önlemleri	Gerekli Aksiyonlar	Aksiyonu Alacak Kişi	Termin Tarihi	Önlem Öncesi			Yapılan Düzeltici Faaliyet / Faaliyetler	Gerçekleşme Tarihi	Önlem Sonrası			
		Hat / Ekipman	Alt Sistemler									LOPA Gerekli Mi?	İhtimal	Şiddet			Risk Derecesi	İhtimal	Şiddet	Risk Derecesi
17	Benzin	Benzin Transferi	Kara Tankeri Benzine Tahliye	Seviye	Daha az	Tankteki ürün seviyesinin düşük olması sonucu statik elektriklenme	Yangın ve patlama	Seviyeden kaynaklanan statik elektrik tehlikesi, ürün dolusunda akış hızı kontrol edilerek statik elektrik ayarlanmaktadır.	Tanker tahliye hattı üzerine akış ölçer tesis edilmelidir.	İşveren	04.12.2018	Uygulanmaz	2	5	10			1	5	5
18	Benzin	Benzin Transferi	Kara Tankeri Benzine	Sıcaklık	Daha Fazla	Hatta basınç yükselir	Ortam sıcaklığı (güneş altındaki) hat üzerinde tehlikeli bir basınç yükselişi oluşturur	Pompa hattı üzerinde PRV valfi, basınç göstergesi (manometre), Geri dönüş sistemi mevcuttur.	TT tesis edilmeli ve alarm vermesi sağlanmalıdır. Periyodik olarak test ve kontrolleri yapılmalıdır.	İşveren	04.12.2018	Evet	3	5	15			1	5	5
19	Benzin	Benzin Transferi	Kara Tankeri Benzine	Açma	Daha Az	Hat üzerinde basınç artışı, flanşlar ve manometrenin Benzine kaçırması	Benzin sızdırması, Benzine havuzunun oluşması	Tesis içi koordinasyon kurulmaktadır	Benzin hattı kullanıldığında Kara Tankeri tahliye ile koordinasyon kurulmalı, hat üzerindeki vanalar tam olarak açılmalıdır	İşveren	04.12.2018	Evet	2	5	10			1	5	5
20	Benzin	Benzin Transferi	Kara Tankeri Benzine	Kapama	Daha Az	Tam olarak kapatılmaması	Terse ürün akışı	Çek valf mevcuttur	Hat üzerindeki vanalar tam olarak kapatılmalıdır, çek valflere periyodik fonksiyon testleri yapılmalıdır.	İşveren	04.12.2018	Evet	2	5	10			1	5	5

HAZOP çalışmasında yapılan kritiklik analizi bize öncelikli ve kritik alanlarımızı göstermektedir (Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2). Çalışmadan da anlaşılacağı üzere Flanştan sızıntı, aşırı sıcaklık yüzünden boru hattında basınç artışı nedeniyle sızıntı ve tankın dolum aşamasında ki tanktan taşma durumlarının riskinin yüksek olduğunu ve öncelikli değerlendirmeye tabi tutulması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Mevcut güvenlik önlemlerine ek tedbirler ile HAZOP çalışmasında belirtildiği üzere kaza riskleri kabul edilebilir seviyeye çekilmektedir. Her türlü önleme rağmen kaza olursa elde ettiğimiz bulgular bize benzin dolumu esnasında taşma ve sızıntı olaylarının kritikliğini ortaya koymaktadır. Bu kritik noktalar belirlendiğinden kantitatif analizlerde bu kritik durumlar üzerinden senaryoları geliştirebiliriz. Kantitatif olarak analiz ederek bu kritik noktaları analiz etmek için LOPA (Koruma Katmanları) analizi kullanılmıştır.

#### **4.5 LOPA Çalışması Bulguları**

Kaza olursa durumunda HAZOP çalışması sonucu elde ettiğimiz bulgulara göre kritikliklerden en önemlisi ve etki alanı nispeten daha fazla olan dolum esnasında tanktan taşma senaryosu ve flanşlardan bir sızıntı üzerinden LOPA (Koruma Katmanları Analizi) çalışması ile kantitatif analizler yapılmıştır. LOPA çalışması ile de 11 adet senaryo belirlenmiştir. Bu tank taşması ve sızıntı olayına bir de yıldırım düşme sonucu katastrofik parçalanma senaryosu eklenmiş ve elde edilen senaryolar Phast yazılımına veri teşkil ederek, bunlar üzerinden modellemeler yapılmıştır. Yıldırım olayı daha önceden belirttiğimiz üzere büyük endüstriyel kazalara en çok yol açan etken olarak görünmektedir. (Chang ve Cheng-Chung, 2006). Üstelik küresel ısınmalardan dolayı yıldırım riski de artmış durumda olup, 2018 sonlarında ki yoğun yağmur ve fırtına sonrası meteorolojinin raporladığı 42.000 civarı şimşek ve kayıtlı 120 kadar yıldırım vakası bulunmaktadır. Bu da bize yıldırım riskinin önceki 10 yıllara göre arttığını göstermektedir. Buna mukabil ülkemizde maalesef yıldırım olayları artmasına rağmen bilimsel açıdan kullanılacak doğrulanmış net bir veri elde edilememektedir. Yıldırım frekansı için LOPA da kullanılmak üzere CCPS (2001) kitabının tablo 5.1 verisi kullanılmıştır.

Operatörün yapabileceği hata insan güvenirlilik analizi ile analiz edilerek kantitatif bir değer ortaya konulmalıdır. Aksi takdirde LOPA çalışması belirsiz kalır. Bunun için ise TESEO analizi ile operatörün hata yapabilme frekansı belirlenen kriterler ışığında



incelenmiş ve yapılan analiz sonucu 0,0075 bulunmuştur (Ek – 1). Ancak, Bu değer 0,1 değerinin altında bir sonuç olduğundan ve "Büyük Endüstriyel Kazalarla İlgili Hazırlanacak Güvenlik Raporu Tebliği" Madde 3.2 dikkate alındığında minimum değer olan 0,1 değeri dikkate alınmıştır. Tebliğ insan güvenilirliğinin en az 0,1 olması gerektiğini bize belirtmektedir. Başka bir deyişle; 10 hata ortaya çıktığında, yani talep anında bu hataların operator tarafından 9 unda başarılı olduğunu belirtir. LOPA çalışmasında operator için bu 0,1 değeri kullanılmıştır. Taşma havuzu ( dayk ) bağımsız koruma katmanı olarak değerlendirilmiştir ve literatürde hata frekansının 0,01 olduğu görülmektedir (CCPS, 2001, s.92, Tablo 6.3). Bu nedenle LOPA çalışmasında veri olarak bu değer dikkate alınmıştır.

Tank taşması senaryosunda kullanılan temel proses kontrol sisteminin elemanlarının güvenilirlik verileri üzerinden IEC 61511 standardı gereği doğrulama raporuna (benzin PFD ort değerlendirme) göre hesaplama yapılmıştır. Ekipmanların talep anındaki arıza oranları jenerik veri bankalarından alınabileceği gibi, exida, (exilanta) gibi yazılımlar ile de bu arıza oranları hesaplanabilmektedir. Bu doğrulama sırasında da bağımsız koruma katmanı olarak taşma havuzu (dayk) dikkate alınmıştır. Elde edilen veri LOPA çalışmasında kullanılarak aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

Çizelge 4.3. Koruma Katmanları Analizi (LOPA)-Kantitatif Risk Analizleri

## Kantitatif Risk Analizleri

Kuruluş içerisinde belirlenmiş olan üç tesis için toplam 11 adet senaryo oluşturulmuştur. Aşağıdaki tabloda oluşturulan senaryoların özetleri yer almaktadır. Senaryo numaralarına göre detayları her senaryoda açıklanmıştır.

S e n a r y o	Tesis Adı	Kritik Olay	Şiddeti	Senaryo Başlangıcı	Frekans/ Yıl	Koruma Katmanları Özeti					Kritik Olay Frekansı	SIF	Etkisi Azaltılmış Sonuç	Sonuç ve Değerlendirme
		Olayın etki tanımı (Kritik Olay)	Olayın şiddet seviyesi	Olayı başlatan neden	Olayın başlama Frekansı (1/yıl)	Genel proses tasarımı	Basit proses kontrol sistemi (BPCS)	Alarmlar vb.	Ek azaltıcı önlemler	IPL Ek azaltma önlemleri (Dayk, PRV vb.)	Ara olayın meydana gelme frekansı (1/yıl)	SIF Bütünlük seviyesi	Hafifletilmiş olay olma frekansı (1/yıl)	
1	BENZİN TANKI VE DOLUM ADASI	Benzin Tankında Yarımla	E	Benzin Tankı Üzerine Yıldırım Düşmesi	0,001	1	1	1	1	0,015	0,000015	1	0,000015	Buhar Bulutu Patlaması
2	BENZİN TANKI VE DOLUM ADASI	Benzin Tankında Yarımla	E	Benzin Tankı Üzerine Yıldırım Düşmesi	0,001	1	1	1	1	0,015	0,000015	1	0,000015	Jet yangını
3	BENZİN TANKI VE DOLUM ADASI	Benzin Tankında Yarımla	E	Benzin Tankı Üzerine Yıldırım Düşmesi	0,001	1	1	1	1	0,015	0,000015	1	0,000015	Parlama Yangını
4	BENZİN TANKI VE DOLUM ADASI	Benzin Tankında Yarımla	E	Benzin Tankı Üzerine Yıldırım Düşmesi	0,001	1	1	1	1	0,015	0,000015	1	0,000015	Havuz Yangını
5	BENZİN TANKI VE DOLUM ADASI	Benzin Tankı Dolum Sırasında Taşması	E	Operatörün dolum sırasında tanka hacminden daha fazla ürün alması	0,1	1	0,00726	1	1	0,01	0,0000726	1	0,00000726	Havuz Yangını
6	BENZİN TANKI VE DOLUM ADASI	Benzin Tankı Dolum Sırasında Taşması	E	Operatörün dolum sırasında tanka hacminden daha fazla ürün alması	0,1	1	0,00726	1	1	0,01	0,0000726	1	0,00000726	Buhar Bulutu Patlaması
7	BENZİN TANKI VE DOLUM ADASI	Benzin Tankı Dolum Sırasında Taşması	E	Operatörün dolum sırasında tanka hacminden daha fazla ürün alması	0,1	1	0,00726	1	1	0,01	0,0000726	1	0,00000726	Parlama Yangını
8	BENZİN TANKI VE DOLUM ADASI	Flañştan Benzin Sızıntısı	E	Hattın Basıncının artması	0,01	1	1	1	1	0,01	0,01	1	0,0001	Jet Yangını
9	BENZİN TANKI VE DOLUM ADASI	Flañştan Benzin Sızıntısı	E	Hattın Basıncının artması	0,01	1	1	1	1	0,01	0,01	1	0,0001	Parlama Yangını
10	BENZİN TANKI VE DOLUM ADASI	Flañştan Benzin Sızıntısı	E	Hattın Basıncının artması	0,01	1	1	1	1	0,01	0,01	1	0,0001	Havuz Yangını
11	BENZİN TANKI VE DOLUM ADASI	Flañştan Benzin Sızıntısı	E	Hattın Basıncının artması	0,01	1	1	1	1	0,01	0,01	1	0,0001	Buhar Bulutu Patlaması

Çizelge 4.3. Koruma Katmanları Analizi (LOPA)-Kantitatif Risk Analizleri (devamı)

Senaryo 1/11													
Sıra NO	1	2	3	4	KORUMA KATMANLARI					8	9	10	11
	Olayın etki tanımı (Kritik Olay)	Olayın şiddet seviyesi	Olayı başlatan neden	Olayın başlama Frekansı (1/yıl)	Genel proses tasarımı	Basit proses kontrol sistemi (BPCS)	Alarmlar vb.	Ek azaltıcı önlemler	IPL Ek azaltma önlemleri (Dayk, PRV vb.)	Ara olayın meydana gelme frekansı (1/yıl)	SIF Bütünlük seviyesi	Haffletilmiş olay olma frekansı (1/yıl)	Sonuç ve Değerlendirme
	F.2 F.13.2	F.3 F.13.2	F.4 F.13.3	F.5 F.13.4	F.13.5	F.13.6	F.13.7	F.7 F.13.8	F.8 F.13.9	F.9 F.13.10	F.10 F.13.10	F.11 F.13.11	
1	Benzin Tankında Yanılma	E	Benzin Tankı Üzerine Yıldırım Düşmesi	0,001	1	1	1	1	0,015	0,000015	1	0,000015	Buhar Bulutu Patlaması
Büyük kaza senaryoları için uygulanan güvenlik tedbirleri, bu tedbirlerin teknik veya insan faktörüne bağlı olup olmadığı ile tedbirlerin güvenilirlik seviyeleri hakkında bilgiler senaryo bazında incelenerek kullanılan olasılık verilerinin nereden alındığı veya neden alınmadığına ilişkin açıklamalar adım adım izah edilmiştir.				Yıldırım Düşme Frekansı [1].	Tank çelik konstrüksiyondan imal edilmiştir. Yıldırım düşmesinde koruma katmanı olarak değerlendirilmemiştir.	Proses kontrol sistemi olayı başlatan nedeni sınırlayıcı veya etkisini azaltıcı etkisi yoktur.	Bu olayı direk olarak takip eden bir alarm sistemi olmaması nedeniyle değerlendirilmemiştir.	Sonucunda patlama olması nedeniyle bu senaryonun hesaplanmasında koruma katmanı olarak dikkate alınmamıştır.	Yıldırımdan korunma tesisatı (paratoner) Bağımsız Koruma Katmanı olarak değerlendirilmiştir[2]. İnsana bağlı olmayıp, sürekli aktif bir şekilde tankı koruyacak şekilde konumlandırılmıştır.	Kritik olay Benzin tankının yanılma frekansı olarak ara olay değerlendirilmiştir.	SIF Bütünlük seviyesi ihtiyacı ön görülmemiştir.	Patlama direk olarak olması nedeniyle azaltıcı teknik bir bariyer bulunmamaktadır.	DNV Firmasının geliştirmiş olduğu PHAST 7.2 Yazılımı kullanılarak sonuçları değerlendirilmiştir.
[1]	American Institute of Chemical Engineers CCPS, 2001. Reference Layer of Protection Analysis, Simplified Process Risk Assessment, sf. 71 Tablo 5.1												
[2]	Nonelectronic Parts Reliability Data, 2016. Reference Quanterion Automated Databook Software, Lightning Arrester.												
Açıklama:	Yukarıda kullanılan Lopa tablosu IEC 61511-3 standardının formu olup, bu değerlendirime kapsamında kullanılmıştır.												

Çizelge 4.3. Koruma Katmanları Analizi (LOPA)-Kantitatif Risk Analizleri (devamı)

Senaryo 2/11													
Sıra NO	1	2	3	4	KORUMA KATMANLARI					8	9	10	11
	Olayın etki tanımı (Kritik Olay)	Olayın şiddet seviyesi	Olayı başlatan neden	Olayın başlama Frekans (1/yıl)	Genel proses tasarımı	Basit proses kontrol sistemi (BPCS)	Alarmlar vb.	Ek azaltıcı önlemler	IPL Ek azaltma önlemleri (Dayk, PRV vb.)	Ara olayın meydana gelme frekans (1/yıl)	SIF Bütünlük seviyesi	Hafifletilmiş olay olma frekans (1/yıl)	Sonuç ve Değerlendirme
	F.2 F.13.2	F.3 F.13.2	F.4 F.13.3	F.5 F.13.4	F.13.5	F.13.6	F.13.7	F.7 F.13.8	F.8 F.13.9	F.9 F.13.10	F.10 F.13.10	F.11 F.13.11	
2	Benzin Tankında Yanılma	E	Benzin Tankı Üzerine Yıldırım Düşmesi	0,001	1	1	1	1	0,015	0,000015	1	0,000015	Jet yangını
Büyük kaza senaryoları için uygulanan güvenlik tedbirleri, bu tedbirlerin teknik veya insan faktörüne bağlı olup olmadığı ile tedbirlerin güvenilirlik seviyeleri hakkında bilgiler senaryo bazında incelenerek kullanılan olasılık verilerinin nerden alındığı veya neden alınmadığına ilişkin açıklamalar adım adım izah edilmiştir.				Yıldırım Düşme Frekans [1].	Tank çelik konstrüksiyondan imal edilmiştir. Yıldırım düşmesinde koruma katmanı olarak değerlendirilmemiştir.	Proses kontrol sistemi olayı başlatan nedeni sınırlayıcı veya etkisini azaltıcı etkisi yoktur.	Bu olayı direk olarak takip eden bir alarm sistemi olmaması nedeniyle değerlendirilmemiştir.	Sonucunda jet yangını olması nedeniyle bu senaryonun hesaplanmasında koruma katmanı olarak dikkate alınmamıştır.	Yıldırımdan korunma tesisi (paratoner) Bağımsız Koruma Katmanı olarak değerlendirilmiştir[2]. İnsana bağlı olmayıp, sürekli aktif bir şekilde tankı koruyacak şekilde konumlandırılmıştır.	Kritik olay Benzin tankının yanılma frekans (1/yıl) olarak ara olay değerlendirilmiştir.	SIF Bütünlük seviyesi ihtiyacı ön görülmemiştir.	Sulu yangın söndürme sistemi, acil müdahale ekipleri ve özel eğitilmiş tehlikeli maddelere müdahale ekipleri gibi azaltıcı önlemler mevcut olup, kantitatif risk değerlendirmesinde dikkate alınmamıştır.	DNV Firmasının geliştirmiş olduğu PHAST 7.2 Yazılımı kullanılarak sonuçları değerlendirilmiştir.
[1]	American Institute of Chemical Engineers CCPS, 2001, Reference Layer of Protection Analysis, Simplified Process Risk Assessment, sf. 71 Tablo 5.1												
[2]	Nonelectronic Parts Reliability Data, 2016, Reference Quanterion Automated Databook Software, Lightning Arrester.												
Açıklama:	Yukarıda kullanılan Lopa tablosu IEC 61511-3 standardının formu olup, bu değerlendirme kapsamında kullanılmıştır.												

Çizelge 4.3. Koruma Katmanları Analizi (LOPA)-Kantitatif Risk Analizleri (devamı)

Senaryo 3/11													
Sıra NO	1	2	3	4	KORUMA KATMANLARI					8	9	10	11
	Olayın etki tanımı (Kritik Olay)	Olayın şiddet seviyesi	Olayı başlatan neden	Olayın başlama Frekansı (1/yıl)	Genel proses tasarımı	Basit proses kontrol sistemi (BPCS)	Alarmlar vb.	Ek azaltıcı önlemler	IPL Ek azaltma önlemleri (Dayk, PRV vb.)	Ara olayın meydana gelme frekansı (1/yıl)	SIF Bütünlük seviyesi	Hafifletilmiş olay olma frekansı (1/yıl)	Sonuç ve Değerlendirme
	F2 F.13.2	F3 F.13.2	F4 F.13.3	F5 F.13.4	F.13.5	F.13.6	F.13.7	F7 F.13.8	F8 F.13.9	F9 F.13.10	F10 F.13.10	F11 F.13.11	
3	Benzin Tankında Yanılma	E	Benzin Tankı Üzerine Yıldırım Düşmesi	0,001	1	1	1	1	0,015	0,000015	1	0,000015	Parlama Yangını
Büyük kaza senaryoları için uygulanan güvenlik tedbirleri, bu tedbirlerin teknik veya insan faktörüne bağlı olup olmadığı ile tedbirlerin güvenilirlik seviyeleri hakkında bilgiler senaryo bazında incelenerek kullanılan olasılık verilerinin nerden alındığı veya neden alınmadığına ilişkin açıklamalar adım adım izah edilmiştir.				Yıldırım Düşme Frekansı [1].	Tank çelik konstrüksiyondan imal edilmiştir. Yıldırım düşmesinde koruma katmanı olarak değerlendirilmemiştir.	Proses kontrol sistemi olayı başlatan nedeni sınırlayıcı veya etkisini azaltıcı etkisi yoktur.	Bu olayı direk olarak takip eden bir alarm sistemi olmaması nedeniyle değerlendirilmemiştir.	Sonucunda parlama yangını olması durumunda acil müdahale ekipleri, sulu yangın söndürme sistemi mevcut olup, senaryonun hesaplanmasında koruma katmanı olarak dikkate alınmamıştır.	Yıldırımdan korunma tesisatı (paratoner) Bağımsız Koruma Katmanı olarak değerlendirilmiştir[2]. İnsana bağlı olmayıp, sürekli aktif bir şekilde tankı koruyacak şekilde konumlandırılmıştır.	Kritik olay Benzin tankının yanılma frekansı olarak ara olay değerlendirilmiştir.	SIF Bütünlük seviyesi ihtiyacı ön görülmemiştir.	Sulu yangın söndürme sistemi, acil müdahale ekipleri ve özel eğitilmiş tehlikeli maddelere müdahale ekipleri gibi azaltıcı önlemler mevcut olup, kantitatif risk değerlendirmesinde dikkate alınmamıştır.	DNV Firmasının geliştirmiş olduğu PHAST 7.2 Yazılımı kullanılarak sonuçları değerlendirilmiştir.
[1]	American Institute of Chemical Engineers CCPS, 2001, Reference Layer of Protection Analysis, Simplified Process Risk Assessment, sf. 71 Tablo 5.1												
[2]	Nonelectronic Parts Reliability Data, 2016, Reference Quanterion Automated Databook Software, Lightning Arrester.												
Açıklama:	Yukarıda kullanılan Lopa tablosu IEC 61511-3 standardının formu olup, bu değerlendirme kapsamında kullanılmıştır.												

Çizelge 4.3. Koruma Katmanları Analizi (LOPA)-Kantitatif Risk Analizleri (devamı)

Senaryo 4/11													
Sıra NO	1	2	3	4	KORUMA KATMANLARI					8	9	10	11
	Olayın etki tanımı (Kritik Olay)	Olayın şiddet seviyesi	Olayı başlatan neden	Olayın başlama Frekansı (1/yıl)	Genel proses tasarımı	Basit proses kontrol sistemi (BPCS)	Alarmlar vb.	Ek azaltıcı önlemler	IPL Ek azaltma önlemleri (Dayk, PRV vb.)	Ara olayın meydana gelme frekansı (1/yıl)	SIF Bütünlük seviyesi	Hafifletilmiş olay olma frekansı (1/yıl)	Sonuç ve Değerlendirme
	F.2 F.13.2	F.3 F.13.2	F.4 F.13.3	F.5 F.13.4	F.13.5	F.13.6	F.13.7	F.7 F.13.8	F.8 F.13.9	F.9 F.13.10	F.10 F.13.10	F.11 F.13.11	
4	Benzin Tankında Yanılma	E	Benzin Tankı Üzerine Yıldırım Düşmesi	0,001	1	1	1	1	0,015	0,000015	1	0,000015	Havuz Yangını
Büyük kaza senaryoları için uygulanan güvenlik tedbirleri, bu tedbirlerin teknik veya insan faktörüne bağlı olup olmadığı ile tedbirlerin güvenilirlik seviyeleri hakkında bilgiler senaryo bazında incelenerek kullanılan olasılık verilerinin nereden alındığı veya neden alınmadığına ilişkin açıklamalar adım adım izah edilmiştir.				Yıldırım Düşme Frekansı [1].	Tank çelik konstrüksiyondan imal edilmiştir. Yıldırım düşmesinde koruma katmanı olarak değerlendirilmemiştir.	Proses kontrol sistemi olayı başlatan nedeni sınırlayıcı veya etkisini azaltıcı etkisi yoktur.	Bu olayı direk olarak takip eden bir alarm sistemi olmaması nedeniyle değerlendirilmemiştir.	Sonucunda havuz yangını olmasında acil müdahale ekipleri ve sulu yangın söndürme sistemi mevcut olup, senaryonun hesaplanmasında koruma katmanı olarak dikkate alınmamıştır.	Yıldırımdan korunma tesisi (paratoner) Bağımsız Koruma Katmanı olarak değerlendirilmiştir[2]. İnsana bağlı olmayıp, sürekli aktif bir şekilde tankı koruyacak şekilde konumlandırılmıştır.	Kritik olay Benzin tankının yanılma frekansı olarak ara olay değerlendirilmiştir.	SIF Bütünlük seviyesi ihtiyacı ön görülmemiştir.	Sulu yangın söndürme sistemi, acil müdahale ekipleri ve özel eğitilmiş tehlikeli maddelere müdahale ekipleri gibi azaltıcı önlemler mevcut olup, kantitatif risk değerlendirmesinde dikkate alınmamıştır.	DNV Firmasının geliştirmiş olduğu PHAST 7.2 Yazılımı kullanılarak sonuçları değerlendirilmiştir.
[1]	American Institute of Chemical Engineers CCPS, 2001, Reference Layer of Protection Analysis, Simplified Process Risk Assessment, sf. 71 Tablo 5.1												
[2]	Nonelectronic Parts Reliability Data, 2016, Reference Quantierion Automated Databook Software, Lightning Arrester.												
Açıklama:	Yukarıda kullanılan Lopa tablosu IEC 61511-3 standardının formu olup, bu değerlendirme kapsamında kullanılmıştır.												

Çizelge 4.3. Koruma Katmanları Analizi (LOPA)-Kantitatif Risk Analizleri (devamı)

Senaryo 5/11													
Sıra NO	1	2	3	4	KORUMA KATMANLARI					8	9	10	11
	Olayın etki tanımı (Kritik Olay)	Olayın şiddet seviyesi	Olayı başlatan neden	Olayın başlama Frekans (1/yıl)	Genel proses tasarımı	Basit proses kontrol sistemi (BPCS)	Alarmlar vb.	Ek azaltıcı önlemler	IPL Ek azaltma önlemleri (Dayk, PRV vb.)	Ara olayın meydana gelme frekans (1/yıl)	SIF Bütünlük seviyesi	Hafifletilmiş olay olma frekans (1/yıl)	Sonuç ve Değerlendirme
	F.2 F.13.2	F.3 F.13.2	F.4 F.13.3	F.5 F.13.4	F.13.5	F.13.6	F.13.7	F.7 F.13.8	F.8 F.13.9	F.9 F.13.10	F.10 F.13.10	F.11 F.13.11	
5	Benzin Tankı Dolum Sırasında Taşması	E	Operatörün dolum sırasında tanka hacminden daha fazla ürün alması	0,1	1	0,00726	1	1	0,01	0,000726	1	0,00000726	Havuz Yangını
<p>Büyük kaza senaryoları için uygulanan güvenlik tedbirleri, bu tedbirlerin teknik veya insan faktörüne bağlı olup olmadığı ile tedbirlerin güvenilirlik seviyeleri hakkında bilgiler senaryo bazında incelenerek kullanılan olasılık verilerinin nereden alındığı veya neden alınmadığına ilişkin açıklamalar adım adım izah edilmiştir.</p>			<p>Tank dolumu tesis yetkili amirlerinin talebine göre oluşturulmaktadır. Talep boş olan tank hacmine göre yapılmaktadır. Yetkili amirin Dolum operatörüne hatalı talimat vermesi</p>	<p>Operatör hatası [1].</p>	<p>Tankerden tanka dolum operasyonu operatör kontrolünde pompanın başlatma butonuna basılarak yapılmaktadır. Bu nedenle dikkate alınmamıştır.</p>	<p>Proses kontrol sistemi olayı başlatan nedeni sınırlayıcı bir etkisi olup, PFD avg hesaplanmıştır. [3]</p>	<p>Bu olayı direk olarak takip eden bir alarm sistemi olmaması nedeniyle değerlendirilmemiştir.</p>	<p>Sonucunda çevresel hasar olması durumunda acil müdahale ekipleri mevcut olup, senaryonun hesaplanmasında koruma katmanı olarak dikkate alınmamıştır.</p>	<p>Dayk (taşma havuzu) Bağımsız Koruma Katmanı olarak değerlendirilmiştir[2]. İnsana bağlı olmayıp, sürekli aktif bir şekilde olmasından Benzin taşmasında azaltıcı etkisi mevcuttur.</p>	<p>Kritik olay tankerden tanka Benzin transferi sırasında taşması ara olay olarak değerlendirilmiştir.</p>	<p>SIF Bütünlük seviyesi proses kontrol içerisindeki otomasyonda değerlendirilmiştir. Bu nedenle dikkate alınmamıştır.</p>	<p>Acil müdahale ekipleri ve ekipmanları gibi azaltıcı önlemler mevcut olup, kantitatif risk değerlendirilmesinde dikkate alınmamıştır.</p>	<p>DNV Firmasının geliştirmiş olduğu PHAST 7.2 Yazılımı kullanılarak sonuçları değerlendirilmiştir.</p>
[1]	İnsan Güvenilirlik Analizi Raporu (Sıra No:1)												
[2]	American Institute of Chemical Engineers CCPS, 2001, Reference Layer of Protection Analysis, Simplified Process Risk Assessment, sf. 92 Tablo 6.3												
[3]	RP.01 - IEC 61511 Doğrulama Raporu (Benzin PFD ort değerlendirme raporuna göre hesaplama yapılmıştır.												
Açıklama:		Yukarıda kullanılan Lopa tablosu IEC 61511-3 standardının formu olup, bu değerlendirme kapsamında kullanılmıştır.											

Çizelge 4.3. Koruma Katmanları Analizi (LOPA)-Kantitatif Risk Analizleri (devamı)

Senaryo 6/11													
Sıra NO	1	2	3	4	KORUMA KATMANLARI					8	9	10	11
	Olayın etki tanımı (Kritik Olay)	Olayın şiddet seviyesi	Olayı başlatan neden	Olayın başlama Frekansı (1/yıl)	Genel proses tasarımı	Basit proses kontrol sistemi (BPCS)	Alarmlar vb.	Ek azaltıcı önlemler	IPL Ek azaltma önlemleri (Dayk, PRV vb.)	Ara olayın meydana gelme frekansı (1/yıl)	SIF Bütünlük seviyesi	Hafifletilmiş olay olma frekansı (1/yıl)	Sonuç ve Değerlendirme
	F.2 F.13.2	F.3 F.13.2	F.4 F.13.3	F.5 F.13.4	F.13.5	F.13.6	F.13.7	F.7 F.13.8	F.8 F.13.9	F.9 F.13.10	F.10 F.13.10	F.11 F.13.11	
6	Benzin Tankı Dolum Sırasında Taşması	E	Operatörün dolum sırasında tanka hacminden daha fazla ürün alması	0,1	1	0,00726	1	1	0,01	0,000726	1	0,00000726	Buhar Bulutu Patlaması
	Büyük kaza senaryoları için uygulanan güvenlik tedbirleri, bu tedbirlerin teknik veya insan faktörüne bağlı olup olmadığı ile tedbirlerin güvenilirlik seviyeleri hakkında bilgiler senaryo bazında incelenerek kullanılan olasılık verilerinin nereden alındığı veya neden alınmadığına ilişkin açıklamalar adım adım izah edilmiştir.		Tank dolumu tesis yetkili amirlerinin talebine göre oluşturulmaktadır. Talep boş olan tank hacmine göre yapılmaktadır. Yetkili amirin Dolum operatörüne hatalı talimat vermesi	Operatör hatası [1].	Tankerden tanka dolum operasyonu operatör kontrolünde pompanın başlatma butonuna basılarak yapılmaktadır. Bu nedenle dikkate alınmamıştır.	Proses kontrol sistemi olayı başlatan nedeni sınırlayıcı bir etkisi olup, PFD avg hesaplanmıştır. [3]	Bu olayı direk olarak takip eden bir alarm sistemi olmaması nedeniyle değerlendirilmemiştir.	Sonucunda çevresel hasar olması durumunda acil müdahale ekipleri mevcut olup, senaryonun hesaplanmasında koruma katmanı olarak dikkate alınmamıştır.	Dayk (taşıma havuzu) Bağımsız Koruma Katmanı olarak değerlendirilmiştir[2]. İnsana bağlı olmayıp, sürekli aktif bir şekilde olmasından Benzin taşmasında azaltıcı etkisi mevcuttur.	Kritik olay tankerden tanka Benzin transferi sırasında taşması ara olay olarak değerlendirilmiştir.	SIF Bütünlük seviyesi proses kontrol içerisindeki otomasyonda değerlendirilmiştir. Bu nedenle dikkate alınmamıştır.	Acil müdahale ekipleri ve ekipmanları gibi azaltıcı önlemler mevcut olup, kantitatif risk değerlendirilmesinde dikkate alınmamıştır.	DNV Firmasının geliştirmiş olduğu PHAST 7.2 Yazılımı kullanılarak sonuçları değerlendirilecektir.
[1]	İnsan Güvenilirlik Analizi Raporu (Sıra No:1)												
[2]	American Institute of Chemical Engineers CCPS, 2001, Reference Layer of Protection Analysis, Simplified Process Risk Assessment, sf. 92 Tablo 6.3												
[3]	RP.01 - IEC 61511 Doğrulama Raporu (Benzin PFD ort değerlendirme raporuna göre hesaplama yapılmıştır.												
Açıklama:	Yukarıda kullanılan Lopa tablosu IEC 61511-3 standardının formu olup, bu değerlendirme kapsamında kullanılmıştır.												



Çizelge 4.3. Koruma Katmanları Analizi (LOPA)-Kantitatif Risk Analizleri (devamı)

Senaryo 7/11													
Sıra NO	1	2	3	4	KORUMA KATMANLARI					8	9	10	11
	Olayın etki tanımı (Kritik Olay)	Olayın şiddet seviyesi	Olayı başlatan neden	Olayın başlama Frekansı (1/yıl)	Genel proses tasarımı	Basit proses kontrol sistemi (BPCS)	Alarmlar vb.	Ek azaltıcı önlemler	IPL Ek azaltma önlemleri (Dayk, PRV vb.)	Ara olayın meydana gelme frekansı (1/yıl)	SIF Bütünlük seviyesi	Hafifletilmiş olay olma frekansı (1/yıl)	Sonuç ve Değerlendirme
	F.2 F.13.2	F.3 F.13.2	F.4 F.13.3	F.5 F.13.4	F.13.5	F.13.6	F.13.7	F.7 F.13.8	F.8 F.13.9	F.9 F.13.10	F.10 F.13.10	F.11 F.13.11	
7	Benzin Tankı Dolum Sırasında Taşması	E	Operatörün dolum sırasında tanka hacminden daha fazla ürün alması	0,1	1	0,00726	1	1	0,01	0,000726	1	0,0000726	Parlama Yangını
	Büyük kaza senaryoları için uygulanan güvenlik tedbirleri, bu tedbirlerin teknik veya insan faktörüne bağlı olup olmadığı ile tedbirlerin güvenilirlik seviyeleri hakkında bilgiler senaryo bazında incelenerek kullanılan olasılık verilerinin nereden alındığı veya neden alınmadığına ilişkin açıklamalar adım adım izah edilmiştir.		Tank dolumu tesis yetkili amirlerinin talebine göre oluşturulmaktadır. Talep boş olan tank hacmine göre yapılmaktadır. Yetkili amirin Dolum operatörüne hatalı talimat vermesi	Operatör hatası [1].	Tankerden tanka dolum operasyonu operatör kontrolünde pompanın başlatma butonuna basılarak yapılmaktadır. Bu nedenle dikkate alınmamıştır.	Proses kontrol sistemi olayı başlatan nedeni sınırlayıcı bir etkisi olup, PFD avg hesaplanmıştır. [3]	Bu olayı direk olarak takip eden bir alarm sistemi olmaması nedeniyle değerlendirilmemiştir.	Sonucunda çevresel hasar olması durumunda acil müdahale ekipleri mevcut olup, senaryonun hesaplanmasında koruma katmanı olarak dikkate alınmamıştır.	Dayk (taşma havuzu) Bağımsız Koruma Katmanı olarak değerlendirilmiştir[2]. İnsana bağlı olmayıp, sürekli aktif bir şekilde olmasından Benzin taşmasında azaltıcı etkisi mevcuttur.	Kritik olay tankerden tanka Benzin transferi sırasında taşması ara olay olarak değerlendirilmiştir.	SIF Bütünlük seviyesi proses kontrol içerisindeki otomasyonda değerlendirilmiştir. Bu nedenle dikkate alınmamıştır.	Acil müdahale ekipleri ve ekipmanları gibi azaltıcı önlemler mevcut olup, kantitatif risk değerlendirilmesinde dikkate alınmamıştır.	DNV Firmasının geliştirmiş olduğu PHAST 7.2 Yazılımı kullanılarak sonuçları değerlendirilmiştir.
[1]	İnsan Güvenilirlik Analizi Raporu (Sıra No:1)												
[2]	American Institute of Chemical Engineers CCPS, 2001, Reference Layer of Protection Analysis, Simplified Process Risk Assessment, sf. 92 Tablo 6.3												
[3]	RP.01 - IEC 61511 Doğrulama Raporu (Benzin PFD ort değerlendirme raporuna göre hesaplama yapılmıştır.												
Açıklama:	Yukarıda kullanılan Lopa tablosu IEC 61511-3 standardının formu olup, bu değerlendirme kapsamında kullanılmıştır.												

Çizelge 4.3. Koruma Katmanları Analizi (LOPA)-Kantitatif Risk Analizleri (devamı)

Senaryo 8/11																						
Sıra NO	1	2	3	4	KORUMA KATMANLARI					8	9	10	11									
	Olayın etki tanımı (Kritik Olay)	Olayın şiddet seviyesi	Olayı başlatan neden	Olayın başlama Frekansı (1/yıl)	Genel proses tasarımı	Basit proses kontrol sistemi (BPCS)	Alarmlar vb.	Ek azaltıcı önlemler	IPL Ek azaltma önlemleri (Dayk, PRV vb.)	Ara olayın meydana gelme frekansı (1/yıl)	SIF Bütünlük seviyesi	Hafifletilmiş olay olma frekansı (1/yıl)	Sonuç ve Değerlendirme									
	F.2 F.13.2	F.3 F.13.2	F.4 F.13.3	F.5 F.13.4	F.13.5	F.13.6	F.13.7	F.7 F.13.8	F.8 F.13.9	F.9 F.13.10	F.10 F.13.10	F.11 F.13.11										
7	Benzin Tankı Sızıntı	E	Hattın Basıncının artması	0,01	1	1	1	1	0,01	0,01	1	0,0001	Jet Yangını									
<p>Büyük kaza senaryoları için uygulanan güvenlik tedbirleri, bu tedbirlerin teknik veya insan faktörüne bağlı olup olmadığı ile tedbirlerin güvenilirlik seviyeleri hakkında bilgiler senaryo bazında incelenerek kullanılan olasılık verilerinin nerden alındığı veya neden alınmadığına ilişkin açıklamalar adım adım izah edilmiştir.</p>			<p>Hat üzerindeki vanaların açık olmaması/Sıcaklığın beklenenden fazla olması/Ürün alımı sırasında hattın bir veya iki tarafının kapalı olması</p>		<p>Boruların basıncı normal dolum basıncına göre dizayn edilmiştir.Flanş ise boru basıncına göre seçilmiştir. Flanş ve conta, koruma katmanı olarak değerlendirilmemiştir.</p>		<p>Proses kontrol sisteminin olayı başlatan nedeni sınırlayıcı veya etkisini azaltıcı etkisi yoktur.</p>		<p>Bu olayı direk olarak takip eden bir alarm sistemi olmaması nedeniyle değerlendirilmemiştir.</p>		<p>Sonucunda çevresel hasar olması durumunda acil müdahale ekipleri mevcut olup, senaryonun hesaplanmasında koruma katmanı olarak dikkate alınmamıştır.</p>		<p>Dayk (taşma havuzu) Bağımsız Koruma Katmanı olarak değerlendirilmiştir[2]. İnsana bağlı olmayıp, sürekli aktif bir şekilde olmasından Benzin taşmasında azaltıcı etkisi mevcuttur.</p>		<p>Kritik olay tankerden tanka Benzin transferi sırasında taşması ara olay olarak değerlendirilmiştir.</p>		<p>SIF Bütünlük seviyesi proses kontrol içerisindeki otomasyonda değerlendirilmiştir. Bu nedenle dikkate alınmamıştır.</p>		<p>Acil müdahale ekipleri ve ekipmanları gibi azaltıcı önlemler mevcut olup, kantitatif risk değerlendirilmesinde dikkate alınmamıştır.</p>		<p>DNV Firmasının geliştirmiş olduğu PHAST 7.2 Yazılımı kullanılarak sonuçları değerlendirilmiştir.</p>	
[1] American Institute of Chemical Engineers CCPS, 2001, Reference Layer of Protection Analysis, Simplified Process Risk Assessment, sf. 71 Tablo 5.1																						
[2] American Institute of Chemical Engineers CCPS, 2001, Reference Layer of Protection Analysis, Simplified Process Risk Assessment, sf. 92 Tablo 6.3																						
Açıklama: Yukarıda kullanılan Lopa tablosu IEC 61511-3 standardının formu olup, bu değerlendirme kapsamında kullanılmıştır.																						

Çizelge 4.3. Koruma Katmanları Analizi (LOPA)-Kantitatif Risk Analizleri (devamı)

Senaryo 9/11													
Sıra NO	1	2	3	4	KORUMA KATMANLARI					8	9	10	11
	Olayın etki tanımı (Kritik Olay)	Olayın şiddet seviyesi	Olayı başlatan neden	Olayın başlama Frekansı (1/yıl)	Genel proses tasarımı	Basit proses kontrol sistemi (BPCS)	Alarmlar vb.	Ek azaltıcı önlemler	IPL Ek azaltma önlemleri (Dayk, PRV vb.)	Ara olayın meydana gelme frekansı (1/yıl)	SIF Bütünlük seviyesi	Hafifletilmiş olay olma frekansı (1/yıl)	Sonuç ve Değerlendirme
	F.2 F.13.2	F.3 F.13.2	F.4 F.13.3	F.5 F.13.4	F.13.5	F.13.6	F.13.7	F.7 F.13.8	F.8 F.13.9	F.9 F.13.10	F.10 F.13.10	F.11 F.13.11	
7	Benzin Tankı Sızıntı	E	Hattın Basıncının artması	0,01	1	1	1	1	0,01	0,01	1	0,0001	Parlama Yangını
	Büyük kaza senaryoları için uygulanan güvenlik tedbirleri, bu tedbirlerin teknik veya insan faktörüne bağlı olup olmadığı ile tedbirlerin güvenilirlik seviyeleri hakkında bilgiler senaryo bazında incelenerek kullanılan olasılık verilerinin nereden alındığı veya neden alınmadığına ilişkin açıklamalar adım adım izah edilmiştir.	Hat üzerindeki vanaların açık olmaması/İstiklakım beklenenden fazla olması/Ürün alımı sırasında hattın bir veya iki tarafının kapalı olması	Conta Sızdırması [1].	Boruların basıncı normal dolum basıncına göre dizayn edilmiştir.Flanş ise boru basıncına göre seçilmiştir. Flanş ve conta, koruma katmanı olarak değerlendirilmemiştir.	Proses kontrol sisteminin olayı başlatan nedeni sınırlayıcı veya etkisini azaltıcı etkisi yoktur.	Bu olayı direk olarak takip eden bir alarm sistemi olmaması nedeniyle değerlendirilmemiştir.	Sonucunda çevresel hasar olması durumunda acil müdahale ekipleri mevcut olup, senaryonun hesaplanmasında koruma katmanı olarak dikkate alınmamıştır.	Dayk (taşma havuzu) Bağımsız Koruma Katmanı olarak değerlendirilmiştir[2]. İnsana bağlı olmayıp, sürekli aktif bir şekilde olmasından Benzin taşmasında azaltıcı etkisi mevcuttur.	Kritik olay tankerden tanka Benzin transferi sırasında taşması ara olay olarak değerlendirilmiştir.	SIF Bütünlük seviyesi proses kontrol içerisindeki otomasyonda değerlendirilmiştir. Bu nedenle dikkate alınmamıştır.	Acil müdahale ekipleri ve ekipmanları gibi azaltıcı önlemler mevcut olup, kantitatif risk değerlendirmesinde dikkate alınmamıştır.	DNV Firmasının geliştirmiş olduğu PHAST 7.2 Yazılımı kullanılarak sonuçları değerlendirilmiştir.	
[1]	American Institute of Chemical Engineers CCPS, 2001, Reference Layer of Protection Analysis, Simplified Process Risk Assessment, sf. 71 Tablo 5.1												
[2]	American Institute of Chemical Engineers CCPS, 2001, Reference Layer of Protection Analysis, Simplified Process Risk Assessment, sf. 92 Tablo 6.3												
Açıklama:	Yukarıda kullanılan Lopa tablosu IEC 61511-3 standardının formu olup, bu değerlendirme kapsamında kullanılmıştır.												

Çizelge 4.3. Koruma Katmanları Analizi (LOPA)-Kantitatif Risk Analizleri (devamı)

Senaryo 10/11													
Sıra NO	1	2	3	4	KORUMA KATMANLARI					8	9	10	11
	Olayın etki tanımı (Kritik Olay)	Olayın şiddet seviyesi	Olayı başlatan neden	Olayın başlama Frekansı (1/yıl)	Genel proses tasarımı	Basit proses kontrol sistemi (BPCS)	Alarmlar vb.	Ek azaltıcı önlemler	IPL Ek azaltma önlemleri (Dayk, PRV vb.)	Ara olayın meydana gelme frekansı (1/yıl)	SIF Bütünlük seviyesi	Hafifletilmiş olay olma frekansı (1/yıl)	Sonuç ve Değerlendirme
	F.2 F.13.2	F.3 F.13.2	F.4 F.13.3	F.5 F.13.4	F.13.5	F.13.6	F.13.7	F.7 F.13.8	F.8 F.13.9	F.9 F.13.10	F.10 F.13.10	F.11 F.13.11	
7	Benzin Tankı Sızıntı	E	Hattın Basıncının artması	0,01	1	1	1	1	0,01	0,01	1	0,0001	Havuz Yangını
Büyük kaza senaryoları için uygulanan güvenlik tedbirleri, bu tedbirlerin teknik veya insan faktörüne bağlı olup olmadığı ile tedbirlerin güvenilirlik seviyeleri hakkında bilgiler senaryo bazında incelenerek kullanılan olasılık verilerinin nereden alındığı veya neden alınmadığına ilişkin açıklamalar adım adım izah edilmiştir.		Hat üzerindeki vanaların açık olmaması/Sıcaklığın beklenenden fazla olması/Ürün alımı sırasında hattın bir veya iki tarafının kapalı olması		Conta Sızdırması [1].	Boruların basıncı normal dolum basıncına göre dizayn edilmiştir.Flanş ise boru basıncına göre seçilmiştir. Flanş ve conta, koruma katmanı olarak değerlendirilmemiştir.	Proses kontrol sisteminin olayı başlatan nedeni sınırlayıcı veya etkisini azaltıcı etkisi yoktur.	Bu olayı direk olarak takip eden bir alarm sistemi değerlendirilmemiştir.	Sonucunda çevresel hasar olması durumunda acil müdahale ekipleri mevcut olup, senaryonun hesaplanmasında koruma katmanı olarak dikkate alınmamıştır.	Dayk (taşma havuzu) Bağımsız Koruma Katmanı olarak değerlendirilmiştir[2]. İnsana bağlı olmayıp, sürekli aktif bir şekilde olmasından Benzin taşmasında azaltıcı etkisi mevcuttur.	Kritik olay tankerden tanka Benzin transferi sırasında taşması ara olay olarak değerlendirilmiştir.	SIF Bütünlük seviyesi proses kontrol içerisindeki otomasyonda değerlendirilmiştir. Bu nedenle dikkate alınmamıştır.	Acil müdahale ekipleri ve ekipmanları gibi azaltıcı önlemler mevcut olup, kantitatif risk değerlendirmesinde dikkate alınmamıştır.	DNV Firmasının geliştirmiş olduğu PHAST 7.2 Yazılımı kullanılarak sonuçları değerlendirilmiştir.
[1]	American Institute of Chemical Engineers CCPS, 2001, Reference Layer of Protection Analysis, Simplified Process Risk Assessment, sf. 71 Tablo 5.1												
[2]	American Institute of Chemical Engineers CCPS, 2001, Reference Layer of Protection Analysis, Simplified Process Risk Assessment, sf. 92 Tablo 6.3												
Açıklama:	Yukarıda kullanılan Lopa tablosu IEC 61511-3 standardının formu olup, bu değerlendirme kapsamında kullanılmıştır.												

Çizelge 4.3. Koruma Katmanları Analizi (LOPA)-Kantitatif Risk Analizleri (devamı)

Senaryo 11/11													
Sıra NO	1	2	3	4	KORUMA KATMANLARI					8	9	10	11
	Olayın etki tanımı (Kritik Olay)	Olayın şiddet seviyesi	Olayı başlatan neden	Olayın başlama Frekansı (1/yıl)	Genel proses tasarımı	Basit proses kontrol sistemi (BPCS)	Alarmlar vb.	Ek azaltıcı önlemler	IPL Ek azaltma önlemleri (Dayk, PRV vb.)	Ara olayın meydana gelme frekansı (1/yıl)	SIF Bütünlük seviyesi	Hafifletilmiş olay olma frekansı (1/yıl)	Sonuç ve Değerlendirme
	F.2 F.13.2	F.3 F.13.2	F.4 F.13.3	F.5 F.13.4	F.13.5	F.13.6	F.13.7	F.7 F.13.8	F.8 F.13.9	F.9 F.13.10	F.10 F.13.10	F.11 F.13.11	
7	Benzin Tankı Sızıntı	E	Hattın Basıncının artması	0,01	1	1	1	1	0,01	0,01	1	0,0001	Buhar Bulutu Patlaması
	Büyük kaza senaryoları için uygulanan güvenlik tedbirleri, bu tedbirlerin teknik veya insan faktörüne bağlı olup olmadığı ile tedbirlerin güvenilirlik seviyeleri hakkında bilgiler senaryo bazında incelenerek kullanılan olasılık verilerinin nereden alındığı veya neden alınmadığına ilişkin açıklamalar adım adım izah edilmiştir.	Hat üzerindeki vanaların açık olmaması/Sıcaklığın beklenenden fazla olması/Ürün alımı sırasında hattın bir veya iki tarafının kapalı olması	Conta Sızdırması [1].	Boruların basıncı normal dolun basıncına göre dizayn edilmiştir.Flanş ise boru basıncına göre seçilmiştir. Flanş ve conta, koruma katmanı olarak değerlendirilmemiştir.	Proses kontrol sisteminin olayı başlatan nedeni sınırlayıcı veya etkisini azaltıcı etkisi yoktur.	Bu olayı direk olarak takip eden bir alarm sistemi olmaması nedeniyle değerlendirilmemiştir.	Sonucunda çevresel hasar olması durumunda acil müdahale ekipleri mevcut olup, senaryonun hesaplanmasında koruma katmanı olarak dikkate alınmamıştır.	Dayk (taşma havuzu) Bağımsız Koruma Katmanı olarak değerlendirilmiştir[2]. İnsana bağlı olmayıp, sürekli aktif bir şekilde olmasından Benzin taşmasında azaltıcı etkisi mevcuttur.	Kritik olay tankerden tanka Benzin transferi sırasında taşması ara olay olarak değerlendirilmiştir.	SIF Bütünlük seviyesi proses kontrol içerisindeki otomasyonda değerlendirilmiştir. Bu nedenle dikkate alınmamıştır.	Acil müdahale ekipleri ve ekipmanları gibi azaltıcı önlemler mevcut olup, kantitatif risk değerlendirmesinde dikkate alınmamıştır.	DNV Firmasının geliştirmiş olduğu PHAST 7.2 Yazılımı kullanılarak sonuçları değerlendirilmiştir.	
[1]	American Institute of Chemical Engineers CCPS, 2001, Reference Layer of Protection Analysis, Simplified Process Risk Assessment, sf. 71 Tablo 5.1												
[2]	American Institute of Chemical Engineers CCPS, 2001, Reference Layer of Protection Analysis, Simplified Process Risk Assessment, sf. 92 Tablo 6.3												
Açıklama:	Yukarıda kullanılan Lopa tablosu IEC 61511-3 standardının formu olup, bu değerlendirme kapsamında kullanılmıştır.												

LOPA (Koruma Katmanları Analizi) çalışması ile de 11 adet senaryo belirlenmiştir (Çizelge 4.3). Elde ettiğimiz LOPA sonucu bulgular yangın ve patlama senaryolarının yazılıma uygulanması için temel teşkil etmektedir. Bu senaryolar yazılımın modellemelerini rasyonel kılmaktadır. HAZOP çalışmasından elde ettiğimiz veriler ışığındaki kritiklikler üzerinden, kritik olayın olasılığı ile etkisi azaltılabilirse olayın sonucunun frekansı LOPA çalışmasında herbir olay için elde edilmiştir. Olayın bariyerlerle engellenmeye çalışıldığı ama yine de oluştuğu olasılık değeri olarak nitelendireceğimiz, olayın sonuç frekansı; yıldırım düşmesi sonucu oluşabilecek bir katastrofik yarılma için 0,000015 ( milyonda 15 ), dolun sırasında tankın taşma olasılığı 0,00000726 ( milyonda 7,26 ) ve flanşa sızıntı olma olasılığı ise 0,0001 ( onbinde 1 ) olarak bulunmuştur. Bu değerler bize bu senaryoların gerçekleşme olasılıklarının olduğunu belirtmektedir. Buradan yazılım modellemelerine veriler elde edilmiştir. Herbir senaryo sonucu oluşabilecek buhar bulutu patlamaları, havuz yangınları, parlama yangınları ve jet yangınları ilgili senaryolar için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

#### **4.6 Phast Yazılımı Kantitatif Risk Analizi Bulguları**

Yazılım senaryoların hepsinde rüzgâr hızlarını 1,5 m/s gece durumunda, yine 1,5 m/s gündüz durumunda ve 5 m/s gündüz durumu için birden vermektedir. 1,5 m/s rüzgâr hızı düşük hava hızı olarak kararlılık sınıfında yer almaktadır. 5 m/s ise orta kararlılık sınıfındadır ( Book, 1999). Yazılımda, termal etki oranları olarak 4 kW/m<sup>2</sup>, 12,5 kW/m<sup>2</sup> ve 37,5 kW/m<sup>2</sup> üzerinden etki mesafeleri ele alınmıştır.

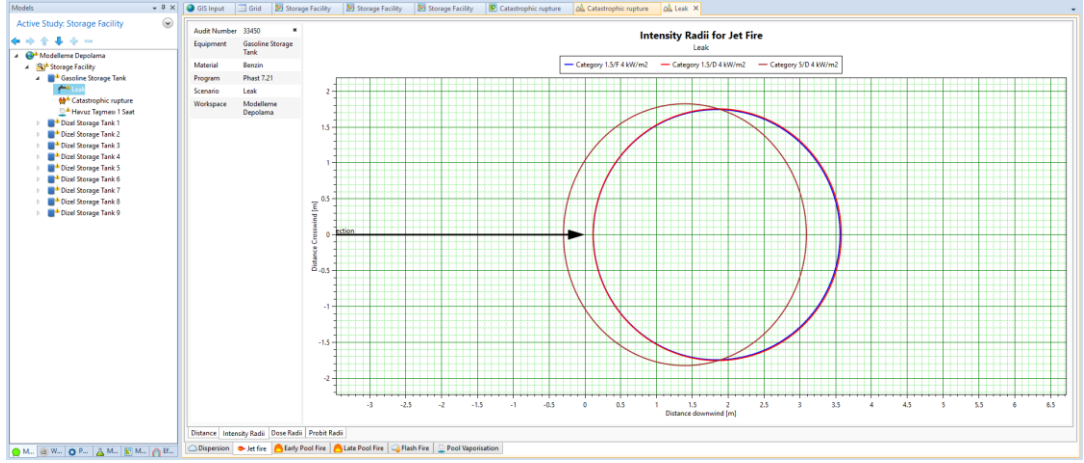
Başlatıcı etki benzin tankı üzerinden, benzinin çok tehlikeli, çok kolay alev alabilen bir hidrokarbon olmasından ötürü, bu tanktaki bir yarılmanın etkisi ile yakındaki dizel tanklarında etkilenecek domino etkisinin durumu ele alınmıştır.

Çizelge 4.4. Jet Yangını - Sızıntı -Benzin Tankı

Path	Senaryo	Hava	AlevUzunluğu [m]	Rüzgâr Yönünde Etki Seviyesi Mesafesi 1 (4 kW/m <sup>2</sup> ) [m]	Rüzgâr Yönünde Etki Seviyesi Mesafesi 2 (12,5 kW/m <sup>2</sup> ) [m]	Rüzgâr Yönünde Etki Seviyesi Mesafesi 3 (37,5 kW/m <sup>2</sup> ) [m]
Akaryakıt Depolama Tesisi	Leak	Category 1.5/F	2.4947	3.56072	2.28097	n/a
		Category 1.5/D	2.50402	3.57829	2.28822	n/a
		Category 5/D	1.85028	3.09083	1.76494	n/a

#### 4.6.1. Benzin tankından sızıntı bulguları

Benzin tankının bağlı olduğu flanştan (örneğin vananın bağlantı noktasındaki contadan) sızıntı senaryosunda 2,5 mm çapındaki delikten sızıntı üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Sızıntı akış hızı 0,0337 kg/s olduğu verilerden anlaşılmaktadır. Sızıntı senaryosunun benzin tankı üzerinden etki alanı incelendiğinde Jet yangınına gece 1,5 m/s rüzgâr hızı en kötü durum olarak ele aldığımızda alev uzunluğu 2,49 metre, gündüz ise 2,50 metre, 4 kW/m<sup>2</sup> termal etkinin ise sırasıyla 3,56 ve 3,57 metre mesafede etkili olduğu sonuçlardan anlaşılmaktadır (Çizelge 4.4, Şekil 4.17). Aynı şekilde erken havuz yangını senaryo hesaplarında havuz çapının 0,77 metre gibi çok düşük bir alan oluşturacağı ve etki alanının 4 kW/m<sup>2</sup> termal etkide 6,07 – 6,48 metre arasında olacağı görülmektedir (Çizelge 4.5). Elde edilen sonuçlar etki mesafesinin az olduğu ortaya koymaktadır. Sızıntı hesaplamalarında geç havuz yangınına da havuz çapı 4,89 ile 5,34 metre arasında oluşmakta olup etki alanı da 4 kW/m<sup>2</sup> termal etkide 25,38 – 27,29 metre arasında görülmektedir (Çizelge 4.6). Bu etki diğerlerine oranla daha büyük görünmektedir (Şekil 4.18).



Şekil 4.17. Jet Yangını Etki Çapı Benzin Tankı

Çizelge 4.5. Erken Havuz Yangını – Benzin tankı

Path	Senaryo	Hava	Havuz Çapı [m]	Rüzgâr Yönünde Etki Seviyesi Mesafesi 1 (4 kW/m <sup>2</sup> ) [m]	Rüzgâr Yönünde Etki Seviyesi Mesafesi 2 (12,5 kW/m <sup>2</sup> ) [m]	Rüzgâr Yönünde Etki Seviyesi Mesafesi 3 (37,5 kW/m <sup>2</sup> ) [m]
Akaryakıt Depolama Tesisi	Leak	Category 1.5/F	0.777625	6.07165	4.47687	3.7176
		Category 1.5/D	0.777261	6.1001	4.50613	3.74794
		Category 5/D	0.77551	6.48288	5.22731	3.82867

Çizelge 4.6. Geç Havuz Yangını

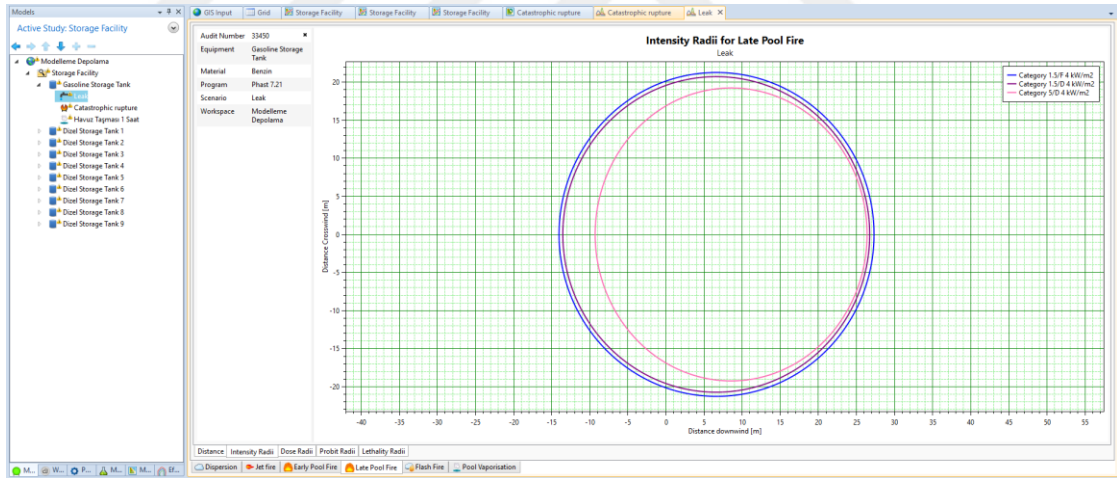
Path	Senaryo	Hava	Havuz Çapı [m]	Rüzgâr Yönünde Etki Seviyesi Mesafesi 1 (4 kW/m <sup>2</sup> ) [m]	Rüzgâr Yönünde Etki Seviyesi Mesafesi 2 (12,5 kW/m <sup>2</sup> ) [m]	Rüzgâr Yönünde Etki Seviyesi Mesafesi 3 (37,5 kW/m <sup>2</sup> ) [m]
Akaryakıt Depolama Tesisi	Leak	Category 1.5/F	5.34298	27.2908	17.579	9.33019
		Category 1.5/D	5.20377	26.7233	17.2432	9.13979
		Category 5/D	4.8918	26.3802	18.2989	10.9795



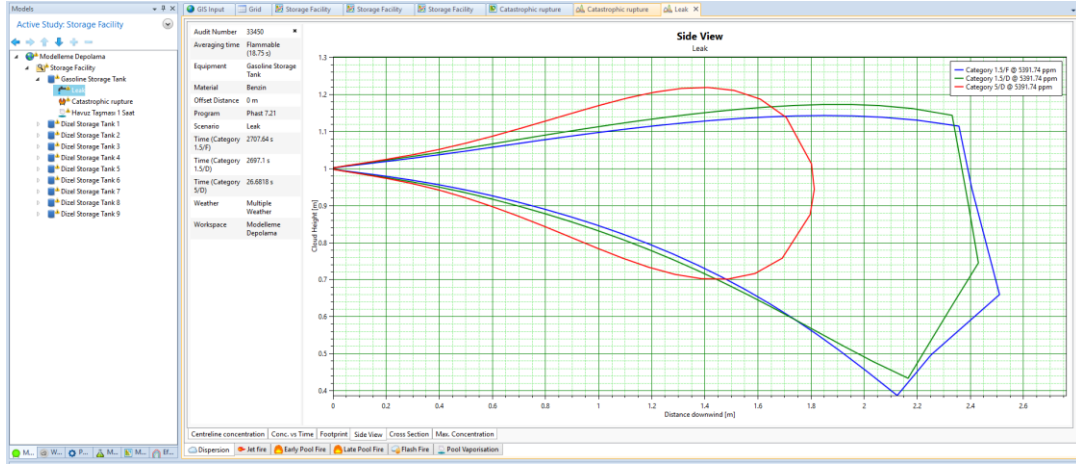
Çizelge 4.7. Parlama Yangını

Path	Senaryo	Hava	Rüzgar Yönünde LFL [m]	Rüzgar Yönünde LFL Oranı [m]
Akaryakıt Depolama Tesisi	Leak	Category 1.5/F	2.32049	2.50996
		Category 1.5/D	2.29661	2.43035
		Category 5/D	1.47342	1.81435

Sızıntı senaryosu üzerinden parlama yangını verilerine bakacak olursak, buradaki etkinin rüzgâr yönünde alt patlama limitlerine yakın 2,32 metre, alt patlama limitlerinin yarısında ise 2,51 metreye kadar etki edebileceği anlaşılmaktadır. Rüzgâr şiddeti artınca etki mesafesinin 1,47 metreye alt patlama limitlerinde ve bu limitlerin yarısındaki oranlarda ise 1.81 metreye düştüğü anlaşılmaktadır (Çizelge 4.7).



Şekil 4.18. Geç Havuz Yangını Benzin Sızıntı



Şekil 4.19. Sızıntı Benzin Tankı

Sızıntı senaryosunun etkilediği uzaklıklar diğer senaryolara göre çok büyük görünmemektedir. Dolayısı ile diğer senaryolara göre daha düşük bir etki mesafesine sahip olduğu gözlenmektedir (Şekil 4.19).

#### 4.6.2 Benzin tankından taşma bulguları

Taşma senaryosunda bir saatlik bir süre zarfında taşan benzinin havuz oluşturacağı ve  $-42\text{ }^{\circ}\text{C}$  gibi çok düşük parlama noktası olan materyalin, bu havuzun üzerinden buharlaşan bir bulut oluşturacağı ve bulutun tutuşma zamanı ile bağlantılı olarak, yapacağı etkilerin analizi ve modellenmesi yapılmıştır. Taşma nefeslikten olacağı ve taşma havuzunda birikerek nispeten kontrollü olacağı bilinmektedir. Jet yangını modeli bu senaryoya uymamaktadır.

Dolum yapan boru çapı 8 inç olup,  $0,149\text{ kg/s}$  dolum yaptığı için, oluşacak taşma da bu oranda olacaktır. Ortam sıcaklığı da  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  alınmıştır.

Elde ettiğimiz sonuçlara göre buharlaşma oranı  $5.391\text{ ppm}$  dir.

Çizelge 4.8. Erken Havuz Yangını - Taşma

Path	Senaryo	Hava	Havuz Çapı [m]	Rüzgâr Yönünde Etki Seviye Mesafesi 1 (4 kW/m <sup>2</sup> ) [m]	Rüzgâr Yönünde Etki Seviye Mesafesi 2 (12,5 kW/m <sup>2</sup> ) [m]	Rüzgâr Yönünde Etki Seviye Mesafesi 3 (37,5 kW/m <sup>2</sup> ) [m]
Akaryakıt Depolama Tesisi	Havuz Taşması 1 Saat	Category 1.5/F	1,68627	8,46363	5,11322	1,84314
		Category 1.5/D	1,68627	8,46363	5,11322	1,84314
		Category 5/D	1,68627	9,03514	6,13213	2,16526

Çizelge 4.9. Geç Havuz Yangını - Taşma

Path	Senaryo	Hava	Havuz Çapı [m]	Rüzgâr Yönünde Etki Seviyesi Mesafesi 1 (4 kW/m <sup>2</sup> ) [m]	Rüzgâr Yönünde Etki Seviyesi Mesafesi 2 (12,5 kW/m <sup>2</sup> ) [m]	Rüzgâr Yönünde Etki Seviyesi Mesafesi 3 (37,5 kW/m <sup>2</sup> ) [m]
Akaryakıt Depolama Tesisi	Havuz Taşması 1 Saat	Category 1.5/F	11,634	51,0095	31,1801	16,5331
		Category 1.5/D	11,3521	49,8736	30,4856	16,1185
		Category 5/D	10,7483	48,6975	31,9291	20,7242

Çizelge 4.8' deki verilerden de anlaşılacağı üzere benzin tankına dolum sırasındaki taşma üzerinden havuz yangını senaryosunda 4 kW/m<sup>2</sup> üzerinden erken havuz yangınının etki alanı 8,46 metre ile 9,03 metre arasındadır. Geç havuz yangınının oluşturacağı havuz çapı 10,74 metre ile 11,63 metre arasındadır (Çizelge 4.9). Bu havuzun (en kötü durum) etkileyebileceği etki mesafesi 48,69 metre ile 51,01 metre arasında değişmekle birlikte etkilediği uzaklık sızıntı senaryosuna göre oldukça fazladır. Phast yazılımı taşma senaryosu üzerinden buhar bulutu patlaması için herhangi bir model ortaya koymamıştır. Buhar bulutu patlaması ile parlama yangını bu senaryoda gerçekleşmemektedir. Jet yangını olasılığı da basınçlı çıkış olmadığından mümkün değildir. Bu nedenle sadece havuz yangını modellenmesi verileri bulunmaktadır. Taşan materyalin oluşturacağı havuz en kötü hava koşulunda; erken havuz yangınında 1,68 metre çapında ve geç havuz yangınında ise

11,63 metre çapında olup taşma havuzu sınırlarını aşmamaktadır. Yanacak olan benzin nispeten kontrollü bir yanma etkisi gösterecektir.

#### 4.6.3 Benzin Tankında Katastrofik Yarıma

En kötü etkiyi katastrofik parçalanma veya yarıma olarak adlandırabileceğimiz ekipman üzerindeki bir bütünlük kaybında elde ettiğimizi, yazılımın sonuçlarındaki verilerden görmekteyiz. En kötü durum senaryosu üzerinden modellemeler yapabilmek ve en geniş etki alanını ortaya çıkarmak için yerden 1 metre yükseklikten yarıldığını varsayarak modellemeye geçilmiştir. Dolayısı ile dolu olan tankın sıvı yüksekliğinin basıncı ile önemli ölçüde çok miktarda yanıcı petrol türevi açığa çıkmış olacaktır.

Bu tarz bir kaza senaryosu üzerinden erken havuz yangını için veri elde edilememiştir. Ancak, geç havuz yangını ile ilgili veriler şöyledir. Benzin tankında ki yarıma sonucu oluşacak havuzun geç tutuşması ile 37,5 kW/m<sup>2</sup> termal etkinin mesafesi 164,60 – 187,43 metre, 12,5 kW/m<sup>2</sup> termal etkinin mesafesi 270,74 – 183,22 metre ve 4 kW/m<sup>2</sup> termal etkinin mesafesi 439,42 – 444,04 metre olduğu sonuç verilerinden anlaşılmaktadır (Çizelge 4.10). Etki alanı Şekil 4.20’ de grafik; Şekil 4.21 ve Şekil 4.22 ‘ de GIS üzerinde görülebilmektedir.

Katastrofik bir parçalanma senaryosu üzerinden geç havuz yangınında, motorin tanklarında etki mesafesi 37,5 kW/m<sup>2</sup> için sonuç elde edilememiş, 12,5 kW/m<sup>2</sup> için 135,93 – 164,62 metre ve 4 kW/m<sup>2</sup> için ise 123,60 metre olarak elde edilmiştir. Bu mesafeler benzin tankının etkilerinden oldukça düşük görünmektedir (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.10. Benzin Tankında Katastrofik Yarıma – Geç Havuz Yangını

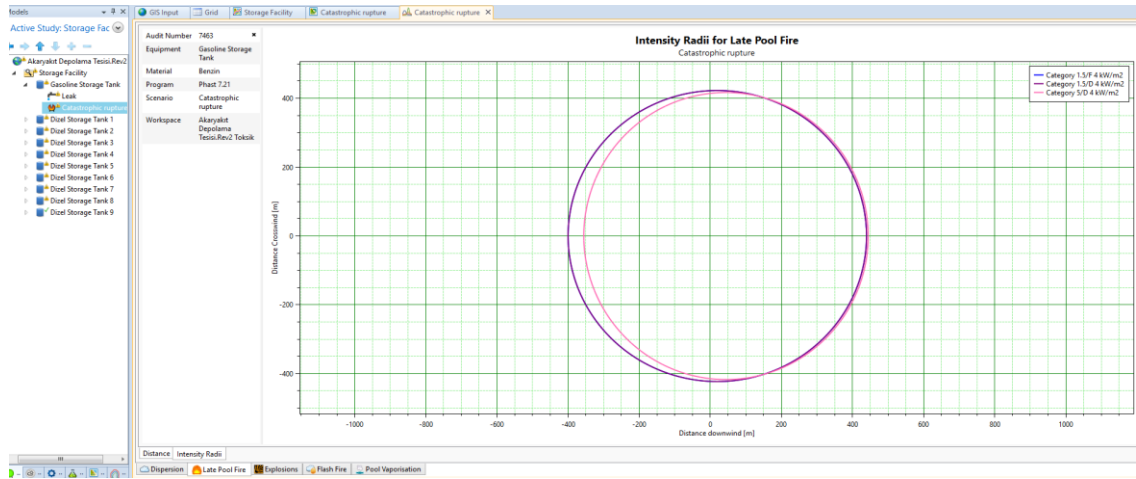
Path	Senaryo	Hava	Havuz Çapı [m]	Rüzgâr Yönünde Etki Seviye Mesafesi 1 (4 kW/m <sup>2</sup> ) [m]	Rüzgâr Yönünde Etki Seviye Mesafesi 2 (12,5 kW/m <sup>2</sup> ) [m]	Rüzgâr Yönünde Etki Seviye Mesafesi 3 (37,5 kW/m <sup>2</sup> ) [m]
Akaryakıt Depolama Tesisi	Katastrofik Yarıma	Category 1.5/F	123.608	439.425	270.742	164.607
		Category 1.5/D	123.608	439.425	270.742	164.607
		Category 5/D	123.608	444.048	283.225	187.431

Çizelge 4.11. Motorin Tanklarında Katastrofik Yarıлма – Geç Havuz Yangını

Path	Senaryo	Hava	Havuz Çapı [m]	Rüzgâr Yönünde Etki Seviyesi Mesafesi 1 (4 kW/m <sup>2</sup> ) [m]	Rüzgâr Yönünde Etki Seviyesi Mesafesi 2 (12,5 kW/m <sup>2</sup> ) [m]	Rüzgâr Yönünde Etki Seviyesi Mesafesi 3 (37,5 kW/m <sup>2</sup> ) [m]
Akaryakıt Depolama Tesis \Dizel Tank 1	Katastrofik Yarıлма	Category 1.5/F	123.608	135.937	62.8039	n/a
		Category 1.5/D	123.608	135.937	62.8039	n/a
		Category 5/D	123.608	164.62	65.5384	n/a
Akaryakıt Depolama Tesis \Dizel Tank 2		Category 1.5/F	123.608	135.937	62.8039	n/a
		Category 1.5/D	123.608	135.937	62.8039	n/a
		Category 5/D	123.608	164.62	65.5384	n/a
Akaryakıt Depolama Tesis \Dizel Tank 3		Category 1.5/F	123.608	135.937	62.8039	n/a
		Category 1.5/D	123.608	135.937	62.8039	n/a
		Category 5/D	123.608	164.62	65.5384	n/a
Akaryakıt Depolama Tesisi \Dizel Tank 4		Category 1.5/F	123.608	135.937	62.8039	n/a
		Category 1.5/D	123.608	135.937	62.8039	n/a
		Category 5/D	123.608	164.62	65.5384	n/a
Akaryakıt Depolama Tesis \Dizel Tank 5		Category 1.5/F	123.608	135.937	62.8039	n/a
		Category 1.5/D	123.608	135.937	62.8039	n/a
		Category 5/D	123.608	164.62	65.5384	n/a
Akaryakıt Depolama Tesis \Dizel Tank 6		Category 1.5/F	123.608	135.937	62.8039	n/a
		Category 1.5/D	123.608	135.937	62.8039	n/a
		Category 5/D	123.608	164.62	65.5384	n/a

Çizelge 4.11. Motorin Tanklarında Katastrofik Yarıлма – Geç Havuz

Akaryakıt Depolama Tesisi. \\Dizel Tank 7	Category 1.5/F	123.608	135.937	62.8039	n/a
	Category 1.5/D	123.608	135.937	62.8039	n/a
	Category 5/D	123.608	164.62	65.5384	n/a
Akaryakıt Depolama Tesisi. \\Dizel Tank 8	Category 1.5/F	123.608	135.937	62.8039	n/a
	Category 1.5/D	123.608	135.937	62.8039	n/a
	Category 5/D	123.608	164.62	65.5384	n/a
Akaryakıt Depolama Tesisi. \\Dizel Tank 9	Category 1.5/F	123.608	135.937	62.8039	n/a
	Category 1.5/D	123.608	135.937	62.8039	n/a
	Category 5/D	123.608	164.62	65.5384	n/a

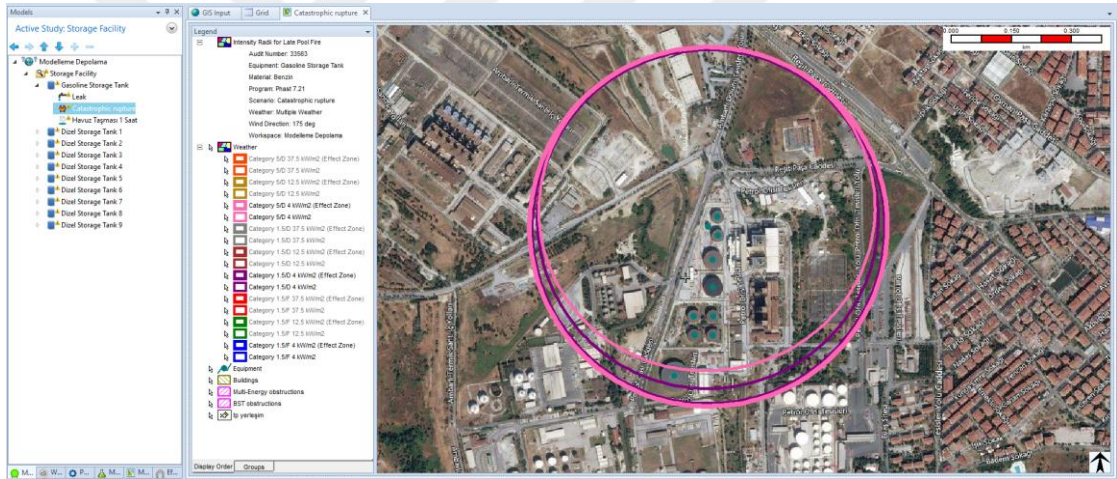


Şekil 4.20. Geç Havuz Yangını Benzin Tankı – Katastrofik Yarıлма





Şekil 4.21. Geç Havuz Yangını Benzin Tankı – Katastrofik Yarıлма Etki alanı



Şekil 4.22. Geç Havuz Yangını Benzin Tankı – Katastrofik Yarıлма Etki alanı

Çizelge 4.12. Parlama Yangını

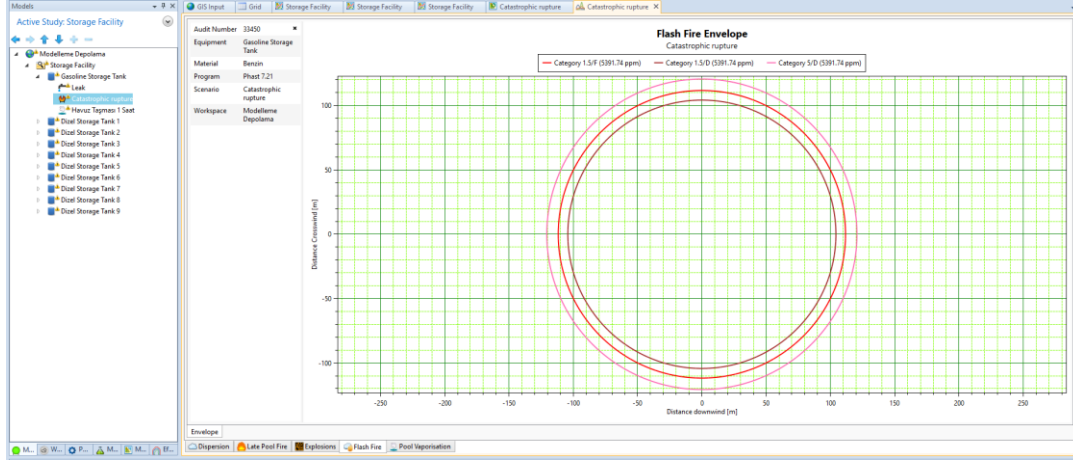
Path	Senaryo	Hava	Rüzgar Yönünde LFL [m]	Rüzgar Yönünde LFL Oranı [m]
Akaryakıt Depolama Tesisi	Catastrofik rupture	Category 1.5/F	79,2745	111,738
		Category 1.5/D	72,995	104,262
		Category 5/D	78,3428	120,619
Akaryakıt Depolama Tesisi\ Dizel Tank 1		Category 1.5/F	112,15	261,613

Çizelge 4.12. Parlama Yangını (devamı)

	Category 1.5/D	27,4289	52,3509
	Category 5/D	28,8625	28,9335
Akaryakıt Depolama Tesisi \Dizel Tank 2	Category 1.5/F	112,15	261,613
	Category 1.5/D	27,4289	52,3509
	Category 5/D	28,8625	28,9335
Akaryakıt Depolama Tesisi \Dizel Tank 3	Category 1.5/F	100,318	268,473
	Category 1.5/D	35,6571	52,7908
	Category 5/D	37,5611	37,9456
Akaryakıt Depolama Tesisi \Dizel Tank 4	Category 1.5/F	100,318	268,473
	Category 1.5/D	35,6571	52,7908
	Category 5/D	37,5611	37,9456
Akaryakıt Depolama Tesisi \Dizel Tank 5	Category 1.5/F	112,15	261,613
	Category 1.5/D	27,4289	52,3509
	Category 5/D	28,8625	28,9335
Akaryakıt Depolama Tesisi \Dizel Tank 6	Category 1.5/F	112,15	261,613
	Category 1.5/D	27,4289	52,3509
	Category 5/D	28,8625	28,9335
Akaryakıt Depolama Tesisi \Dizel Tank 7	Category 1.5/F	112,15	261,613
	Category 1.5/D	27,4289	52,3509
	Category 5/D	28,8625	28,9335
Akaryakıt Depolama Tesisi \Dizel Tank 8	Category 1.5/F	112,15	261,613
	Category 1.5/D	27,4289	52,3509
	Category 5/D	28,8625	28,9335
Akaryakıt Depolama Tesisi \Dizel Tank 9	Category 1.5/F	89,0429	278,14
	Category 1.5/D	45,9442	62,2829
	Category 5/D	48,3666	50,4472

Katastrofik bir yarıma sonucu benzin tankından boşalan yanıcı materyalin tutuşması sonucu oluşacak parlama yangını için havanın dingin olduğu gece vakti en yüksek etki olarak 79,27 - 111,73 metre olarak veriler elde edilmiştir (Şekil 4.23). Mazot tanklarının etki alanları küçük boyutlu tanklarda 112,15 - 261,61 metre olup, tankın büyüklüğü artınca 100,31 - 268,47 metreye en büyük boyutlu olan 9 numaralı tankta ise etki alanı 1,5 m/s rüzgâr hızında geceleyin 89,04 - 278,14 metreye çıkmaktadır (Çizelge 4.12).





Şekil 4.23. Parlama Yangının Etki Alanı Benzin Katastrofik Yarıлма

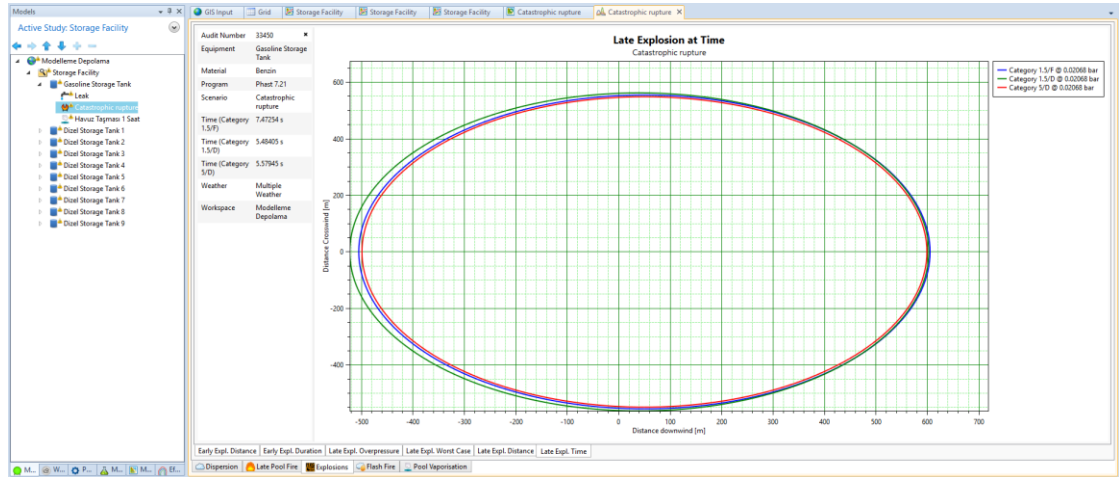
Erken patlama üzerine elde ettiğimiz sonuçlar bize basınç etki alanının olmadığını göstermektedir. Geç patlama da ise; üçüncü etkilenim basıncı 0,02068 bar, ikinci etkilenim basıncı 0,1379 bar ve en riskli etkilenim basıncı olarak ta, birinci etkilenim basıncı 0,2068 bar üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Buna göre benzin tankındaki yarıлmanın, birinci etkilenim basıncının etkili olduğu mesafe en kötü hava koşullarında 168,31 metre, ikinci etkilenim alanı 191,12 metre ve üçüncü en uzak etki mesafesi ise 605,17 metre olarak ortaya çıkmaktadır (Şekil 4.24). Dizel tanklarına geçince yine depolanan miktarların çokluğu ile etki alanları; 1. Etki alanı için 140,75 metreye, 2. Etki alanı için 144,34 metreye ve üçüncü etki alanı için ise 310,10 metreye uzanmaktadır. Dokuz numaralı dizel tankı yine en fazla kapasiteye sahip olduğundan 1. Etki alanı mesafesi 142,17 metreye, 2. Etki alanı mesafesi 142,90 metreye ve 3. Etki alanı mesafesi ise 391,75 metreye ulaşmaktadır (Çizelge 4.13). Rüzgâr hızı artınca buhar bulutunu seyrettiği için, etki mesafeleri özellikle motorin tanklarında azalmakta olduğu anlaşılmaktadır. Birbirini etkileyen tanklar sonucu, etkilenebilecek motorin tanklarındaki katastrofik yarıлmanın etkileri de (Şekil 4.26, Şekil 4.27 ve Şekil 4.28) çok uzak mesafeleri etkileyebilecek düzeydedir.

Çizelge 4.13. Geç Patlama

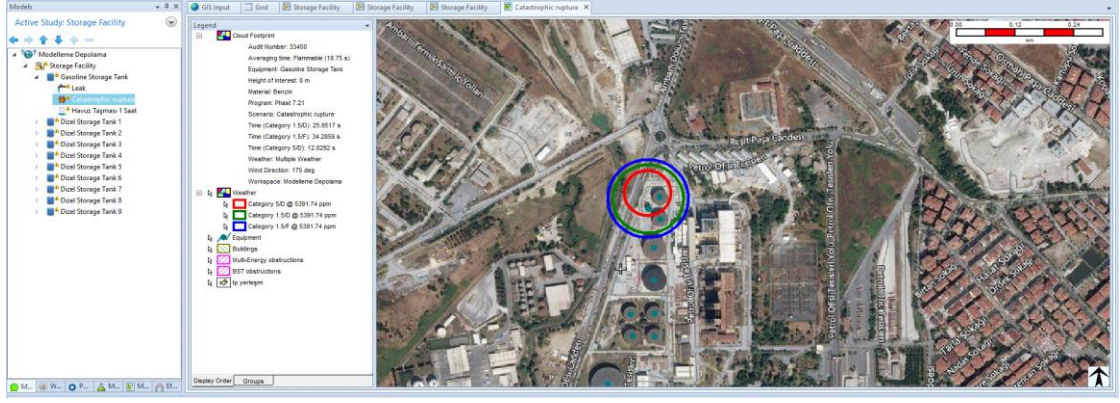
Path	Senaryo	Hava	Max. aşırı basınç çapı 1 (0,02068 bar) [m]	Max. aşırı basınç çapı 2 (0,1379 bar) [m]	Max. aşırı basınç çapı 3 (0,2068 bar) [m]
Akaryakıt Depolama Tesisi \Gasoline Tank	Katastrofik Yarıлма	Category 1.5/F	605,175	191,121	168,319
		Category 1.5/D	602,602	179,313	156,964
		Category 5/D	599	168,989	147,986
Akaryakıt Depolama Tesisi. \Dizel Tank 1		Category 1.5/F	254,653	143,817	140,359
		Category 1.5/D	208,336	64,6608	55,9873
		Category 5/D	102,926	36,1173	32,0841
Akaryakıt Depolama Tesisi \Dizel Tank 2		Category 1.5/F	254,653	143,817	140,359
		Category 1.5/D	208,336	64,6608	55,9873
		Category 5/D	102,926	36,1173	32,0841
Akaryakıt Depolama Tesisi \Dizel Tank 3		Category 1.5/F	310,109	144,348	140,758
		Category 1.5/D	290,268	88,6413	76,4694
		Category 5/D	157,633	54,8064	48,5989
Akaryakıt Depolama Tesisi \Dizel Tank 4		Category 1.5/F	310,109	144,348	140,758
		Category 1.5/D	290,268	88,6413	76,4694
		Category 5/D	157,633	54,8064	48,5989
Akaryakıt Depolama Tesisi \Dizel Tank 5		Category 1.5/F	254,653	143,817	140,359
		Category 1.5/D	208,336	64,6608	55,9873
		Category 5/D	102,926	36,1173	32,0841
Akaryakıt Depolama Tesisi \Dizel Tank 6		Category 1.5/F	254,653	143,817	140,359

Çizelge 4.13. Geç Patlama (devamı)

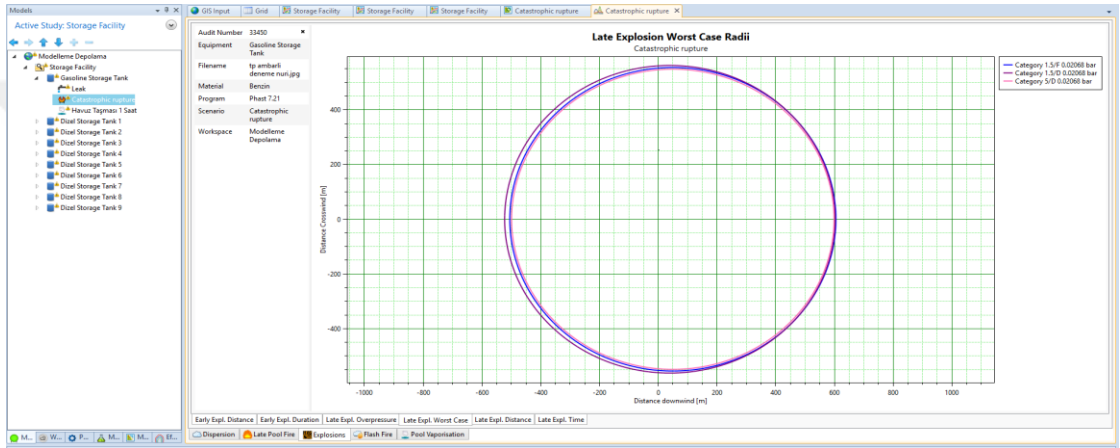
	Category 1.5/D	208,336	64,6608	55,9873
	Category 5/D	102,926	36,1173	32,0841
Akaryakıt Depolama Tesisi \Dizel Tank 7	Category 1.5/F	254,653	143,817	140,359
	Category 1.5/D	208,336	64,6608	55,9873
	Category 5/D	102,926	36,1173	32,0841
Akaryakıt Depolama Tesisi \Dizel Tank 8	Category 1.5/F	254,653	143,817	140,359
	Category 1.5/D	208,336	64,6608	55,9873
	Category 5/D	102,926	36,1173	32,0841
Akaryakıt Depolama Tesisi \Dizel Tank 9	Category 1.5/F	391,752	142,905	142,178
	Category 1.5/D	348,72	108,058	93,5299
	Category 5/D	303,666	99,3018	86,9646



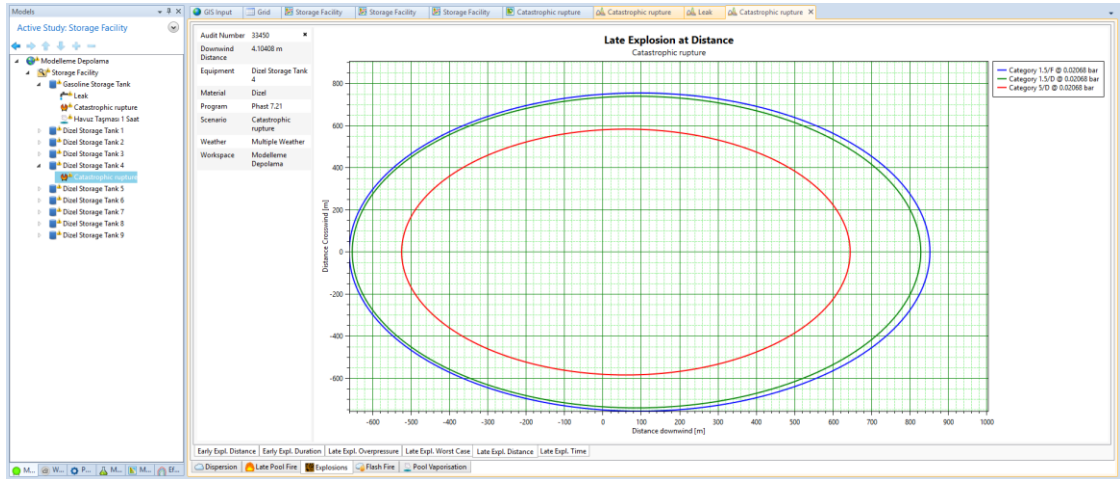
Şekil 4.24. Geç Patlama – Benzin Tankı



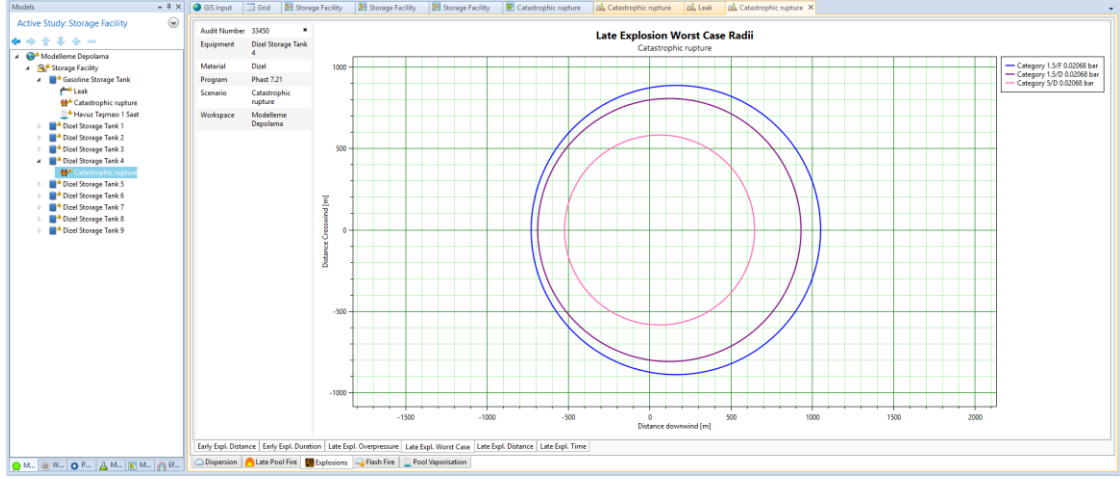
Şekil 4.25. Benzin Buhar Bulutu Yayılımı Kuşbakişısı – GIS üzerinde



Şekil 4.26. Geç Patlama - Benzin Tankı - En Kötü Senaryo çapı



Şekil 4.27. Geç Patlama - Dizel Tankı – Katastrofik Yarıлма



Şekil 4.28. Geç Patlama - En Kötü Senaryo

Belirtilen etki alanlarındaki maksimum basınç çapları ise yine benzin tankı için en kötü hava koşullarında ( Gece 1.5 m/s hava akım hızı ) birinci etki alanı 136,63 metre, 2. etki alanı 182,24 metre, üçüncü etki alanı da 1110,35 metredir (Çizelge 4.14). Buna mukabil, en kötü hava şartlarında dizel tanklarında ki maksimum basınç etki çapları; sırasıyla 20,71 metre, 27,63 metre, 349,30 metre olup, 5 m/s rüzgar hızında sırasıyla 24,16 metre, 32,23 metre ve 165,85 metre görünmektedir (Çizelge 4.14). Bir büyük boy dizel tankta etki mesafesi ise; 1,5F hava koşullarında maksimum basınç etki çapları; sırasıyla 21,51 metre, 28,69 metre, 520,21 metre bulunmuş, 5D hava koşullarında 37,19 metre, 49,61 metre ve 255,26 metre bulunmuştur. En büyük tank olan dokuz numaralı tankın maksimum basınç etki çapı da 1,5 m/s rüzgar hızı gece sırasıyla 4,35 metre, 5,81 metre ve 663,50 metre olup, gündüz 1,5 m/s hava akım hızında sırasıyla 87,05 metre, 116,11 metre ve 597,44 metre sonuçları elde edilmiştir. Burada dikkate değer durum olarak diğer tanklarda da olduğu gibi 5 m/s hava akım hızındaki verilerdir. Maksimum basınç etki çapı birinci etki çapı olarak 73,92 metre, ikinci etki çapı olarak 98,60 metre ve en çok etki çapı olarak görünen üçüncü etki çapı içinse 507,33 metre gibi bir uzunluk elde edilmiştir. Hava akım hızı arttıkça etki alanının azaldığı görülmektedir.

Çizelge 4.14. Maksimum Basınç Çapı

Path	Senaryo	Hava	Max. aşırı basınç çapı 1 (0,02068 bar) [m]	Max. aşırı basınç çapı 2 (0,1379 bar) [m]	Max. aşırı basınç çapı 3 (0,2068 bar) [m]
Akaryakıt Depolama Tesisi\Benzin	Katastrofik Yarıllma	Category 1.5/F	1110,35	182,242	136,638
		Category 1.5/D	1125,2	178,627	133,927
		Category 5/D	1098	177,978	115,972
Akaryakıt Depolama Tesisi \Dizel Tank 1		Category 1.5/F	349,307	27,6336	20,7186
		Category 1.5/D	356,671	69,3215	51,9746
		Category 5/D	165,853	32,2346	24,1683
Akaryakıt Depolama Tesisi. \Dizel Tank 2		Category 1.5/F	349,307	27,6336	20,7186
		Category 1.5/D	356,671	69,3215	51,9746
		Category 5/D	165,853	32,2346	24,1683
Akaryakıt Depolama Tesisi \Dizel Tank 3		Category 1.5/F	520,218	28,6962	21,5153
		Category 1.5/D	500,536	97,2826	72,9388
		Category 5/D	255,267	49,6128	37,1978
Akaryakıt Depolama Tesisi \Dizel Tank 4		Category 1.5/F	520,218	28,6962	21,5153
		Category 1.5/D	500,536	97,2826	72,9388
		Category 5/D	255,267	49,6128	37,1978
Akaryakıt Depolama Tesisi \Dizel Tank 5		Category 1.5/F	349,307	27,6336	20,7186
		Category 1.5/D	356,671	69,3215	51,9746

Çizelge 4.14. Maksimum Basınç Çapı (devamı)

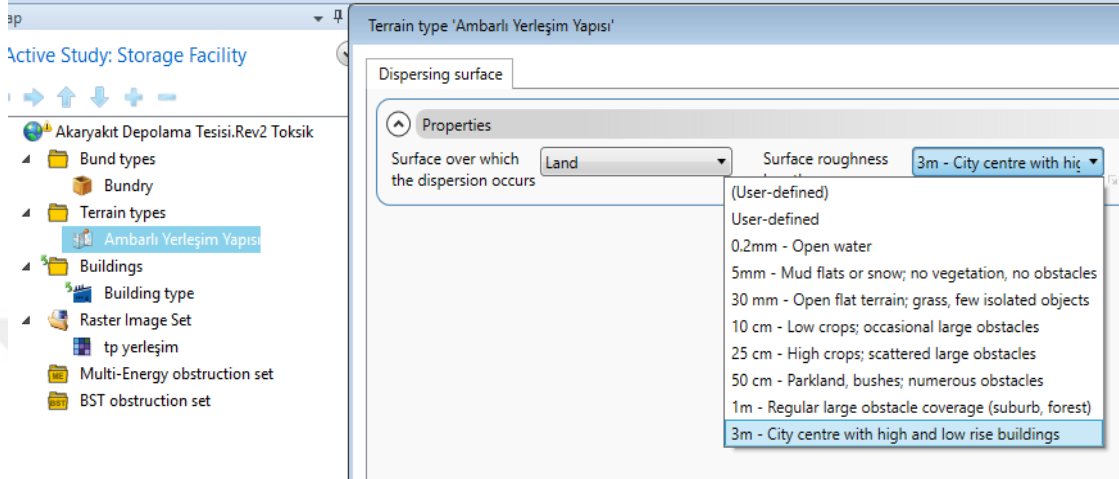
	Category 5/D	165,853	32,2346	24,1683
Akaryakıt Depolama Tesisi \Dizel Tank 6	Category 1.5/F	349,307	27,6336	20,7186
	Category 1.5/D	356,671	69,3215	51,9746
	Category 5/D	165,853	32,2346	24,1683
Akaryakıt Depolama Tesisi \Dizel Tank 7	Category 1.5/F	349,307	27,6336	20,7186
	Category 1.5/D	356,671	69,3215	51,9746
	Category 5/D	165,853	32,2346	24,1683
Akaryakıt Depolama Tesisi \Dizel Tank 8	Category 1.5/F	349,307	27,6336	20,7186
	Category 1.5/D	356,671	69,3215	51,9746
	Category 5/D	165,853	32,2346	24,1683
Akaryakıt Depolama Tesisi \Dizel Tank 9	Category 1.5/F	663,504	5,81003	4,35614
	Category 1.5/D	597,44	116,117	87,0598
	Category 5/D	507,333	98,6036	73,9292

#### 4.7 En Kötü Durum Senaryosu

En kötü durum senaryosu için çevredeki yerleşimler dikkate alınmalıdır. Bölgenin düz, engebeli veya açık deniz olup olmamasına göre etkilenmenin boyutu değişmektedir. Elde ettiğimiz yukarıdaki bulgular açık alandaki etki mesafelerini vermektedir. Bölgede çok yoğun yerleşim alanı olduğundan senaryolarda çevresel alan bilgisi olarak ( terrain ) 3 metre alınmıştır. Etki alanı yayılımı yere baskı yaparak gideceği için yazılım seçenekleri 0,2 mm, açık deniz ile başlayarak; 5 mm çamur ve kar veya hiç çimen vb. şeklindeki yeşillik yok seçeneği ile devam ederek, 30 mm çimen vb. yeşillik diye gitmektedir. 25 cm yüksek ekinler, büyük engeller, 50 cm park alanları, çalılıklar, sayıca fazla engeller, 1 metre ise çevrede düzenli büyük

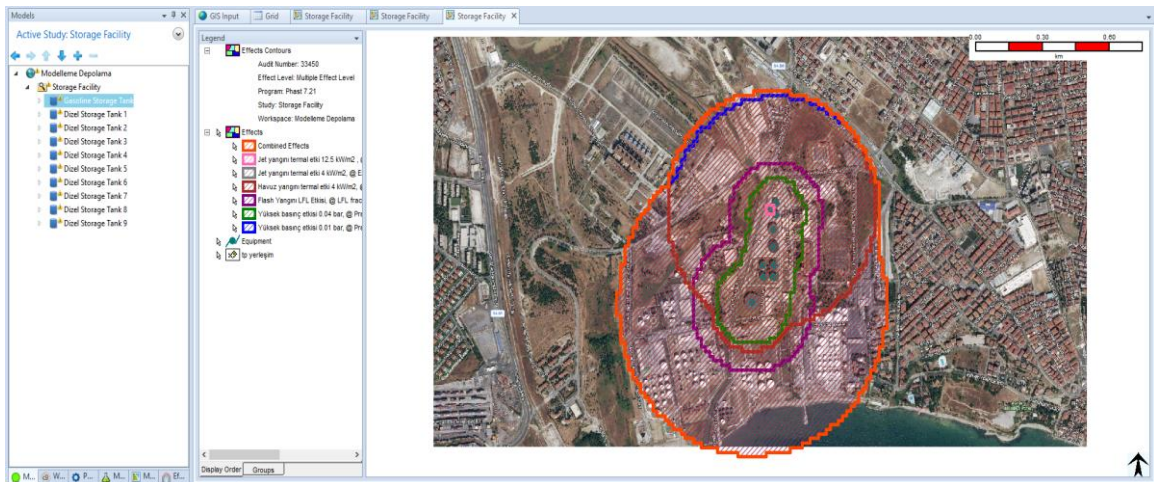


engeller, ağaçlık, banliyö gibi verileri temsil etmektedir. 3 metre yüksek ve alçak binaların bulunduğu şehir merkezi için veri girişidir. Ele aldığımız tesis şehir merkezi içinde bulunduğu ve çevresinde de 5 katlı binalardan başlayarak, 15 – 20 katlı yüksek binalara varan bir yerleşim yeri gösterdiğinden bu veri girişi ile yazılım çalıştırılmıştır (Şekil 4.29).



Şekil 4.29. Çevresel Veri (Terrain Type) Giriş Ekranı

Elde ettiğimiz bulgular başlatıcı etkiden yola çıkarak en kötü durum senaryosu oluşturulduğunda, etki alanının depolanan miktarın ve depolama tanklarının büyüklüğü ile de alakalı olarak çok büyük mesafelere ulaşarak zarar verebileceğini göstermektedir. Başlatıcı etkinin tetikleyebileceği yanma ve/veya patlama etkileri ile diğer tankların da etkilenecek oluşturacağı birleşik etkinin elde ettiğimiz bulguları harita üzerinde (Şekil 4.30 – Şekil 4.31 ve Şekil 4.32) gösterilmiştir.



Şekil 4.30. Birleşik Etki – En kötü Durum Senaryosu





Şekil 4.31. Birleşik Etki – En kötü Durum Senaryosu



Şekil 4.32. Birleşik Etki – En kötü Durum Senaryosu

Birbirlerinin etki alanlarında olan diğer depolama tankları domino etkisi göstererek, etki alanını büyütmekte ve çok uzak bölgeleri bile etkileyebilmektedir. Termal etki çok uzak alanlarda dahi yangınlar başlatabilecek durumda görünmektedir. Patlama etkisi ise yine yakın yerleşim yerlerinde camları kırarak ve yapılara zarar vererek, buralarda yaşayanların yaralanmalarına neden olabilecek durumda görünmektedir.

Oluşabilecek bir buhar patlaması 0,04 bar basınç ile tankların tamamını içine alacak şekilde etkileyebilecek boyutta olup, komşu elektrik üretim tesisini içine aldığından, direkt bir şekilde önemli ölçüde etkileyecektir. Doğu batı yönünde yaklaşık 1.300 metre çap içinde, kuzey güney yönünde, güneye doğru etkili olmak kaydıyla, 1.600 metre içindeki komşu tesisleri de içine alacak ve yakın yerleşimde de tehdit

oluşturacak bir etkisi görülmektedir. Bu etki öncelikle benzin tankındaki etki olup, bunu diğer tanklarında katılımları ile etki alanının genişletmektedir. Havuz yangınındaki 4 kW/m<sup>2</sup> termal etkinin etkileme uzaklığı yaklaşık 1.100 metre çapında bir alan şeklinde görülmektedir. Üstelik güney yönünde domino etkisi ile 130 metre daha fazla etki mesafesini genişletmektedir. Güneyde diğer tehlikeli kimyasal depolayan tesisleri içine alacak bir mesafedir. Kuzeyden geçen yakındaki yola kadar etki alanı görülmektedir.



## 5. TARTIŞMA

Çok yüksek miktarlarda depolama yapılan, petro-kimya tesislerindeki tehlikeli yanıcı kimyasalların, olası kaza senaryoları üzerinden elde edilen bulgular bize etki alanlarının ve etki mesafelerinin çok önemli uzaklıklara kadar ilerleyebildiğini ortaya koymaktadır. Bu gibi yüksek miktarlarda yanıcı ve kolay alevlenebilir hidrokarbon ihtiva eden depolama tesisleri tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de oldukça fazla miktarlarda bulunmaktadır.

Proses endüstrisi Avrupa'da ve dünyanın geri kalanında, toplumların günlük enerji ihtiyaçlarını karşılamak için faaliyet göstermektedir. Bu enerji ihtiyaçlarını karşılamak üzere kullanılan yakıtlar ve çeşitli maddeler üzerinden taşımalar ve depolamalar yapılarak lojistik desteklenmektedir. Bu faaliyetler zaman zaman büyük tehlike potansiyelleri ile el ele gider ve nadiren de majör kazalar ile sonuçlanır. Açıkçası, yeterli yönetim ve kontrol bu gibi büyük tehlikelerin uzun vadeli çalışma yeterliliğini garanti altına almak için esastır. Avrupa'da, bu gibi tehlikeli kimyasal maddelerin kontrolü için, Seveso diye adlandırılan mevzuat ile düzenlenen bir politika uygulanmaktadır. (Pasman ve Reniers, 2014)

Kaza senaryolarını modellemek ve gerçeğe yakın şekilde oluşturabilmek önemiyet arz eder. Buna mukabil modellerin çoğu kez belirsizliği üzerine tartışılır. Modellerin “model belirsizliği” üzerine yapılan görüşlerin yorumlanması, analistin model ile gerçek dünya arasındaki derece uyumu konusunda kayıtsız olabileceğini göstermez. Analizi yapan grup ve çalışmalarını doğrulayanlar, söz konusu karar süreci için kullanılan modellerin farklılaşmasının yeterli olduğundan emin olmak için en iyi mühendislik kararını kullanma sorumluluğuna sahiptir (Nilsen ve Aven, 2003).

Model kurarken belirsizlik üzerine bazı soru işaretleri olmasına rağmen, hatta analizi yapan kişiden kişiye bazen değişiklik göstermesine rağmen, mühendislik çalışmalarının gereğini kullanarak modeli doğruya yakın oluşturmak gereklidir. Risk içerisinde belirsizliği barındırmaktadır (TS EN 31.000). Riski azaltmak, kabul edilir seviyelere çekmek iş sağlığı ve güvenliğinin temelini ve mevzuatın gerekliliğini oluşturmaktadır. Bu belirsizliği ve dolayısı ile riski en düşük seviyeye çekmek için mühendislik sorumluluğu içinde davranmak önemlidir. Yapılan çalışmada bu sorumluluk alınarak, HAZOP çalışması ile devamında yapılan LOPA analizleri

yapılan kantitatif risk analizleri ile mühendislik sorumluluğu karşılanmış, buradan çıkan sonuçlara göre en kötü senaryo üzerine gidilerek etkinin en geniş alanı üzerinde durulmak istenmiştir.

Gelecek yıllarda daha da güvenilir QRA yazılımları oluşturmak veya geliştirmek çok daha önemli olacaktır. QRA, insan güvenilirliği, domino etkileri vb. dâhil detaylı tehlike tanımlaması kavramlarının kullanılmasına daha fazla ihtiyaç duyar (Pasman ve Reniers, 2014).

Phast yazılımı güvenilirliğini literatür çalışmaları ile olduğu kadar, alandaki kullanımı, geçerliliği ve etkinliği ile de kanıtlamıştır. Bu bağlamda, Phast 7.21 yazılımı kullanılarak yapılan modellemeler ile ortaya çıkan etkiler hesaplanmış, sonuç raporları ile harita üzerinde konumlandırarak görsel olarak da sonuçlar elde edilmiştir. Yazılımların da bu konudaki etkinliği tartışılmamakla birlikte, dünya üzerinde birçok yazılım bu konuda atağa geçmiş durumdadır. Ancak DNV firmasının yıllar süren birikimler ile ve İngiltere’ de askeri alanlarda yaptığı deneysel çalışmalarla destekleyerek hazırladığı yazılım oldukça geniş kitleler ve otoriteler tarafından kabul görmektedir. Bahsi geçen yazılım kullanılarak yapılmış bir çalışmada CNG (Compressed Natural Gas) basınçla sıkıştırılmış doğalgaz dolmuş tesisindeki bir patlama modellemesi üzerine makale, yazılımın uluslararası akademik camiada kabul gördüğünü göstermektedir ki daha başka birçok çalışma da mevcuttur (Parvini ve Kordrostami, 2014).

Depolama faaliyetleri ve proseslerinin risk analizi için hata senaryolarının tanımlanması üzerinden tehlikeli maddenin salınımı ele alınır. Her bir salınım bir etki ve olasılık faktörü içermektedir. Salınım olasılığı ekipmanların hata yapabilme oranlarından; etkisi ise maruziyetin etkileyebilecekleri üzerinden fiziksel etkilenimleri ( şiddeti) ile hasar görmeleri ( darbe etkisi ) üzerinden tahminlenir. Bu etkiler yanma sonucu termal radyasyon, patlama sonucu aşırı basınç ve maruziyete muhatap olan insanlar, yapılar ve çevre etkileri olup, hassasiyetleri ve alandaki yoğunluklarıdır (Han ve Weng. 2011; Pasman 2011).

Hidrojen tesisi üzerine 2011 yılında yapılan bir çalışmada da ani ve sürekli salınım üzerinden modellemeler yapılmıştır. Ani bir salınım sonrası tutuşma ile buhar bulutu patlaması olacağı ve silindirik depolama tanklarında oluşabilecek bir katastrofik parçalanma sonucu ani boşalım olabileceği ve bunun diğer silindirik depolama

tanklarında domino etkisine yol açabileceği belirtilmekle birlikte, domino etkisi analiz edilmemiş, bunun yerine bu etkinin çok büyük olmayacağı belirtilerek geçilmiştir. Sürekli bir salınımda Jet yangınlarının oluşacağı da yine söz konusu edilmektedir. Radyant ısının ve aşırı basınç oluşturacak bir yangın ve patlamanın insan ölümleri ile neticelenebileceği, parlama yangınları için alev alanında ( alev zarfında ) %100 ölümcül ve bu alanın dışında ise % 0 ölümcül olacağı varsayılmıştır. Aşırı basınç patlamalarında da 0,3 barlık bir basınç etkisinin yine %100 ölümcül ve bu basıncın altındaki dışarıda bulunan insanlar için, % 0 ölümcül olacağı, 0,1 ile 0,3 bar arasındaki bir basınç etkisinin ise %2,5 luk bir ölümcül etkiye yol açacağı varsayılmıştır. Termal radyasyon etkisinde ise dışarıda bulunan canlılar için, 35 kW/m<sup>2</sup> lik bir etkinin %100 ölümcül, daha düşük ısı etkilerinde ise %0 ölümcül olacağı varsayılmıştır. Uygulanan senaryolar daha önceden yapılmış HAZOP çalışmalarından seçilmiş, frekanslar için ise, bir istisna ile Purple Book ( Mor Kitap ) referans alınmıştır (Gye vd.,2019).

Yapılan varsayımlar çok keskin rakamlar içermekte ve sübjektif görünmekle birlikte bu tarz çalışmalar hep varsayımlar üzerine gitmektedir. Varsayımların gerçeği yansıtması ise, mühendislik becerisi gerektirmekle birlikte; kullanılan yazılımların kısıtlamaları ile doğruluk payı artmaktadır.

### **5.1 Domino Etkisi Üzerine Başlatıcı Sebepler**

Benzin parlama noktası -42 °C olan bir sıvı olup, bu sıcaklığın üzerindeki derecelerde alevlenebilir buhar üretebilme yeteneğine sahiptir. Yanabilen maddeler gaz fazında olduğundan en ufak bir ateşleme enerjisi ile örneğin statik elektrik veya mekanik bir kıvılcım ile bile tutuşabildiğinden ve alt patlama limitlerini geçecek bir birikme olduğunda da buhar bulutu patlaması diye adlandıracağımız ATEX patlamasına haiz olduğundan motorine göre daha tehlikelidir. Motorinin parlama noktası + 52 °C dir ve dolayısı ile bu sıcaklıkların altında alevlenebilir buhar üretmez. Bu nedenle benzin tankında başlayacak olan bir olay neticesinde bitişikteki motorin tanklarının da etkilenerek ısınması, yanması ve parçalanması üzerinden domino etkisi değerlendirilmiştir.

Elde edilen bulgular bize en tehlikeli kimyasal olan ve motorine göre çok daha az miktarlarda depolanan benzin hattında olabilecek kazaların, devamında bitişikte bulunan motorin tank çiftliğini etkilemesinin domino etkisine, yani en kötü

senaryoya dönüşeceği bilgisini vermektedir. Termal radyasyon etkisi için üç barem ele alan yazılım,  $37,5 \text{ kW/m}^2$  değerini kullandığı gibi, daha az etkilenmenin örneğin canlılar üzerinde 1.derece yanık etkisi oluşturabilecek değeri de ( $4 \text{ kW/m}^2$ ) verebilmekte; bu etkinin ikincil tutuşturucu kaynak olabileceği ve süregelen yangın ve patlama risklerinin alan içinde halen mevcut olduğu ve buralarda da gerekli önlemlerin alınması gerekliliğini de ortaya koymaktadır. Çalışmamızda etkilenen alana baktığımızda ise birleşik etkilenmenin yaklaşık 1 kilometre çapında bir alanı etkilediği görülmektedir. Havuz yangını ise 439 metre çapında bir alanı  $4 \text{ kW/m}^2$  ısı etkisi ile etkilemektedir. Olası bir patlamadan kaynaklanabilecek yüksek basınç etkisi ise yaklaşık 1,1 kilometrelik bir alanda 0,02 bar ile hissedilecektir.

Buna mukabil, etki sadece benzin tankı ile sınırlı kalsa; en kötü hava koşullarında yani  $1,5 \text{ m/s}$  rüzgâr hızında, hava dingin iken geceleyin oluşacak aşırı basınç etkisinin 0,02 bar ile yine 1,1 km lik bir alanı etkileyeceğini yazılım ortaya koymaktadır. Bu kadar büyük alan içinde bulunan motorin tanklarının da etkilenecek hasar görmesi ve sızıntıya yol açması hatta parçalanmasının kaçınılmaz olacağı unutulmamalıdır. Bu tankların da etkilenecek yarılmaları ve bunların da yangın ve patlama riskleri bulunmaktadır. Sadece bu tanklar değil çevre tesisleri de etki alanı içine aldığından bu tesislerde de benzer etkiler söz konusu olacaktır. Motorin tanklarındaki etki alanı aynı basınç için 663 metreye kadar ulaşmaktadır. Konumlarının benzin tankına göre güneyde olması sebebiyle birleşik etki diye adlandıracağımız domino etkisi güney yönünde etki mesafesini artırmaktadır.

Havuz yangını veya parlama yangını şeklinde ki termal etkinin  $4 \text{ kW/m}^2$  için; 72 metre parlama yangınında, 439 metre havuz yangınında olduğunu ele alırsak, bu etkilerin de diğer tankları etkilemesi söz konusudur. Bu etkiler diğer tankların ısınarak sızıntı ve yarılma şeklinde dağılım göstermelerine ve etkinin büyümesine sebep olacaktır. Dolayısı ile domino etkisinin sonucu oluşacak parlama ve havuz yangınları için de büyük bir risk söz konusudur. Domino etkisinin bir örneği, 1985'te Priolo'da (İtalya) bulunan bir petrokimya fabrikasında meydana gelmiştir. Bir damıtma kolonunun ısıtıcısındaki alet arızası, bir emniyet tahliye vanasını harekete geçiren bir sıcaklık artışına neden olmuştur. Tahliye vanasının gevşemesi, bir flanştan yanıcı gaz salınmasına neden olarak tutuşup jet yangını şeklini almıştır. 150 mm çapında kırık bir borudan salınan gazın da tutuşması ile bir jet yangını büyümüştür. Jet yangını, 18,2 barda etilen içeren ve başka bir damıtma kolonuna

bağlanan, 16 m mesafede bulunan 600 mm çapında daha büyük bir boruya ulaşarak, büyük bir alev topu oluşturmuş, ardından da çok daha büyük bir jet yangını oluşturmuştur. İkincil jet yangını, 60 m mesafede bulunan ve LPG içeren sekiz silindirik depolama tankına ulaşmıştır. Tanklardan birinde alev topu ve ardından bir BLEVE patlamasına dönüşmüştür. Tank, birkaç parçaya bölünmüş ve en büyük ikisi, ilk tank konumundan 25 m ve 125 m mesafelere savrulmuştur. Daha küçük parçalar ise 700 metreye kadar olan mesafelere savrulmuştur. Bu parçaların etkisi, diğer üç depolama tankının bir boru dâhil diğer ekipmanların üzerine düşerek parçalanmalarına neden olmuştur. Termal etki 250 metre çapında bir mesafeye ulaşmıştır (Casal, 2017).

Başlatıcı etki olarak benzin tankındaki bir olay alınsa da domino etkisi olarak diğer tankların etkileşimi göz önünde tutulmalıdır. Doğaldır ki elde edilen veriler ışığında bu tankların aralarına da birbirini etkilememesi adına ek tedbirler alınması ayrı bir önem taşımaktadır.

Risk güvenlik eksikliğinin bir ölçüsü olduğundan, güvenliği izlemek için gerçek zamanlı risk analizleri yapılmak istenilebilir, bu nedenle risk seviyesinin dalgalanmaları bağlamında, kısa dönem etkileri ile (ör. hava koşulları, süregelen bakımlar, insan hataları veya çok geniş insan etkilenimleri), daha yavaş, orta ve uzun vadeli değişiklikler (ör. detaylı denetimler, aşınma veya kültürel değişimler, vb...) izlenir. Literatürde “güvenlik barometresi” gibi bu ve buna paralel ütopyik düşünceler bulunmaktadır (Knegtering ve Pasman, 2013). Fazladan sensör ekleyerek (titreşim, gürültü, koku, gereğinden fazla enerji kullanımı vb.) ve bunları kontrol edecek proses kontrol sisteminin kullanılması gibi (Reniers ve Pasman, 2014).

## **5.2 Tesislerin Konumlandırılması ve Yoğun Nüfus Varlığının Değerlendirilmesi**

Risk değerlendirmesinde, genellikle 3 tip risk ele alınır. İş güvenliği riskleri ki çalışma alanında bulunan çalışanların üzerindeki riskler, toplumsal riskler ki, yakın yerlerde yaşayanlar ile çevre üzerindeki etki ve ekonomik riskler yani finansal cezalar, ürün ve kar kayıpları üzerine etkiler şeklindedir. Ekonomik kayıplar genellikle sigorta tarafından karşılanır ve dolayısı ile bu konunun ilgi alanına girmez. Ana ilgi alanı, iş güvenliği riskleri ile beraber toplumsal risklerdir (Andrews ve Moss, 1993; Zhiyong, 2011).

Tesislerin büyüyen karmaşıklığı, daha yoğun maruz kalan nüfus ve varlıkların

yoğunluğu ile daha geniş tehlike altındaki kayıpların bir sonucu olarak, risk analizi talep edilmektedir. Risk analizi oldukça karmaşıktır ve birçok operasyon ve sayı içerir. Bu ise daha basit ve düz bir yaklaşımı benimseyenler için korkutucu olabilir. Bununla birlikte, gerçeklik neredeyse sayısız şekillerde kendini gösterir. Olası riskleri kavramak ve karmaşıklığı indirgemek için tek çözüm etkili bilgisayarlar ve uygun algoritmalar kullanmaktır. Güvenlik kapsamında “ Şeytan ayrıntıda gizlidir “. Önemli ayrıntılar tanımlandıktan sonra ve model üzerinde tümüyle çalıştıktan sonra güvenilir hale gelir (Pasman vd.,2009).

Güvenlik ve risk değerlendirmelerine kamuoyunun ve siyasilerin dikkatini çekmek için majör kazalar ana etmen olduğu bir gerçektir. Bu gerçek nicel risk değerlendirmesinin detaylandırılması ve bunun kimyasal endüstri aktivitelerinin arazi kullanım planlanması ile ilişkisini değiştirmemektedir. Flixborough, Pernis, Beek, Seveso ve Piper Alpha gibi felaketler önemli bir rol oynamıştır. Arazi kullanım planlaması için QRA uygulamalarının kullanımı dünyada Hollanda gibi en yoğun nüfusa sahip endüstriyel alanların bulunduğu bir ülkede başlamış bulunmaktadır ve uluslararası diğer bölge ve ülkelerde de uygulanmaya başlanmıştır. Büyük tehlikeler barındıran endüstriyel aktiviteler daha yoğun nüfusa sahip alanlarda daha fazla yürütüldüğünden ve bütün dünyada arazi eskisinden daha az bulunur ve dolayısı ile kıymetli olduğundan daha fazla bölge ve ülke bu şekilde çalışma metodlarını değiştirecek ve kimyasal kompleksler için QRA çalışmalarının arazi kullanımı planlaması kararlarını kullanacaktır (Pasman ve Reniers, 2014).

Yapılan çalışma kapsamındaki tesis çok öncelerden mücavir alana kurulmuş olmasına karşın zamanla yoğun yerleşime sahip olarak risk göz ardı edilmiştir. Bir milyona yaklaşan yoğunlukta bir popülasyon üzerinden acil durum senaryoları olası bir kaza sonrası ne derece etkili olacaktır tartışılır. Bu nedenle arazi kullanımı üzerine geliştirilecek politikalar, bunun yanı sıra kamulaştırma ile tehlikesiz alanlar oluşturma çabalarının önemi ortaya çıkmaktadır.

Minimum alanın bulunduğu yerlerde acil durum planlaması daha büyük önem taşımaktadır, çünkü bir projenin başlarında belirli senaryolar için kendini kurtarmaya yardımcı olabilir ve ilk müdahalede bulunanlar için ( ki bunlar tesisin veya komşu tesislerin ilk yardım müdahale ekipleridir ) planlanan tedbirler doğrultusunda siteye iyi ve çabuk erişim sağlamak ve hasarı sınırlamak için gereklidir. Bundan dolayı ilk



müdahale ekiplerinin arazi kullanım planlaması konusunda etkin olmaları bir anlam ifade eder. Maalesef, ilk müdahale edenlere oluşturulan modeller ek bir boyut gerektirir, çünkü bir senaryodaki dinamikler, ortak bir QRA için pek uygun olmadığı halde, günümüzde çok gereklidir. Zaman müdahale edenlerin başarısı için belirleyici bir rol oynar. Dinamikler, yangınların gelişimi ve zehirli bulutların dağılımı gibi zamana bağlı etkilerinin modellemesini de ima eder. Risk analizinin aksine bu yaklaşıma senaryo analizi denir (Pasman vd.,2009). Yapılan çalışmamız neticesinde zamana bağlı yangın ve patlama etkileri de Phast yazılımı ile irdelenmiş, elde edilen sonuçlar belirlenerek acil durumlarda müdahale için dahili ve harici planlamaya katkısı olacak şekilde neticelendirilmiştir. Benzin tankı üzerinden yapılan tek başına bir analiz neticesinde elde edilen veriler zamana bağlı olarak da alınarak etkileri incelenmiş, bu veriler ışığında hazırlanan ve tatbikatlar ile desteklenen hızlı ve etkin müdahaleler ile en azından bitişikteki tankların etkileniminin önüne geçilerek, domino etkisi şeklinde büyümesi önlenecektir. Yakınlarda bulunan diğer tanklar; parlama noktası yüksek olduğundan ilk tutuşma bakımından daha az tehlikeli görünen, ancak çok daha yüksek miktarlarda depolanan bir tank çiftliği şeklinde yer alan motorin tanklarının da, benzin tankının alevlenmesi veya patlamasının etkileriyle etkilenecek çok büyük felaketselere yol açmasının önüne, belki de ek bir bariyer daha olarak ortaya çıkacaktır. Tepki kapasitesini planlamak, yeterli kaynakları efektif kullanarak ölüm sayılarını düşürmek için olası etkilerin doğasını, yaralanmaların ciddiyetini, olası kişi sayısını bilmek gerekmektedir. Bu planlamalarda ve ileriki karar verme safhalarında yönlendirmelerin ve müdahalelerin ne gibi kısıtları olacağını bilmek de önemlidir. Etkili bir acil durum planlaması ve kendi kendini kurtarma olasılığının tahmini ile ilgili bu verilere ihtiyaç vardır.

### **5.3 En Kötü Durum Üzerine Konum Bazlı Kantitatif Risk Değerlendirmesi**

Belirli bir kaynaktan ortaya çıkan risk konum bağımlıdır. Bunun konumlandırılarak, GIS ( Geographic Information System) üzerinde gösterilmesi etki alanının boyutunu harita ve coğrafi konum üzerinden ortaya koymaktadır (Pasman vd.,2009). Çalışmamız harita üzerinden GIS konumlandırılması ile sunulmuştur. Bu haliyle rakamsal verilerin yanında harita üzerinden görsel veri sunmasıyla, basit ve sade bir şekilde etki alanı ortaya konulmaktadır.

Yapılan tüm analizlerde genellikle en kötü senaryolar ele alınmaktadır. Bunun sebebi

frekansı başka bir deyişle, meydana gelme sıklığı çok düşükte olsa tarihsel verilere baktığımızda çeşitli nedenlerden kaynaklanan birçok büyük olayın vuku bulmuş durumda olduğunu görmekteyiz. 1998 yılında yapılan bir pestisit yayılımı çalışmasında da, yine etki değerlendirmeleri için en kötü durum senaryoları üzerinden gidilmiştir. Çeşitli tehlikeli olayların frekansı ihmal edilerek insanlar, çevresel etkiler ve kuruluşun kendisi üzerindeki hayal edilebilecek en kötü senaryolar üzerinden tahminlemeye gidilmiştir. Geçmişten bugüne bu tarz büyük kimyasal tesislerin tahmini en kötü senaryo üzerindedir (Nivolianitou, 1998). Yapılan çalışma kapsamındaki tesis için en kötü senaryolar; gerçekleşme olasılığı düşük olsa da geçmişten tecrübe ile olasılığı düşük fakat gerçekleştiğinde afete dönüşen olaylar açısından; tesis ve çevresi için etkileri üzerine analizler yapılmıştır. Bu analizlerin sonunda elde edilen bilginin “önceden yapılması gerekenler” bağlamında hem işverene, hem de yerel yönetim ve mülkî idareye bir perspektif sunduğu düşünülmektedir.

#### **5.4 Yasal Koruma Gerekliliği**

Yasal kesinlik ve koruma, keskin karar kriterleri gerektirir ve belirsizliğe izin vermez. Verilen doğru nokta tahminleri bireysel ve toplumsal risk ve sabit tolerans normları, karar vermeyi kolaylaştırır. Kamu düşük olasılık rakamlarını anlamaz fakat olası güçlü kayıp etkilerini çok iyi anlar. Riskin halk üzerindeki politik ağırlığı; etki ve maliyetlerin risk azaltma önlemleri ile acil durum müdahale katılımı ile etkinliğinin sağlanabilirliğini içermektedir. Basitleştirilmiş, standartlaştırılmış bir QRA formu yasal amaçlar için (arazi kullanımı planlaması, lisanslama) hukuki sorunları önlemek adına cevap olabilir (Pasman vd.,2009). Karar verme mekanizmaları net bir işlem değildir. Her zaman risk, karşı durumda bir yarar da içermektedir. Tesis ruhsatlamaları ve arazi kullanım planlamaları şeklinde harici potansiyel etkiler gibi kamu güvenliği söz konusu olduğunda yasal kesinlik önem arz etmektedir. Bu QRA çalışmalarına eklenecek modellemelerin çıktıları, etki alanı hesaplamaları, sonuç analizini destekleyecek, harita üzerinde görseller ve şemalar üzerindeki rakamsal veriler ile politika belirleyiciler üzerinde karar vermeyi kolaylaştıracaktır. Bu aşamada doğru ve en olası senaryoların modellenmesi gerekmektedir. En kötü senaryolar en az frekansa sahip olsa da olduğundaki etkileri görebilmek karar verici merciler üzerinde doğru karar vermeleri aşamasında etkili olacaktır. Çünkü böyle kararlar, tesisin ruhsatının iptaline, tesisin taşınması kararına

ve hatta yakın yerleşim yerlerinin taşınmasına (Ör. daha yeni Kağıthane deki birkaç binanın biri çöktükten sonra boşaltılması hane sahiplerine devlet yardımı ve yeni yerleşime taşınması veya yine İstanbul / Kartal' da bir binanın çökerek 21 kişinin öldüğü olay sonrası çevre binaların boşaltılarak yeniden imar durumunun ortaya konulması ve yeniden imarı gibi) kadar gidebilen, genellikle çok fazla maliyet içermektedir. Karar verici merciler ekonomik krizlerinde etkisi ile ekonomik kayıplar üzerinden çoğu kez olayı değerlendirmekte, eğer riskin büyüklüğü göz önüne serilmez ise alınacak tedbirlerde eksikliklere yol açan kararlara imza atılabilmektedir. Yapılan bu ve buna benzer modelleme çalışmaları ile riskin büyüklüğü konusunda başka bir açıda sunulmuş olmaktadır. Modelin doğru ( ya da doğruya çok yakın ) ortaya konması burada en önemli olay olarak görülmektedir. Bunun için ise ele alınacak senaryolar seçilirken kalitatif risk analizi yöntemleri ile birlikte kantitatif risk analizi yöntemleri de kullanılarak modelin doğruluğu sınanmalıdır. Bu bağlamda, yapılan HAZOP çalışması kalitatif bir yöntem olup, proses sanayinde kullanılan etkili bir metot olup, Koruma Katmanları (LOPA) analizi ile de kantitatif olarak güvenilirlik verileri ışığında en muhtemel senaryolar üzerinde durulmaya çalışılmıştır. Elde edilen bulgular ise özellikle domino etkisinin yadsınamayacağı, olasılığının düşük olmasına karşı buna karşı da hazırlık yapılması gerektiği ve ek önlemlerin alınmasının önemi ortaya konmuştur.

Belirsizlik risk analizlerinin üzerinde çok büyük bir engel teşkil etmektedir. Buna mukabil, tutarlı, geçerliliği kabul edilmiş ve durum özelinde hazırlanmış senaryolar üzerinden hazırlanan etki modellemeleri ve hata oranı verilerini kullanarak kuvvetli bir oranda azaltılabilir (Pasman, 2011).

## **5.5 Yangın Ve Patlama Etkileri**

2015 yılında büyük bir kaza sonrası olabilecek hidrojen ve doğalgaz salınımının ele alındığı bir çalışmada da yüksek risk ihtiva eden risk senaryoları Phast 6.7 ile modellenmiş ve etki alanları çıkartılmıştır. Sistemdeki zayıflıkların tespitinde kullanılarak sistemi geliştirmek için önerilerde bulunulmuştur. Jet Yangını, Flaş (Parlama) Yangını ve Buhar Bulutu Patlaması (VCE) ana ve majör olay çıktıkları olarak ele alınmıştır. Elde edilen sonuçlara göre jet yangınının ve Buhar Bulutu Patlamasının Flaş yangınına göre daha tehlikeli olduğu anlaşılmaktadır. Bu tarz simülasyonlar ve QRA araçlarının kullanılmasının çok yararlı, kesin ve kapsamlı

sonuçlar verdiği ortaya konulmuştur (Mohammadfam ve Zarei 2015). Yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçları yapılmış diğer çalışmalar ile karşılaştırabiliriz. Bu bağlamda, petrol ürünleri depolama tesisi üzerindeki çalışmada aynı şekilde Jet Yangını, Flaş (Parlama) Yangını ve Buhar Bulutu Patlaması (VCE) ana ve majör olay ıktıları olarak ele alınmıştır. Bu ana ve majör olay çıktılarına bir ek olarak ise domino etkisi de değerlendirilmiştir. Bahsedilen çalışmada jet yangınları ile buhar bulutu patlamalarının etkisinin, parlama yangınlarının etkisine göre daha yüksek olduğu anlaşılmakla birlikte; yapılan bu çalışmada ise jet yangınlarının etkisinin nispeten parlama yangınlarına ve buhar bulutu patlamalarına göre daha az etkisi olduğu anlaşılmaktadır. Mohammadfam vd. yaptığı çalışma da, buhar bulutu patlamasının 0,01 bar basınç etkisi üzerinden en uzak mesafeye ulaştığı kaydedilmiştir. Güvenli mesafelerin risk analizlerine göre değil en kötü senaryo üzerinden yapıldığı belirtilmektedir. Araştırma kapsamında elde edilen bulgular bize yüksek miktarlarda depolama yapan petrol türevi yanıcı hidrokarbonların bulunduğu tesislerin ihtimali çok düşükte olsa, olası bir kazanın etkileyeceği alanın çok büyük olduğunu en kötü senaryolar dâhilinde vermektedir. Buna göre katastrofik yarılma neticesinde 0,02 barlık bir basınç etkisinin geç oluşabilecek bir buhar bulutu patlamasında benzin tankı için 605,17 metre olarak elde ettiğimiz veriler dokuz numaralı tanka kadar etkileme alanına sahip olduğundan diğer tanklarla birlikte bu tankta da ısınarak bütünlük kaybı oluşmasına yol açacağı üzerinden bakılmalıdır. Bu bağlamda, dokuz numaralı tankın patlamasının oluşturacağı 0,02 barlık etki alanı 391,75 metre olarak görünmekte ve tehlikeli madde depolaması yapan başka komşu tesisleri de etki alanı içine almaktadır. 0,01 barlık basınç etkisinin ise yerleşim yerlerini de içine alacağı öngörülmektedir.

Rüzgâr hızının ve gece ile gündüz farkının termal etki mesafeleri açısından büyük önemi olduğu elde ettiğimiz verilerden anlaşılmaktadır. Benzin tankında bir taşma sonrası oluşacak havuz yangınındaki termal etki 1,5F kategorisinde, yani gece hava dingin iken 1,5 m/s rüzgâr hızında 51 metre iken, gündüz 5 m/s rüzgâr hızında 48,69 metreye düşmektedir. Aynı şekilde, benzin tankındaki bir katastrofik yarılma sonucu oluşacak geç havuz yangınında 37,5 kW/m<sup>2</sup> lik etki seviyesinde 1,5F hava kategorisindeki etki uzaklığı 164,60 metre iken, gündüz 5D kategorisinde diğer senaryoya nazaran tam tersi etki ile 187,43 metreye çıktığı anlaşılmaktadır. Burada rüzgâr hızının modelleme hesaplarına etkisi ortaya konulmaktadır.

Her ne kadar en kötü senaryo üzerinden gidilse de rüzgâr hızının doğru girilebilmesi modellenmenin gerçekçiliğini ortaya koyacaktır. Bu bağlamda, meteorolojik verilere de ihtiyaç duyulmaktadır.

## 5.6 Meteorolojik Verilere Göre Değerlendirme

Meteorolojik verilerin yer aldığı Çizelge 5.1’ den anlaşılacağı üzere ortalama sıcaklık değerleri ve en yüksek sıcaklık değerleri ( en kötü senaryo ) üzerinden birlikte değerlendirildiğinde 25 °C derece olarak alınmıştır.

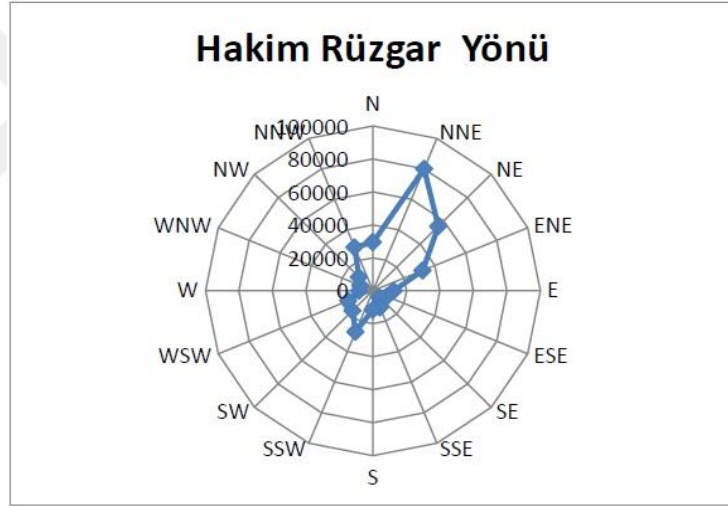
Çizelge 5.1. Ortalama sıcaklık çizelgesi Beylikdüzü Meteoroloji İstasyonu ( 2016 )

İSTANBUL	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen Ortalama Değerler (1950 - 2015)												
Ortalama Sıcaklık (°C)	5.7	5.7	7.0	11.1	15.7	20.4	22.9	23.1	19.8	15.6	11.5	8.0
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	8.5	9.0	10.8	15.4	20.0	24.6	26.6	26.8	23.7	19.1	14.7	10.8
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	3.2	3.1	4.2	7.7	12.1	16.5	19.5	20.1	16.8	13.0	8.9	5.5
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	17.5	15.3	13.8	10.4	8.1	6.1	4.2	4.9	7.4	11.3	13.2	17.2
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (kg/m <sup>2</sup> )	105.0	78.0	70.8	45.2	34.1	35.0	31.6	40.7	59.5	90.0	101.3	122.0
Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen En Yüksek ve En Düşük Değerler (1950 - 2015)												
En Yüksek Sıcaklık (°C)	22.0	23.2	29.3	33.6	34.5	40.0	41.5	39.6	36.6	34.0	26.5	25.8
En Düşük Sıcaklık (°C)	-11.0	-8.4	-5.8	-1.4	3.0	8.5	12.0	12.3	7.1	0.6	-2.2	-7.0
<i>En yüksek ve en düşük sıcaklıkların gerçekleşme tarihini görmek için fare imlecini değerlerin üstüne getiriniz</i>												
Günlük Toplam En Yüksek Yağış Miktarı	16.10.1985	125.5 kg/m <sup>2</sup>	Günlük En Hızlı Rüzgar	17.01.1970	113.4 km/sa	En Yüksek Kar	08.03.1987	63.0 cm				

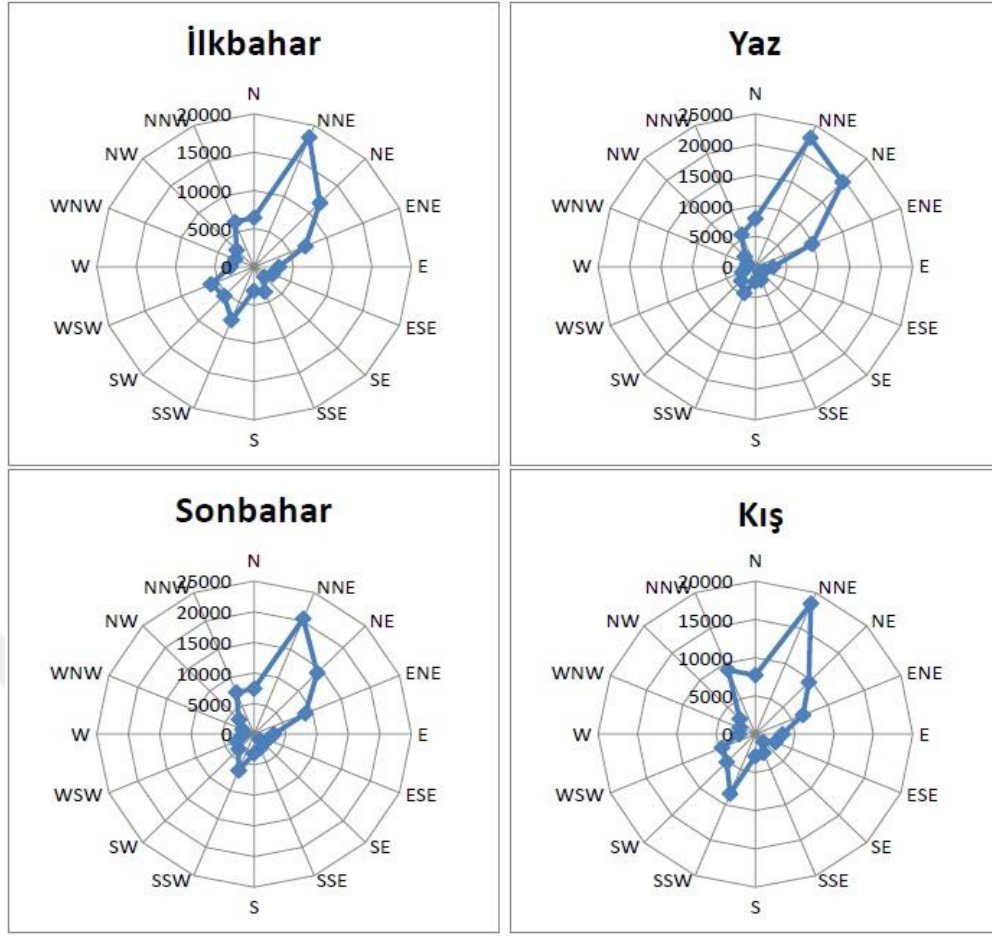
1970 – 2011 yılları Florya Meteoroloji İstasyonları gözlem kayıtları (Çizelge 5.2), yönlere göre rüzgârın esme sayısı toplamları yıllık, mevsimlik ve aylık olarak aşağıdaki tablolarda sayısal olarak verilmiştir. Verilere göre yıllık 1. Etkin yön NNE, 2. Etkin yön NE, 3. Etkin yön ENE’dir ( Şekil 5.1 ve Şekil 5.2).

Çizelge 5.2. Florya Meteoroloji İstasyonu Rüzgârların Esme Sayıları Toplamı

AYLAR / YÖNLER	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	TOPLAM	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış
<b>N</b>	2748	2316	2084	2051	2309	2509	2748	2648	2639	2393	2399	2651	29495	6444	7905	7431	7715
<b>NNE</b>	6414	5764	6531	5339	6466	6130	8145	8564	7813	7186	5441	6299	80092	18336	22839	20440	18477
<b>NE</b>	3066	3474	3764	3789	4301	4766	7231	7635	5771	5167	3246	3056	55266	11854	19632	14184	9596
<b>ENE</b>	2034	2203	2621	2172	2279	2676	3247	3820	2984	3210	2624	2315	32185	7072	9743	8818	6552
<b>E</b>	1122	999	1249	965	924	1023	936	842	926	952	1269	1313	12520	3138	2801	3147	3434
<b>ESE</b>	862	828	853	919	760	668	483	384	592	676	1074	1065	9164	2532	1535	2342	2755
<b>SE</b>	437	536	594	651	594	546	388	275	360	417	509	447	5754	1839	1209	1286	1420
<b>SSE</b>	862	1044	1021	1228	1269	1118	690	504	731	909	870	769	11015	3518	2312	2510	2675
<b>S</b>	976	802	875	1121	1122	1112	679	582	791	978	1408	1104	11550	3118	2373	3177	2882
<b>SSW</b>	2734	2360	2451	2535	2536	2399	1233	986	1393	2084	2944	3331	26986	7522	4618	6421	8425
<b>SW</b>	1832	1373	1718	1760	1880	1540	969	687	820	1066	1575	1946	17166	5358	3196	3461	5151
<b>WSW</b>	1606	1518	1989	2132	1790	1142	632	496	658	1106	1302	1468	15839	5911	2270	3066	4592
<b>W</b>	740	685	975	1116	938	580	450	326	399	574	676	661	8120	3029	1356	1649	2086
<b>WNW</b>	762	698	846	966	782	592	484	309	697	563	727	711	8137	2594	1385	1987	2171
<b>NW</b>	1198	738	1036	1092	1010	813	809	777	978	1249	1155	865	11720	3138	2399	3382	2801
<b>NNW</b>	3553	2535	2319	1964	2082	1953	1869	1907	2235	2401	2742	2992	28552	6365	5729	7378	9080



Şekil 5.1. Florya Meteoroloji İstasyonu Hakim Rüzgar Yönü



Şekil 5.2. Florya Meteoroloji İstasyonu Hakim Rüzgar Yönü Grafiği

Ortalama rüzgâr hızı değişik yönlerden ( hâkim rüzgar yönü ENE ) 1,74 ile 2,5 m/s arasında değişmekle birlikte fırtınalı havalarda 20 m/s ve üzerine de çıkabilmekte olduğu Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4' den anlaşılmaktadır.

Çizelge 5.3. Florya Meteoroloji İstasyonu Yönlere Göre Rüzgar Hızı

YÖNLER	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
ORTALAMA RÜZGAR HIZI	1.99	2.35	2.49	2.3	1.98	1.74	1.63	1.75	1.92	2.27	2.3	2.16	2.06	1.81	1.74	1.97

Çizelge 5.4. Florya Meteoroloji İstasyonu Maksimum Rüzgar Hızı ve Yönü

AYLAR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Maksimum Rüzgar Yönü	SSW	SSW	SSW	N	NE	N	WSW	NNW	WSW	SSW	SSW	SSW	SSW
Maksimum Rüzgar Hızı	27,6	22,3	19,3	19,8	18,3	16,0	17,1	19,1	18,5	21,1	28,1	21,7	28,1

Hava kategorisini 1,5 m/s gece ve gündüz ( 1,5/F ve 1,5/D ) ile 5 m/s gündüz ( 5/D ) olarak yazılım ele almıştır. Meteorolojik verilere göre alınan değerler ortalama rüzgâr hızlarına yakın hava kategorileridir. Gece özellikle etkilenim çok daha uzak mesafelere ulaştığından bu hava kategorisindeki etki göz ardı edilemez. 1984 yılında Hindistan' ın Bohpal kasabasındaki bir pestisit üreten Amerikan firmasındaki toksik bir Metilzosiyanat sızıntısı sonucu 20.000 civarında insan ölmüş, 100.000 kadarı kör olarak sakat kalmıştır. Bu orandaki büyük ölüm ve yaralanma sayısının oluşmasında olayın gece vakti ve şehir yönüne esen çok düşük rüzgâr esintisi nedeniyle yayılımının çok uzak mesafelere erişmesi en önemli etkenlerden biridir (Fortun, 2009)

### **5.7 Sızıntı, Tanktan Taşma ve Katastrofik Yarıma Etkileri ile Birlikte Domino Etkisinin Değerlendirilmesi**

2019 yılında Güney Kore' de şehir merkezinde bir hidrojen dolum tesisinde yapılan bir çalışmada, sızıntı ve potansiyel patlama senaryoları irdelenmiş, sonuç olarak ek güvenlik bariyer sistem ihtiyaçlarının olduğu vurgulanmıştır. En kötü durum senaryosu üzerinden gidilerek patlama anındaki basınç etkileri ile termal etki mesafeleri bulunmuştur. Patlama basıncı için 0,14 bar ile 0,2 bar alınmıştır. Termal etki için ise 37.5 kW/m<sup>2</sup> , 12.5 kW/m<sup>2</sup> ve 4 kW/m<sup>2</sup> ele alınmıştır. Patlama senaryosunun en tehlikeli durum olduğu ortaya konulmuştur.14,09 metrelik mesafede ölümcül etki (37,5 kW/m<sup>2</sup>) olabileceği belirtilmektedir. Termal etkinin 20 s. içinde (4 kW/m<sup>2</sup>) 40 metre kadar yakınlardaki yoldan geçen müşterilerde 1. derece yanık yapabileceği ortaya konulmaktadır (Zhiyong vd., 2011). Depolama tankları üzerine yapılan bu çalışmada da 1,5D hava kategorisinde patlama durumu için elde edilen bulgularda ki 0,02 barlık basınç etkisi; benzin tankında 1.125,2 metre, bir numaralı motorin tankında 356,67 metre, üç numaralı motorin tankında 500,53 metre, dokuz numaralı en büyük motorin tankında ise 597,44 metre çapa kadar çıkmaktadır. Diğer çalışmada ele alınan hidrojen dolum istasyonunun şehir merkezi olduğu ve bu nedenle önlemlerin yetersiz kalabileceği ile ek güvenlik bariyerleri önerilmekte olduğu düşünüldüğünde; yapılan bu çalışmadaki verilerin ışığında, etki alanının çok çok fazla olduğu ve ek güvenlik önlemlerinin fazlasının ilgili bu tesiste de alınması gerekliliği anlaşılmaktadır.

Çalışma kapsamındaki benzin tankındaki sızıntı etkisinin 1,5F kategorisindeki hava şartlarında jet yangınının 4 kW/m<sup>2</sup> termal etkisinin en uzak mesafe olarak 3,56



metreye ulaştığı elde edilen bulgulardan anlaşılmaktadır. Sızıntı hesaplamalarında geç havuz yangınında da etki alanı da  $4 \text{ kW/m}^2$  termal etkide 27,29 metre arasında görülmektedir. Parlama yangınında ise en büyük etki mesafesi rüzgâr yönünde alt patlama limitlerine yakın 2,32 metre, alt patlama limitlerinin yarısında ise 2,51 metreye kadar etki edebileceği anlaşılmaktadır.

Taşma etkisinin ise havuz yangını senaryosunda  $4 \text{ kW/m}^2$  üzerinden erken havuz yangınının etki alanı 8,46 metre ile 9,03 metre arasındadır. Geç havuz yangınının oluşturacağı havuz çapı 10,74 metre ile 11,63 metre arasındadır. Bu havuzun ( en kötü durum ) etkileyebileceği etki mesafesi 48,69 metre ile 51,01 metre arasında değişmekle birlikte etkilediği uzaklık sızıntı senaryosuna göre oldukça fazladır. Dolayısı ile domino etkisini başlatıcı etki yapması açısından dikkate değer bir risk görünmektedir. Phast yazılımı taşma senaryosu üzerinden buhar bulutu patlaması için herhangi bir model ortaya koymamıştır. Buhar bulutu patlaması ile parlama yangını bu senaryoda gerçekleşmemektedir. Jet yangını olasılığı da basınçlı çıkış olmadığından mümkün değildir. Bu nedenle sadece havuz yangını modellenmesi verileri bulunmaktadır. Taşan materyalin oluşturacağı havuz en kötü hava koşulunda; erken havuz yangınında 1,68 metre çapında ve geç havuz yangınında ise 11,63 metre çapında olup taşma havuzu sınırlarını aşmamaktadır. Yanacak olan benzin nispeten kontrollü bir yanma etkisi gösterecektir.

En kötü etkiyi katastrofik parçalanma veya yarıma olarak adlandırabileceğimiz ekipman üzerindeki bir bütünlük kaybında elde ettiğimizi, yazılımın sonuçlarındaki verilerden görmekteyiz. Tank üzerindeki 15 - 30 cm lik bir yarık üzerinden akacak yanıcı hidrokarbonlar, tutuştuğunda etki alanı çıkan ürünün de çok fazla olması nedeniyle önemli ölçüde büyük bir etki alanı oluşturmaktadır. En kötü durum senaryoları üzerinden hesaplamalar yapılarak önlemlerin alındığı düşünüldüğünde, böyle bir kaza senaryosunun etki alanını öğrenerek acil durum senaryolarının buna göre güncellemek gerekir. Katastrofik yarılmaların daha öncede belirtildiği üzere, yıldırım, sabotaj, sıcak çalışmalar, bakım vb. nedenlerle olabildiğini, tarihi veriler ortaya koymaktadır (Chang ve Cheng-Chung, 2006; Goble, 2010). Kazanın en kötü durum senaryosu olabilmesi için yerden 1 metre yükseklikten yarıldığını varsayarak hesaplamalar yapılmıştır. Dolayısı ile dolu olan tankın sıvı yüksekliğinin basıncı ile önemli ölçüde çok miktarda yanıcı petrol türevi açığa çıkmış olacaktır. Elde edilen bulgular da bunu destekler niteliktedir. Büyük bir yarıma sonrası açığa çıkacak olan

benzinin tutuşması sonucu oluşacak havuz yangınının tutuşturucu kaynaklar ile geç buluşması sonucu, oluşacak havuz yangınının etkisi benzin tankında oldukça uzak mesafelere ulaşmaktadır.

Erken havuz yangını için katastrofik yarılma senaryosunda veri elde edilememiştir. Ancak benzin tankında ki yarılma sonucu oluşacak havuzun geç tutuşması ile oluşacak havuz yangınının  $37,5 \text{ kW/m}^2$  termal etkisinin mesafesi olarak 1,5F hava kategorisinde 164,60 metre 5D kategorisinde ise 187,43 metre vermektedir.  $4 \text{ kW/m}^2$  termal etkinin mesafesinin ise sırasıyla 439,42 – 444,04 metre olduğu yine bulgulardan anlaşılmaktadır. Etki uzaklığının büyüklüğü oldukça dikkate değerdir. Bu mesafe içinde kalan diğer tanklar ve hatta başka tesisler de bulunmaktadır. Bu nedenle domino etkisinin söz konusu olması benzin tankındaki bu ölçüde bir kaza senaryosu ile daha mümkün ve gerçekçidir. Oluşacak termal etki diğer tanklar ile birlikte büyük miktarlarda yanıcı hidrokarbon depolayan çevre tesisleri de etki alanı içine almaktadır.

Katastrofik bir parçalanma senaryosu üzerinden geç havuz yangınında, motorin tanklarında etki mesafesi  $37,5 \text{ kW/m}^2$  için bireysel anlamda bir sonuç elde edilememiş,  $12,5 \text{ kW/m}^2$  için 62,80 – 65,53 metre ve  $4 \text{ kW/m}^2$  için ise 135,93 -164,62 metre olarak elde edilmiştir. Bu mesafeler benzin tankının etkilerinden oldukça düşük görünmektedir. Oluşacak havuz çapı ise 123 metredir.

Dizel tanklarındaki yarılmalarda ise materyalin çok daha fazla miktarlarda olması sebebiyle etki alanı da birbirini etkileyerek oldukça önemli oranlarda artacaktır. Bir tanktaki yayılımın yanma veya patlama etkisi ile diğer tanklarında çok yakında olmasından ötürü etkilenebileceği düşünüldüğünde motorin tanklarının da ilk tankın ( ki bu senaryo ya göre benzin tankı ) başlatıcı etkisi ile yarılacağı bir senaryo en kötü durum senaryosu olacaktır. Benzin tankında oluşabilecek aynı şekildeki bir kaza sonrası etki alanında bulunan motorin tanklarının termal etki veya patlamanın etkisi ile yarılarak daha fazla kimyasal yanıcı ürünün açığa çıkmasına, ısınmasına ve dolayısı ile tutuşarak etkinin büyümesine neden olacağı anlaşılmaktadır. Benzin düşük parlama noktasına sahip olduğundan bu tank üzerinden başlatıcı etki senaryoları konusunda yazılım doğrulama yapmaktadır. Başlatıcı etki olarak düşünüldüğünde domino etkisi içinde yüksek enerji ihtiva ederek etkinin büyümesine ve domino etkisi halini alarak felakete dönük rol oynamasında önem arz etmektedir.

Katastrofik bir yarılma sonrası oluşacak, parlama yangını için havanın dingin olduğu gece vakti 1,5F hava kategorisinde, benzin tankında en yüksek etki 111,73 metre olarak bulunmuştur. Parlama yangınında mazot tanklarının maksimum etki alanları ise; küçük boyutlu tanklarda 261,61 metredir. Büyük tankın etki mesafesi 268,47 metre, en büyük boyutlu olan 9 numaralı tankın etki mesafesi de daha fazla mazot ihtiva ettiği için, 1,5 m/s rüzgâr hızında geceleyin 278,14 metre olarak bulunmuştur. Bu mesafeler benzin tankına nazaran çok daha büyüktür. Dolayısı ile yine yazılım domino etkisinin benzin tankından başlayarak motorin tanklarının senaryoya ilavesi ile etki mesafelerinin daha uzak mesafelerde etkili olabileceğini göstermektedir.

Termal etkinin çok uzak yerlerde bile yangınlar başlatabileceği, patlama etkisinin de yine uzak yerleşim yerlerinde bile camları kırarak ve yapılara zarar vererek yaşayanlar üzerinde de yaralanmalara neden olabileceği elde edilen bulgulardan anlaşılmaktadır. Etki olarak 4 kW/m<sup>2</sup> ile 0,02 bar basınç etkisi alınmıştır. Ancak 1,5 veya 2 kW/m<sup>2</sup> ile 0,01 bar basınç etkisinin de önemli bir etki olduğu düşünüldüğünde etki mesafesi daha uzak alanlara taşacak ve yakın yerleşim yerleri de etkilenecektir. Depolanan miktarların fazlalığı etki mesafelerinin de artmasına neden olduğu yine elde ettiğimiz verilerden anlaşılmaktadır. Daha az tehlikeli olan, parlama noktası ortam sıcaklıklarının çok üzerinde olan motorin gibi yanıcı hidrokarbonların belirli bir ısıya ulaşmadan tutuşmayacakları varsayımından hareket ettiğimizde tutuşturucu diğer kaynakları göz önünde tutmalıyız. Domino etkisi gibi etkilerde tutuşturucu kaynak diğer depolama tanklarındaki yanma veya patlama etkileri olabilmektedir. ABD' nin Kansas eyaletinde olan Barton Kimyasal fabrikasındaki VMP Naphta adlı kimyasalın statik elektrik kaynaklı tutuşması sonucu tanklardan birinin içinde oluşan buhar bulutu patlaması sonrası diğer ona yakın tankın peşi sıra patlayarak çok büyük bir etki alanına genişlemesi olayı mevcuttur. Yakındaki kasabanın acilen tahliye edilmesine başlanmış, 6.000 nüfuslu kasaba birkaç saatte boşaltılmıştır (CSB, 2010). Bu patlamadan sonra Amerikan Kimyasal Güvenlik Kurulu (CSB), yaptığı uzun incelemeler sonucu özellikle kazanın nedeni üzerinde durmuş, sunduğu önerilerde kazanın bir daha oluşmaması adına yaptırımlardan bahsetmiştir. Bu ve benzeri kazalar yeniden olursa ne gibi önlemler alınmalıdır, etki alanları nedir gibi sorulara cevap aramamışlar, etki alanları üzerinden tedbirleri ele almamışlardır. Ülkemizde de, patlamadan korunma hakkında mevcut yönetmelikler ve standartlar dâhilinde

gerekli önlemler alınmakla birlikte, tutuşturucu kaynaklar başta elektrikli ekipmanlar olmak üzere patlayıcı ortam oluşabilecek alanlarda bertaraf edilmektedir. Ancak, bütün alınan bu önlemlere rağmen diğer tanklardan veya borulardan gelebilecek termal etkinin tutuşturucu kaynak olarak yer alması kaçınılmazdır. Patlamadan korunma hesapları yapılırken olabilecek kötü kaza senaryoları sonrası birbirini tetikleyen olayların da tutuşturucu kaynak olabileceği ön görülmektedir. Bu nedenle QRA kapsamında yapılacak bu ve benzeri çalışmalarla etki alanlarının mesafeleri ele alınarak, üstelik bu gibi olayların benzerlerinin de tarihte yeri olması nedeniyle önlemlerin yeterliliğinin sorgulanması açısından önem teşkil etmektedir.

Oluşabilecek bir buhar patlaması 0,02 bar basınç ile tank çiftliğinin tümünü içine alacak şekilde etki edebilecek boyutta olup, komşu elektrik üretim tesisini direkt bir şekilde önemli ölçüde etkileyecektir. Doğu batı yönünde yaklaşık 1.300 metre çapında bir alan içinde, kuzey güney yönünde, güneye doğru etkili olmak kaydıyla, 1.600 metre içindeki komşu tesisleri de içine alacak ve yakın yerleşimde de tehdit oluşturacak bir etkisi görülmektedir. Bu etki öncelikle benzin tankındaki etki olup, bunu diğer tanklarında katılımı ile etki ve şiddet alanını genişletmektedir. Bu aşırı basınç etkisi bu alandaki bütün camları kırabilecek boyutta olup, yapılarda ufak hasarlara yol açabilecek boyuttadır. Camları kırabilecek ve zarar verebilecek aşırı basınç etkisinin sınır değeri 0,01 bardır (Casal, 2017). Bu nedenle 0,02 bar aşırı basınç çok olumsuz etkiler yapacak bir basınç etkisidir. Bu etki düşerek azalacak ancak daha uzak mesafeleri etkileyecektir.

Havuz yangınındaki  $4 \text{ kW/m}^2$  termal etkinin etkileme uzaklığı 1.100 metre çapında bir alan olarak elde edilmiştir. Üstelik güney yönünde domino etkisi ile 130 metre daha fazla etki mesafesini genişletmektedir. Güneyde diğer tehlikeli kimyasal depolayan tesisleri içine alacak bir mesafedir. Kuzeyden geçen yakındaki yola kadar etki alanı görülmektedir. Termal etki büyüklüğünün  $2 \text{ kW/m}^2$  ve/veya daha azındaki etkilenimlerinde daha uzak mesafeleri etki alanı içine alabileceği öngörüldüğünde yakın yerleşim yerleri de bu alanın içine girecektir. Özellikle yine komşu elektrik üretim tesisini de içine alacak ve diğer komşu tesisleri de etkisi altına alacak şekilde bir yayılım yapacağı elde ettiğimiz bulgulardan anlaşılmaktadır.

Kombine etkinin bulguları bize en kötü durum senaryosu olarak, domino etkisinin de katkısı ile yaklaşık 1300 x 1600 metrelik bir alan içindeki çevredeki komşu tesislerin

ve yakın yerleşim yerlerinin önemli ölçüde etkileneceğini ortaya koymuştur. Diğer komşu tesislerde de yüksek miktarlarda yanıcı hidrokarbon depolandığından bu depolanan tankların da domino etkisine girebileceği bulgulardan anlaşılmaktadır. Dolayısı ile domino etkisi halkalar halinde bir yandan şiddetini arttırarak diğer yandan etki alanını genişleterek yayılacaktır. Yayılmanın anlamı yerleşim yerlerini tehdit edecek boyutlardır. Bir yandan kriz yönetimi gerektiren panik diğer yandan yerleşim bölgelerini tehdit eden yayılma nedeni ile tahliye çalışmaları da çok daha zor olacaktır. Yerleşim yerlerini bu gibi şehir içindeki kısıtlı alanlardan kısa sürede boşaltmak çok mümkün görülmemektedir. Özellikle bölgede normal zamanlarda bile yoğun trafiğe sahip bir ana arterin bulunması sadece yakın çevreye değil, kent geneline yansıyacak lojistik sorunları doğuracaktır.

Bu yerleşim yerinde oldukça büyük bir nüfus yoğunluğunun olduğu, okullar, camiler, hastane ve hatta üniversitelerin bile olduğu düşünüldüğünde durumun kritikliği ile olayın ne derece ciddi boyutlara varabileceği ortaya çıkmaktadır. Bu bölgeye ulaşımın iki ana arterden sağlanması ve normal trafik akışında bile çok yoğun olan bu iki ana arterin olay anında müdahaleye imkân vermesi de ayrı bir sorun teşkil edecektir.

Bölgede bulunan limandan gemilerle sağlanan yakıt ve başka tesislerin ihtiyacı olan LPG ürünü, yakıt taşıyan gemileri liman ile birlikte tehlike bölgesinin çok yakınında bulunmaktadır. Tehlikeli petrol türevi akaryakıt taşıyan bu gemilerin de domino etkisine ek katkısı olabileceği düşünülmelidir.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Büyük miktarlarda akaryakıt depolanan tesisler “Büyük Endüstriyel kazaların Önlenmesi Hakkında Yönetmelik” kapsamında değerlendirildiğinde “üst seviyeli kuruluş” olarak tanımlanmaktadır. Üst seviyeli kuruluş tanımı tehlikenin büyüklüğünü ortaya koymakta olduğu gibi aynı zamanda bu seviyedeki kuruluşların azami önlemleri alarak kaza risklerini en alt seviyelere indirmelerini öngörür. Dünyada “Seveso Direktifleri” olarak bilinen ve üst seviyeli kuruluşlar” önceliğinde güvenlik yaptırımları sunan direktif özellikle “acil durumu afete dönüştüren” halleri önlemeyi hedefler. Tarihteki endüstriyel kazaların pek çoğundan da bilindiği üzere, tesisin tamamen kapanmasına giden sonuç yanı sıra bulunduğu yakın çevre, bölge, ülke, hatta global çapta olumsuz etkileri ile ekolojik dengeyi bozan sonuçlar ile karşılaşmıştır. Yaşanan afetler anlık değil, nesilleri etkileyen boyutlarda olmuştur. Sürdürülebilir iş-çevre ilişkisi içinde sağlık-güvenlik parametreleri sadece bir firma ölçeğinde değil ulusal-uluslararası çapta önem arz eder.

Sürdürülebilir sağlıklı çevreler bağlamında iş-işyeri-çalışan güvenliğini ile çevresel yaşam alanları güvenliğine de sorgulayan bu çalışma kapsamında da “üst seviyeli” bir kuruluş özellikle tercih edilmiştir. Acil durum hazırlık ve afete dönüşme olasılığı çerçevesinde HAZOP çalışması üzerinden Koruma Katmanları Analizi ( LOPA ) yapılarak elde edilen bulgular dahilindeki kritik noktalar tesbit edilmiş, bu noktalar üzerinden oluşabilecek kaza senaryoları Phast yazılımı üzerinden kantitatif analizler elde edilmiştir. Elde ettiğimiz bulgular, tartışma kısmında domino etkisi üzerine başlatıcı sebepler, tesislerin konumlandırılması ve yoğun nüfus varlığının değerlendirilmesi, en kötü durum üzerine konum bazlı kantitatif risk değerlendirmesi, yasal koruma gerekliliği, yangın ve patlama etkileri, meteorolojik verilere göre değerlendirme, sızıntı, tanktan taşma ve katastrofik yarıma etkileri ile birlikte domino etkisinin değerlendirilmesi başlıklarında tartışılmıştır. Çalışmanın en temel amacı, örnek seçilen üst seviyeli kuruluşta, “örnek senaryolar” çerçevesinde oluşacak “olumsuz sonuçların” boyutlarını görmek ve proaktif yaklaşımda en reel koruyucu önerileri geliştirmektir.

Örnek alanda da kanıtlandığı üzere, yüksek hacimlerde depolanan/kullanılan petro-kimya tesislerindeki tehlikeli kimyasalların dökülme/sızıntı hızı, oluşacak havuzdan buharlaşma hızı, buharlaşma miktarı, oluşan/açığa çıkan yanıcı gaz kimyasalın alt patlama limitine (Lower Explosion Level - LEL) ulaşma süresi,

yangın olasılığında, termal radyasyon etki durumu ile güvenli uzaklıklar, patlama olasılığında da patlama şiddeti uygun yöntemler ile yazılım aracılığı ile hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucu ile kaçış rotaları, tahliye planları, müdahale ekiplerinin yetki alanları ve sorumlulukları, müdahale şekil ve yöntemleri, müdahale mesafeleri vb. güvenlik sistemlerine ait yaklaşımlar, kurum içi ve itfaiye, AFAD gibi kurum dışı ekipler tarafından ortaya konulabilir.

Örnek tesiste yaşanacak olumsuz bir senaryonun kullanılan analiz teknikleri ile belirlenen kritikliklerin, Phast yazılımına uyarlanarak elde edilen etki alanı modellenmesi bize yaklaşık 1,5 kilometre uzaklıklara kadar “etki alanının” genişleyebileceğini göstermiştir. Sıfır kaza yaklaşımı ile öncelik riske dönüşecek tüm tehlikelerin ortadan kaldırılmasıdır, şüphesiz. Dolayısı ile “kötü senaryo” oluşmasını engelleyecek tüm tedbirlerin gözden geçirilmesi ve güvenlik denetiminin en üst düzeyde tutulmasının ilk ve öncelikli adım olduğu nettir. Bu çalışmaların bir parçası olan Acil Durum dosyalarının etkin ve canlı bir dokümantasyon olması ve örnek alanda elde edilen ve bu tezin sonuçları olarak ortaya konan verilerin işlenmesi kaçınılmazdır. Acil Durum çalışmaları için elde edilen sonuç ve öneriler şu başlıklarda özetlenebilir :

- Öncelikle, güvenlik bariyerlerinin etkinliği ve yeterliliği denetlenmeli, bunların yeterli hale getirilmesi için çalışılmalıdır.
- Ekstra güvenlik bariyerleri, risk azaltıcı ekipman ve enstürimanlar eklenmeli, olası yangın ve patlama etkilerini azaltacak ek önlemler ve bariyerler kurgulanmalı ve uygulanmalıdır.
- Kabul edilebilir risk seviyesi daha alt seviyelerde tutularak, önlemler gözden geçirilmelidir.
- Sistematik şekilde yapılacak güvenilirlik merkezli bakım çalışmaları ile sistemin her an hata yapmadan çalışabilirliğinin olasılığının artırılması, yani hata olasılıklarının daha da düşürülmesi sağlanmalıdır.
- Elde ettiğimiz sonuçlar bağlamında, bu tesisin ve benzeri başka tesislerin kritik başka tesislerle komşu olması riskin büyüklüğünü artırmaktadır. Öncelikle bu gibi komşu tesislerin acil durumlar için birbirleri ile koordineli çalışmaları ortak tatbikatlar yapmaları gerekmektedir.

- Bu gibi tesislerde ki tatbikat sıklıkları mevzuatta belirtildiği gibi yılda bir kez olmamalı, daha sık 3 veya 4 ayda bir yapılacak şekilde düzenlenmeli, dış paydaş olarak yerel itfaiye, AFAD ve komşu tesislerden de eşgüdümlü bir şekilde katılım sağlanarak acil durumlara hazırlıklar, yeterlilikler ve kısıtlar belirlenmeli, varsa eksikler tüm kuruluşlar için giderilmelidir.
- Komşu tesisler ile aralara yangın ve patlama ihtimali göz önüne alınarak patlamaya dayanıklı beton kalın duvarlar ile set çekilmeli ve olası patlama ve yangın etkisi ilgili tesisle sınırlandırılmalı, kısıtlandırılmalıdır.
- Yangın anında yangının radyasyon etkilerini baskılayabilecek yağmurlama ve benzeri söndürme sistemleri de ivedi şekilde devreye girebilmesi için komşu tesislerinde ortak sistem altında birleştirilmesi sağlanmalı ya da birinde meydana gelecek uyarı ve algılamada, diğerinin de devreye girebilmesini içeren hale dönüştürülmelidir. Tahliye işlemleri de komşu tesislerde çalışanların kazaya uğrayan mevcut tesise nispeten çokluğu sebebiyle derhal başlatılması sağlanmalı, bunun olabilmesi için de tahliye tatbikatlarında komşu tesis tahliyelerinin etkinliği incelenmelidir.
- Özellikle elektrik üretimi yapan komşu tesislerin olası bir kazada yedeklenebilmesi, şehrin ihtiyacı olan elektriğin sürekliliğinin sağlanabilmesi gözden geçirilmelidir. Üstelik devreden aniden kaza sonucu çıkan büyük bir santralin tüm sistemi çökertme olasılığı da ( geçmiş senelerde benzer bir olay ile tüm ülkeyi etkisi altına alan bir elektrik kesintisi olayı mevcuttur) yine enerji otoriteleri tarafından irdelenerek bu konudaki acil durum tedbirleri gözden geçirilmeli ve güçlendirilmelidir.
- Kritik diğer tesislerinde bulunduğu bölgede; çok yüksek miktarlarda LPG, benzin ve motorin depolaması yapıldığından, olası etkilerin domino etkisine dönüşmemesi veya domino etkisinin sınırlandırılması adına, elde ettiğimiz veriler ışığında yeterli yükseklikte ve kalın perde beton duvarlar ile diğer tesislerin etrafı korunaklı hale getirilmeli, taşma havuzlarının etkinliği sorgulanmalıdır.
- Herhangi bir yangın ve patlama anında bu olaya karşı, olayın olabileceği tesisin dışındaki tüm tesisler öncelikle kendi acil durum senaryolarını bu gibi olaylara karşı yenilemeli, adapte etmeli olay olduğunda da acilen alarma



geçerek soğutma ve baskılama sistemlerini hemen devreye almalıdır. Olayın etkisi belki dakikalar sonra diğer tesisten kendi tesisine gelecek olmasına ve o tesiste henüz bir etki görülmemesine rağmen; tesisin algılama sistemleri de henüz devreye girmeye bilecektir. Bu durumdan hareketle, komşu tesisteki tehlikenin büyüyerek kendisini de etkileyebileceği bilinci ve domino etkisini de göz önüne alması gerektiği ile algılamının gerekirse manuel olarak ta olsa devreye alınması, soğutma işleminin öncelikli olarak başlatılması çok büyük önem arz etmektedir. Yangının konveksiyon ve radyasyon etkisi göz önüne alınarak acil durum sistemleri devreye hemen alınmalıdır. Tahliye senaryoları çalışılmalıdır.

- Yerel itfaiye ve AFAD birimleri bu durumlar hakkında bilgilendirilmeli, bu kuruluşlar da kendi harici acil durum planlarını oluşturarak gözden geçirmelidir. Ana yolların açık tutulması, çevrede ki yerleşim yerlerinin tahliyesine organize şekilde başlanması, bölgedeki hastanelerin ve 112 ambulans birimlerinin bilgilendirilerek, diğer hastanelerin de teyakkuza geçirilmesi gerekmektedir. Bölge dışından takviye acil durum ve kurtarma ekiplerinin hazır vaziyette bulunması, hava ve deniz yollarının da kullanılarak bu ekiplerin bölgeye takviye için ulaşımının sağlanması, lojistik malzeme desteği gibi konularda acil durum hazırlıkları kapsamında geniş açıdan ele alınarak hazır bulunulması gereklidir.
- Olası etkilenmenin çok büyük olduğu ve bu etkilerin yayılımının kısa sürede yayılacağı öngörülerek hızlı müdahale ekiplerinin oluşturulması, hava desteği ile derhal müdahale edecek birimlerin kurulması, destek ekiplerinin hazırlığı ve olayın çapının ve risklerinin tasarlanarak olası olaya güvenli şekilde müdahalenin sağlanması için planlamalar ve çalışmalar yapılmalıdır.
- Olay anında bölge içinde yüksek miktarlarda tehlikeli madde barındıran kritik başka tesislerin varlığından haberdar olunarak olay müdahalesi önemli olduğundan; bu ekiplerin tamamı olay ve bölge hakkında iyi bir şekilde bilgilendirilmeli ve detaylı eğitime tabi tutulmalıdır. Koruma ekipleri olarak görev alacak olan bölgedeki Polis, Jandarma ve/veya ordu birlikleri de bilgilendirme toplantıları ile yapacakları önemli görevler konusunda eğitilmelidir. Unutulmamalıdır ki, olay sonrası yakın çevreden olayın uzakta olduğunu zannederek izleyen birçok kişi ikincil ve sonraki büyük

patlamalarla yaralanmış ve ölmüştür. Dolayısı ile kolluk kuvvetlerine de bu alanların kısıtlanması vatandaşların bölgeden uzaklaştırılması ve uzak tutulması gibi önemli bir görev yüklemektedir. Bundan ötürü olayın olası vahameti hakkında bu birimlerinde bilgilendirilmesi ve eğitilmesi gereklidir.

- Tesisin kentsel bağlamda değerlendirilmesi ve mevcut hali ile kalacak ise bu yerleşimin içinde kalan okullar, üniversiteler, hastaneler, camiler gibi yoğun nüfusa sahip toplu yaşam merkezleri kritik yapılar olarak belirlenmeli; buralarda kısa vade de acil durum planları tatbikatlar ve bina ile bahçe duvarlarının güçlendirilmesi, otomatik yangın söndürme ve baskılama sistemlerinin gerekirse devlet desteği ile kurulması, kurdurulması; bodrumlara güçlendirilmiş ve uzun süre yaşamın destekleneceği sığınak gibi yerlerin oluşturulması önerilmektedir. İmar planları gözden geçirilmeli, yapılaşma bu bölgelerde derhal durdurulmalı, nüfus yoğunluğunun artışına izin verilmemeli, kritik bu tesisler bölgeden taşınmadan yeni yapı ruhsatı verilmemelidir. Orta ve uzun vade de ise özellikle yapıların taşınma işlemi daha zor görünmekle birlikte, kritik öneme sahip okul, hastane, yerel yönetim merkezleri ve kriz merkezleri gibi yerlerin daha güvenli, etkilenimin olmayacağı veya daha az olacağı yerlere taşınmalıdır.
- Tesisin yer değiştirmesi oldukça zor ve imar planları açısından imkansız gözükse de kentsel dönüşüm süreçlerinde planlamanın bu bağlamda da ele alınması kaçınılmazdır. Bu gibi kritik büyük endüstriyel tesislerin çevresine zamanla yığılmış olan yapı stoğu ile bu tesisler birbirlerinden ayrılmalıdır. Bu gibi kritik tesisler şehir yerleşim alanlarından uzaklaştırılmalı, bu konuda devlet tarafından politikalar üretilmeli ve gerektiğinde devlet desteği sağlanmalıdır. Olası büyük bir endüstriyel kazada ülkenin ekonomik kaybının görünenden çok daha fazla olacağı bilinerek, yapılacak ödemelerin aslında bir geri kazanım olduğu idrak edilmelidir. Bu kapsamda yeni yapılacak bu gibi tesislerde ruhsatlama işlemleri, kamulaştırma işlemleri vb işlemlerden sonra, güvenlik analizleri ile elde edilecek veriler ışığında yapılaşmaya açılmalıdır. Keza örnek alanda halen mevcut olan lojmanların yeri de güvenli bölgeye konumlandırılmalıdır.
- Bir başka önlem ise, depolanan tehlikeli kimyasal madde miktarlarının azaltılmasıdır. Mevcut tanklar çok büyük depolama hacim ve miktarlarına

sahip olmakla birlikte, lojistikte yapılacak iyi planlamalarla gelecek ve gidecek sevkiyatlar dengelenerek, önemli ölçüde daha az miktarlarda depolama yapılabilmesi imkanı oluşturulmalıdır. Depolanan miktar yarı yarıya veya daha fazla oranda düşürülmelidir. Böylece riskte çok önemli oranda azalacaktır.

Bu aşamadan sonra yapılacaklar açısından bakıldığında, merkezi ve yerel yönetimlerin ders çıkarması gerekliliği açıktır.

Çoğu kez tarihte yaşanan kötü olaylar sonrası reaktif önlemler almak üzerine çaba gösterilir esasen ders çıkarılır ama önlem bağlamında zayıf yönler de kalır. Seveso kazasının yaşanması sonrasındaki Bophal kazası buna bir örnektir. Ülkemizin yaşadığı en önemli afetlerinden biri olan 1999 depremi sonrası gelebildiğimiz noktada da benzer zayıf yönler vardır diyebiliriz. Risk hesabı çalışmalarında, belirsizlik büyük bir engel teşkil etmektedir. Geçerliliği kabul gören, senaryolar üzerinde değerlendirmeler yapmak bunlara ilaveten güvenilirlik verileri ile de desteklemek yoluyla, bu belirsizlik aşılabılır. Belirsizlik üzerinden karar verme mekanizması işletmek, özel deneyim ve dikkat gerektirmekte dolayısı ile hata olasılığı da artırmaktadır. Yani geçerli ve gerçeğe yakın senaryolar, bu senaryoların en kötü durumlarını göz önüne koyabilecek modellemeler ve harita üzerinden gösterimler ile oluşturulacak raporlamalar ile karar verici mekanizmaların daha kolay ve hızlı harekete geçmeleri sağlanabilir. Belirsizlikte büyük ölçüde ortadan kaldırılmış olur. Kamu güvenliği ile iş yapabilme kabiliyetleri çatışmakla birlikte karar vericilerin her iki etkeni de ele alabilmeleri özellikle tasarım aşaması başta olmak üzere, kurulu tesislerin iyileştirmeleri dahil bir çok alanı daha güvenli çalışılabilir alanlar haline de getirecektir. Bu çalışmalar sonrasında hazırlanacak acil durum planları, ile can kaybı ve maddi hasarı minimum seviyeye düşürmeye çalışılmalıdır. Bakım planlamaları, ömür hesaplamaları ile birlikte sistemin ve ekipmanların güvenilirlik durumları da belirlenmelidir. Bu nedenle bu tarz büyük endüstriyel tesislerin tamamında modellemelerin yapılması teşvik edilmeli, modellenen senaryoların doğruluğu ve etkinliği denetlenmeli ve senaryoların içerdiği riskler üzerinden iyileştirmeler yapılmalıdır. Bu çalışmanın ülkemiz ve global anlamda yararlı olacağı düşünülmekte olup, mevcut bilgi birikimleri ile ülkemizde risk bilgisi içeren, belirsizliği azaltan standartlar oluşturulmalı, bu konuda da bu standartlara temel teşkil edecek daha çok çalışma yapılarak, daha fazla modeller

oluşturulmalı, benzer tesisler için de veriler elde edilmelidir. Bu ve benzer çalışmalar desteklenerek, bu çalışmalar ışığında politikalar oluşturulmalı, bu tarz tehlikeli depolama alanlarının kuruluş ve işletim kriterleri gözden geçirilerek, uygun önlemler ile yeniden belirlenmelidir.

Başta İstanbul olmak üzere benzer büyümeye sahip büyük kentlerin güvenliği için yerleşim yerlerinin endüstriyel tesislerden ayrı konumlandırılması adına Şehir ve bölge planlamacılarına, karar verici otoritelere, imardan sorumlu merkezi yönetimlere vb. temel oluşturacak bu çalışmalar kapsamındaki analizler çoğaltılmalı, acil durum planlarının kuruluşlar bazından başlayarak yerel ve merkezi yönetimler dahil, itfaiye ve AFAD'ın da içinde bulunacağı Şekilde geliştirilebileceği geniş senaryoların oluşturulabilmesi adına daha başka bir çok araştırmaya ve çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

## KAYNAKLAR

- 6331 Sayılı Kanun, 2012. İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu.
- Andrews J.D., Moss T.R., 1993. Reliability and risk assessment, 233, Harlow: Longman Scientific & Technical.
- Atex 95, 1994. Directive 94/9/EC, Equipment and Protective Systems intended for use in potentially explosive atmospheres, European Committee, Brussels.
- Atex 137, 1999. Directive 1999/92/EC, Minimum Requirements for Improving the Safety and Health Protection of Workers Potentially at Risk from Explosive Atmospheres, European Committee, Brussels.
- Bault M., 2000. Risk management of LPG transport activities in Hong Kong, Journal of Hazardous Materials, 71(1-3), 85-100.
- Baybutt P. 2015. A critique of the Hazard and Operability (HAZOP) study, Journal of Loss Prevention in the Process Industries (33), 52-58.
- Bernatík, A., Senovsky, P., Pitt, M., 2011. LNG as a potential alternative fuel-safety and security of storage facilities. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 24(1), 19-24.
- Book, P., 1999. Guidelines for quantitative risk assessment, Committee for the Prevention of Disasters, 237, The Netherlands.
- Breeze Software Co., 2017. Breeze Incident Analysis Software, Erişim Tarihi: 02.11.2017.  
<http://www.breeze-software.com/IncidentAnalyst/>
- Casal, J., 2017. Evaluation of the effects and consequences of major accidents in industrial plants, Elsevier, 363, Hungary.
- CCPS, 2001. Layer of Protection Analysis Simplified Process Risk Assessment, Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, 258, New York.
- CFS, 2016. Certified Functional Safety, Application Engineering – Process STUDY GUIDE. EXIDA, 265, USA
- Chang J.I., Cheng-Chung L., 2006. A study of storage tank accidents (Journal of Loss Prevention in the Process Industries, (19), 51-59.
- Checklist System for Safety Reports, 2015. DOKUMENTATIONEN 84/2015 Advisory Assistance Programme (AAP) of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety. UNECE Convention, 65, Germany.
- Chemical Safety Board US, 2005. Investigation Report, Refinery Explosion and Fire (15 Killed, 180 Injured). US Chemical Safety Board, USA.
- Chemical Safety Board US, 2008. Investigation Report, Barton Solvents Flammable Liquid Explosion and Fire; Static Spark Ignites Flammable Liquid during Portable Tank Filling Operation. US Chemical Safety Board, USA.
- Christopher A. L., 2008. Layer of protection analysis (LOPA) for determination of safety integrity level (SIL). Norwegian University of Science and Technology, 74, Norway.
- Concawe, 2011. Performance of European crosscountry oil pipelines; Statistical summary of reported spillages in 2009 and since 1971. CONCAWE Oil Pipelines Management Group's Special Task Force on oil pipeline spillages (OP/STF-1), 139, Denmark.
- Cozzani, V., Antonioni, G., Landucci, G., Tugnoli, A., Bonvicini, S., & Spadoni, G., 2014. Quantitative assessment of domino and NaTech scenarios in complex industrial areas. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, (28), 10-22.
- Cuthbert, B. A., 2013. Kuzey Marmara Otoyolu Çevresel Etki Değerlendirme Raporu, 3. Köprü dahil, 372, Ankara. Available from:

[https://www.3kopru.com/content/pdf/15112013140523cevresel\\_ve\\_sosyal\\_etki\\_degerlendir\\_mesi\\_raporu.pdf](https://www.3kopru.com/content/pdf/15112013140523cevresel_ve_sosyal_etki_degerlendir_mesi_raporu.pdf)

- Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik, Resmi Gazete Tarihi: 30.04.2013 Sayısı: 28633
- Di Domenico, J., Vaz Jr, C. A., De Souza Jr, M. B., 2014. Quantitative risk assessment integrated with process simulator for a new technology of methanol production plant using recycled CO<sub>2</sub>. *Journal of hazardous materials*, 274, 164-172.
- Dunjó, J., Fthenakis, V., Vílchez, J. A., Arnaldos, J. 2010. Hazard and operability (HAZOP) analysis. "A literature review". *Journal of Hazardous Materials*, 173, 19-32.
- EGIG, 2015. 9th Report of the European Gas Pipeline Incident Data Group (period 1970 – 2013), 61, Netherlands
- EN 13237, 2003. Potentially explosive atmospheres — Terms and definitions for equipment and protective systems intended for use in potentially explosive atmospheres, European Committee For Standardization, Brüksel.
- EN 13821, 2002. Potentially explosive atmospheres - Explosion prevention and protection - Determination of Minimum Ignition Energy of dust/air mixture, European Committee For Standardization, Brüksel.
- IEC 61882, 2016. "Tehlike ve İşletilebilirlik Çalışması (HAZOP)-uygulama rehberi, Geneva.
- Fortun, K. 2009. *Advocacy after Bhopal: Environmentalism, disaster, new global orders*. University of Chicago Press, 488, USA.
- Gilbert, Y., Aho, J., Ahonen, L., Wood, M., Lähde, A. M., 2012. The role of safety reports in preventing accidents. *Seveso inspection series*, 4, 138, Italy.
- Goble W.H., 2010. *Control Systems Safety Evaluation and Reliability*, ISA, 458, USA
- Gye, H. R., Seo, S. K., Bach, Q. V., Ha, D., Lee, C. J., 2019. Quantitative risk assessment of an urban hydrogen refueling station. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(2), 1288-1298.
- Han, Z. Y., Weng, W. G., 2011. Comparison study on qualitative and quantitative risk assessment methods for urban natural gas pipeline network. *Journal of hazardous materials*, 189(1-2), 509-518.
- Isimite, J., Rubini, P., 2016. A dynamic HAZOP case study using the Texas City refinery explosion. *Journal of loss prevention in the process industries*, 40, 496-501.
- IEC 61511, 2001. functional safety instrumented systems for the process industry sector, parts 1-3. International Electrotechnical Commission, Geneva.
- ISO 20815, 2010. Petroleum, petrochemical and natural gas industries. Production assurance and reliability management, International Standarts Organisation, Switzerland.
- Wang, K., Liu, Z., Qian, X., Huang, P., 2017. Long-term consequence and vulnerability assessment of thermal radiation hazard from LNG explosive fireball in open space based on full-scale experiment and PHAST. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 46(13-22), 14-15.
- Kletz, T. A., 2000. *By Accident: A Life Preventing Them in Industry*. IChemE., Taylor&Francis, 143, London.
- Kletz, T. A., 2001. *HAZOP and HAZAN: identifying and assessing process industry hazards*. IChemE., Taylor & Francis, 225, London.
- Knegtering, B., Pasma, H., 2013. The safety barometer: How safe is my plant today? Is instantaneously measuring safety level utopia or realizable?. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 26(4), 821-829.

- Kotek, L., Tabas, M., 2012. HAZOP study with qualitative risk analysis for prioritization of corrective and preventive actions. *Procedia Engineering*, 42, 808-815.
- Mahgerefteh H, Atti O., 2006. An Analysis of the Gas Pipeline Explosion at Ghislenghien, Belgium. Conference paper. AIChE 2006 Spring, National Meeting Orlando, FL.
- Mohammadfam, I., Zarei, E., 2015. Safety risk modeling and major accidents analysis of hydrogen and natural gas releases: A comprehensive risk analysis framework. *International journal of hydrogen energy*, 40(39), 13653-13663.
- Necci, A., Argenti, F., Landucci, G., Cozzani, V., 2014. Accident scenarios triggered by lightning strike on atmospheric storage tanks. *Reliability Engineering & System Safety*, 127, 30-46.
- Nilsen T. Aven T., 2003. Models and model uncertainty in the context of risk analysis, *Reliability Engineering and System Safety*, 79, 309–317
- Nivolianitou, Z. S., 1998. Hazard review of a pesticides formulation plant and consequence assessment of accident scenarios in it, *Journal of Loss Prevention in the process industries*, 11(2), 123-134.
- NTSB, 2010. Preliminary Report. (San Bruno), National Transportation Safety Board (NTSB), USA. Docket DCA10MP008, Rapor No:190, Filed Oct 13, 2010.
- NYT, 1989. 500 on 2 Trains Reported Killed By Soviet Gas Pipeline Explosion, *New York Times*. Published: June 05, 1989.
- NTSB, 1996. Pipeline special investigation report. Evaluation of pipeline failures during flooding and of spill response actions, San Jacinto River near Houston, Texas, October 1994. National Transportation Safety Board (NTSB), USA. Adopted: September 6, 1996. Notation 6734.
- NTSB, 2003, Pipeline Accident Report. Natural Gas Pipeline Rupture and Fire Near Carlsbad, New Mexico). August 19, 2000. National Transportation Safety Board (NTSB), USA. NTSB/PAR-03/01 PB2003-916501. Notation 7310B. Adopted February 11, 2003
- Özkılıç Ö., 2014. Risk Değerlendirmesi, Atex Direktifleri – Patlayıcı Ortamlar, Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesive Etkilerinin Azaltılması – Kantitatif Risk değerlendirmesi, TISK, 422, Ankara.
- Özkılıç Ö., 2017. Seveso Direktifi Çerçevesinde Kantitatif Risk Değerlendirmesi (QRA) Çalışmalarında LOPA Analizi, FTA ve ETA Analizleri Uygulama Problemleri” 4. Atex Sempozyumu, 7-8 Aralık, Zonguldak, 215-222.
- Parvini, M., Kordrostami, A., 2014. Consequence modeling of explosion at Azad-Shahr CNG refueling station. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 30, 47-54.
- Pandya, N., Gabas, N., Marsden, E., 2012. Sensitivity analysis of Phast’s atmospheric dispersion model for three toxic materials (nitric oxide, ammonia, chlorine), *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 25, 20 -32.
- Parkhurst, D. L., Kipp, K.L., Engesgaard, P., Charlton, S.C., 2005. Phast - A program for simulating ground-water flow, solute transport, and multicomponent geochemical reactions, , Goldschmidt Conference Abstracts, Reactive-Transport, 156-157.
- Pasman, H. Reniers, G. 2014, Past, Present and Future of Quantitative Risk Assessment(QRA) and The Incentive It Obtained From Land-Use Planning (LUP), *Journal of Loss Prevention in The Process Industries*, 28, 2-9.
- Pasman, H. J., 2011. Challenges to improve confidence level of risk assessment of hydrogen Technologies, *International journal of hydrogen energy*, 36(3), 2407-2413.
- Pasman, H. J., Jung, S., Prem, K., Rogers, W. J., Yang, X., 2009. Is risk analysis a useful tool for improving process safety?, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 22(6), 769-777.

- Pérez-Marín, M., Rodríguez-Toral, M. A., 2013. HAZOP–Local approach in the Mexican oil & gas industry, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 26(5), 936-940.
- Reniers, G. L., Dullaert, W., 2007. DomPrevPlanning©: user-friendly software for planning domino effects prevention. *Safety Science*, 45(10), 1060-1081.
- Rossing, N. L., Lind, M., Jensen, N., Jørgensen, S. B., 2010. A functional HAZOP methodology, *Computers & chemical engineering*, 34(2), 244-253.
- S2S, 2018. The European Web Portal for Process Safety, LOPA. Erişim Tarihi:15.12.2018. [http://www.safety-s2s.eu/modules.php?name=s2s\\_wp4&idpart=2&op=v&idp=750](http://www.safety-s2s.eu/modules.php?name=s2s_wp4&idpart=2&op=v&idp=750)
- Sarı K., 2011, Exproof, Patlayıcı Ortamlarda Kullanılan Elektrik Aygıtları ve Patlayıcı Ortamlar Hakkında Genel Bilgi, TMMOB, Elektrik Mühendisleri Odası, 315, Ankara.
- Sönmez Y. M., Dilaver M., Kaya Ç., 2017. Endüstriyel Tesislerde Patlayıcı Ortamların Kontrolü ve Kriz Yönetimi, TÜYAK Sempozyum Bildiriler Kitabı Yangında Can Güvenliği ve Risk Yönetimi, , 9-10 Kasım, İstanbul, 130-146.
- Steinhäusler, F., 2017. Computer modelling in large-scale incidents, *Crisis Response Journal*, 12(4) 80-82.
- Swann, C. D., Preston, M. L., 1995. Twenty-five years of HAZOP, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 8(6), 349–353.
- TRB, 2004. Transmission Pipelines and Land Use. A Risk-Informed Approach, Transportation Research Board (USA), Special report s.281.
- TS EN 60079, 2015. Patlayıcı ortamlar- Bölüm 10-1: Alanların sınıflandırılması - Patlayıcı gaz ortamları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Zhiyong, L. I., Xiangmin, P. A. N., Jianxin, M. A., 2011. Quantitative risk assessment on 2010 Expo hydrogen station. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36(6), 4079-4086.



## **EKLER**

**EK 1. İnsan Güvenilirlik Analizi**

**EK 2. Phast Yazılım Çıktıları**



## EK 1. İnsan Güvenilirlik Analizi

AKARYAKIT DEPOLAMA TESİSİ		DOKUMAN NO: IG 01	
		REVİZYON TARİHİ: 11.07.2018	
		REVİZYON NO : 0	
		SIRA NO: 1	
<p><b>Açıklama:</b> Tank dolumu tesis yetkili amirlerinin talebine göre oluşturulmaktadır. Talep boş olan tank hacmine göre yapılmaktadır. Yetkili amirin dolum operatörüne hatalı talimat vermesine bağlı olarak operatörün hata yapması değerlendirilmiştir.</p>			
Faaliyet	Tankerden Tank'a Benzin Transferi Sırasında Operatörün Hatası		
<b>Aktivite Tipi</b>		<b>K<sub>1</sub></b>	Dikkat gerektiren,rutin
Basit,rutin		0,001	0,01
Dikkat gerektiren,rutin		0,01	
Rutin olmayan		0,1	
<b>Rutin Aktivitiler için geçici stres faktörü</b>			<b>Sn</b>
Operatörün Görevi tamamlamak için gerekli zaman	(Sn)	<b>K<sub>2</sub></b>	20
	2	10	0,5
	10	1	
	20	0,5	
	0	0	
<b>Rutin Olmayan Aktiviteler için geçici stres faktörü</b>			<b>Sn</b>
Operatörün Görevi tamamlamak için gerekli zaman	(Sn)	<b>K<sub>2</sub></b>	45
	3	10	0,3
	30	1	
	45	0,3	
	60	0,1	
0	0		
Operatörün tecrübesi /Yetkinliği		<b>K<sub>3</sub></b>	1
İyi eğitilmiş, uzman, seçilmiş		0,5	İyi eğitilmiş, uzman, seçilmiş
Ortalama eğitim ve bilgi		1	0,5
Az bilgili, az eğitilmiş		3	
Olayın ciddiyet durumu		<b>K<sub>4</sub></b>	
Ciddi Acil Durum		3	Ciddi Acil Durum
Potansiyel Acil Durum		2	3
Normal Durum		1	
<b>Raporu Hazırlayan</b>		<b>K<sub>5</sub></b>	İyi mikroklima,tesisle iyi bir arayüz
Mükemmel mikroklima,tesisle mükemmel bir arayüz		0,7	1
İyi mikroklima,tesisle iyi bir arayüz		1	
Kesintili mikroklima,tesisle kesintili bağlantı		3	K <sub>1</sub> xK <sub>2</sub> xK <sub>3</sub> xK <sub>4</sub> xK <sub>5</sub> = İnsan Hata Olasılığı
Kesintili mikroklima,tesisle zayıf bağlantı		7	Faaliyet için İnsan Hata Olasılığı
En kötü mikroklima,tesisle zayıf bağlantı		10	0,0075
<p>Not: İnsan Güvenilirlik Analizi yapılmış olup 0.0075 değeri elde edilmiştir. Bu değer 0,1 değerinin altında bir sonuç olduğundan "Büyük Endüstriyel Kazalarla İlgili Hazırlanacak Güvenlik Raporu Tebliği" Madde 3.2 dikkate alınarak minimum 0,1 değeri dikkate alınacaktır.</p>			

## EK 2. Phast Yazılım Çıktıları

### Consequence Summary Report

Workspace: Akaryakıt Depolama Tesisi.Rev2 Toksik

Study: Storage Facility

#### Summary Basis

These tables will only report global values set in the parameters. Values that are modified in the study tree will not be reported. The report is context sensitive, and filters up to the study level. You will need to generate multiple summary reports if you have multiple studies in your workspace.

### Dispersion Results

#### Input dispersion parameters

Height for calculation of flammable effects	0	m
Toxics: height for calculation of effects	0	m
Core averaging time	18,75	s
Flammable averaging time	18,75	s

#### Distance downwind to defined concentrations

The reported concentration of interest is defined at the scenario

Path	Scenario	Weather	Distance to UFL [m]	Distance to LFL [m]	Distance to LFL fraction [m]
Akaryakıt Depolama Tesisi.Rev2 Toksik\Storage Facility\Gasoline Storage Tank	Leak	Category 1.5/F	1,09536	2,32049	2,50996
		Category 1.5/D	1,06168	2,29661	2,43035
		Category 5/D	0,768214	1,47342	1,81435
	Catastrophic rupture	Category 1.5/F	28,8045	79,2745	111,738
		Category 1.5/D	27,9959	72,995	104,262
		Category 5/D	37,4382	78,3428	120,619
	Havuz Taşması 1 Saat	Category 1.5/F	0	0	0

		Category 1.5/D	0	0	0
		Category 5/D	0	0	0
Akaryakit Depolama Tesisi.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 1	Catastrophic rupture	Category 1.5/F	27,2175	112,15	261,613
		Category 1.5/D	27,1297	27,4289	52,3509
		Category 5/D	28,563	28,8625	28,9335
Akaryakit Depolama Tesisi.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 2		Category 1.5/F	27,2175	112,15	261,613
		Category 1.5/D	27,1297	27,4289	52,3509
		Category 5/D	28,563	28,8625	28,9335
Akaryakit Depolama Tesisi.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 3		Category 1.5/F	35,4544	100,318	268,473
		Category 1.5/D	35,2669	35,6571	52,7908
		Category 5/D	37,1706	37,5611	37,9456
Akaryakit Depolama Tesisi.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 4		Category 1.5/F	35,4544	100,318	268,473
		Category 1.5/D	35,2669	35,6571	52,7908
		Category 5/D	37,1706	37,5611	37,9456
Akaryakit Depolama Tesisi.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel		Category 1.5/F	27,2175	112,15	261,613

Storage Tank 5					
		Category 1.5/D	27,1297	27,4289	52,3509
		Category 5/D	28,563	28,8625	28,9335
Akaryakit Depolama Tesisi.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 6		Category 1.5/F	27,2175	112,15	261,613
		Category 1.5/D	27,1297	27,4289	52,3509
		Category 5/D	28,563	28,8625	28,9335
Akaryakit Depolama Tesisi.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 7		Category 1.5/F	27,2175	112,15	261,613
		Category 1.5/D	27,1297	27,4289	52,3509
		Category 5/D	28,563	28,8625	28,9335
Akaryakit Depolama Tesisi.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 8		Category 1.5/F	27,2175	112,15	261,613
		Category 1.5/D	27,1297	27,4289	52,3509
		Category 5/D	28,563	28,8625	28,9335
Akaryakit Depolama Tesisi.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 9		Category 1.5/F	45,7573	89,0429	278,14
		Category 1.5/D	45,4402	45,9442	62,2829
		Category 5/D	47,8624	48,3666	50,4472

The reported distances are defined at study level

## Jet Fire Results

### Distance downwind to defined radiation levels

The reported radiations are defined in the parameters

Path	Scenario	Weather	Flame length [m]	Distance downwind to intensity level 1 (4 kW/m <sup>2</sup> ) [m]	Distance downwind to intensity level 2 (12,5 kW/m <sup>2</sup> ) [m]	Distance downwind to intensity level 3 (37,5 kW/m <sup>2</sup> ) [m]
Akaryakit Depolama Tesisi.Rev2 Toksik\Storage Facility\Gasoline Storage Tank	Leak	Category 1.5/F	2,4947	3,56072	2,28097	n/a
		Category 1.5/D	2,50402	3,57829	2,28822	n/a
		Category 5/D	1,85028	3,09083	1,76494	n/a



## Early Pool Fire Results

### Distance downwind to defined radiation levels

The reported radiations are defined in the parameters

Path	Scenario	Weather	Pool diameter [m]	Distance downwind to intensity level 1 (4 kW/m <sup>2</sup> ) [m]	Distance downwind to intensity level 2 (12,5 kW/m <sup>2</sup> ) [m]	Distance downwind to intensity level 3 (37,5 kW/m <sup>2</sup> ) [m]
Akaryakıt Depolama Tesisi.Rev2 Toksik\Storage Facility\Gasoline Storage Tank	Leak	Category 1.5/F	0,777625	6,07165	4,47687	3,7176
		Category 1.5/D	0,777261	6,1001	4,50613	3,74794
		Category 5/D	0,77551	6,48288	5,22731	3,82867
Akaryakıt Depolama Tesisi.Rev2 Toksik\Storage Facility\Gasoline Storage Tank	Havuz Taşması 1 Saat	Category 1.5/F	1,68627	8,46363	5,11322	1,84314
		Category 1.5/D	1,68627	8,46363	5,11322	1,84314
		Category 5/D	1,68627	9,03514	6,13213	2,16526

## Late Pool Fire Results

### Distance downwind to defined radiation levels

The reported radiations are defined in the parameters

Path	Scenario	Weather	Pool diameter [m]	Distance downwind to intensity level 1 (4 kW/m <sup>2</sup> ) [m]	Distance downwind to intensity level 2 (12,5 kW/m <sup>2</sup> ) [m]	Distance downwind to intensity level 3 (37,5 kW/m <sup>2</sup> ) [m]
Akaryakıt Depolama Tesisi.Rev2 Toksik\Storage Facility\Gasoline Storage Tank	Leak	Category 1.5/F	5,34298	27,2908	17,579	9,33019
		Category 1.5/D	5,20377	26,7233	17,2432	9,13979
		Category 5/D	4,8918	26,3802	18,2989	10,9795
	Catastrophic rupture	Category 1.5/F	123,608	439,425	270,742	164,607
		Category 1.5/D	123,608	439,425	270,742	164,607
		Category 5/D	123,608	444,048	283,225	187,431
	Havuz Taşması 1 Saat	Category 1.5/F	11,634	51,0095	31,1801	16,5331
		Category 1.5/D	11,3521	49,8736	30,4856	16,1185
		Category 5/D	10,7483	48,6975	31,9291	20,7242
Akaryakıt Depolama Tesisi.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 1	Catastrophic rupture	Category 1.5/F	123,608	135,937	62,8039	n/a
		Category 1.5/D	123,608	135,937	62,8039	n/a



		Category 5/D	123,608	164,62	65,5384	n/a
Akaryakit Depolama Tesisi.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 2		Category 1.5/F	123,608	135,937	62,8039	n/a
		Category 1.5/D	123,608	135,937	62,8039	n/a
		Category 5/D	123,608	164,62	65,5384	n/a
Akaryakit Depolama Tesisi.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 3		Category 1.5/F	123,608	135,937	62,8039	n/a
		Category 1.5/D	123,608	135,937	62,8039	n/a
		Category 5/D	123,608	164,62	65,5384	n/a
Akaryakit Depolama Tesisi.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 4		Category 1.5/F	123,608	135,937	62,8039	n/a
		Category 1.5/D	123,608	135,937	62,8039	n/a
		Category 5/D	123,608	164,62	65,5384	n/a
Akaryakit Depolama Tesisi.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 5		Category 1.5/F	123,608	135,937	62,8039	n/a
		Category 1.5/D	123,608	135,937	62,8039	n/a
		Category 5/D	123,608	164,62	65,5384	n/a

Akaryakit  
Depolama  
Tesis.Rev2  
Toksik\Storage  
Facility\Dizel  
Storage Tank 6

		Category 1.5/D	123,608	135,937	62,8039	n/a
--	--	-------------------	---------	---------	---------	-----

		Category 5/D	123,608	164,62	65,5384	n/a
--	--	-----------------	---------	--------	---------	-----

Akaryakit Depolama Tesis.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 7		Category 1.5/F	123,608	135,937	62,8039	n/a
---	--	-------------------	---------	---------	---------	-----

		Category 1.5/D	123,608	135,937	62,8039	n/a
--	--	-------------------	---------	---------	---------	-----

		Category 5/D	123,608	164,62	65,5384	n/a
--	--	-----------------	---------	--------	---------	-----

Akaryakit Depolama Tesis.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 8		Category 1.5/F	123,608	135,937	62,8039	n/a
---	--	-------------------	---------	---------	---------	-----

		Category 1.5/D	123,608	135,937	62,8039	n/a
--	--	-------------------	---------	---------	---------	-----

		Category 5/D	123,608	164,62	65,5384	n/a
--	--	-----------------	---------	--------	---------	-----

Akaryakit Depolama Tesis.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 9		Category 1.5/F	123,608	135,937	62,8039	n/a
---	--	-------------------	---------	---------	---------	-----

		Category 1.5/D	123,608	135,937	62,8039	n/a
--	--	-------------------	---------	---------	---------	-----

		Category 5/D	123,608	164,62	65,5384	n/a
--	--	-----------------	---------	--------	---------	-----

## Flash Fire Results

### Distance downwind to defined concentrations

The reported LFL and LFL fraction are defined in the respective material property

Path	Scenario	Weather	Distance downwind to LFL [m]	Distance downwind to LFL Fraction [m]
Akaryakıt Depolama Tesisi.Rev2 Toksik\Storage Facility\Gasoline Storage Tank	Leak	Category 1.5/F	2,32049	2,50996
		Category 1.5/D	2,29661	2,43035
		Category 5/D	1,47342	1,81435
	Catastrophic rupture	Category 1.5/F	79,2745	111,738
		Category 1.5/D	72,995	104,262
		Category 5/D	78,3428	120,619
Akaryakıt Depolama Tesisi.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 1	Havuz Taşması 1 Saat	Category 1.5/F	0	0
		Category 1.5/D	0	0
		Category 5/D	0	0
	Catastrophic rupture	Category 1.5/F	112,15	261,613
Category 1.5/D		27,4289	52,3509	
Category 5/D		28,8625	28,9335	
Akaryakıt Depolama Tesisi.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 2		Category 1.5/F	112,15	261,613
		Category 1.5/D	27,4289	52,3509
		Category 5/D	28,8625	28,9335

Akaryakit Depolama Tesis.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 3		Category 1.5/F	100,318	268,473
		Category 1.5/D	35,6571	52,7908
		Category 5/D	37,5611	37,9456
Akaryakit Depolama Tesis.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 4		Category 1.5/F	100,318	268,473
		Category 1.5/D	35,6571	52,7908
		Category 5/D	37,5611	37,9456
Akaryakit Depolama Tesis.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 5		Category 1.5/F	112,15	261,613
		Category 1.5/D	27,4289	52,3509
		Category 5/D	28,8625	28,9335
Akaryakit Depolama Tesis.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 6		Category 1.5/F	112,15	261,613
		Category 1.5/D	27,4289	52,3509
		Category 5/D	28,8625	28,9335
Akaryakit Depolama Tesis.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 7		Category 1.5/F	112,15	261,613
		Category 1.5/D	27,4289	52,3509
		Category 5/D	28,8625	28,9335
Akaryakit Depolama Tesis.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel		Category 1.5/F	112,15	261,613

Storage Tank 8

		Category 1.5/D	27,4289	52,3509
		Category 5/D	28,8625	28,9335
Akaryakit Depolama Tesisi.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 9		Category 1.5/F	89,0429	278,14
		Category 1.5/D	45,9442	62,2829
		Category 5/D	48,3666	50,4472



## Early Explosion Results

### Distance downwind to defined overpressures

The reported overpressures are defined in the explosion parameters

Path	Scenario	Weather	Distance downwind to overpressure 1 (0,02068 bar) [m]	Distance downwind to overpressure 2 (0,1379 bar) [m]	Distance downwind to overpressure 3 (0,2068 bar) [m]
Akaryakit Depolama Tesisi.Rev2 Toksik\Storage Facility\Gasoline Storage Tank	Catastrophic rupture	Category 1.5/F	No hazard	No hazard	No hazard
		Category 1.5/D	No hazard	No hazard	No hazard
		Category 5/D	No hazard	No hazard	No hazard
Akaryakit Depolama Tesisi.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 1	Catastrophic rupture	Category 1.5/F	No hazard	No hazard	No hazard
		Category 1.5/D	No hazard	No hazard	No hazard
		Category 5/D	No hazard	No hazard	No hazard
Akaryakit Depolama Tesisi.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 2		Category 1.5/F	No hazard	No hazard	No hazard
		Category 1.5/D	No hazard	No hazard	No hazard
		Category 5/D	No hazard	No hazard	No hazard
Akaryakit Depolama Tesisi.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 3		Category 1.5/F	No hazard	No hazard	No hazard

		Category 1.5/D	No hazard	No hazard	No hazard
		Category 5/D	No hazard	No hazard	No hazard
Akaryakit Depolama Tesis. Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 4		Category 1.5/F	No hazard	No hazard	No hazard
		Category 1.5/D	No hazard	No hazard	No hazard
		Category 5/D	No hazard	No hazard	No hazard
Akaryakit Depolama Tesis. Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 5		Category 1.5/F	No hazard	No hazard	No hazard
		Category 1.5/D	No hazard	No hazard	No hazard
		Category 5/D	No hazard	No hazard	No hazard
Akaryakit Depolama Tesis. Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 6		Category 1.5/F	No hazard	No hazard	No hazard
		Category 1.5/D	No hazard	No hazard	No hazard
		Category 5/D	No hazard	No hazard	No hazard
Akaryakit Depolama Tesis. Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 7		Category 1.5/F	No hazard	No hazard	No hazard
		Category 1.5/D	No hazard	No hazard	No hazard
		Category 5/D	No hazard	No hazard	No hazard
Akaryakit Depolama Tesis. Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel		Category 1.5/F	No hazard	No hazard	No hazard

Storage Tank 8

		Category 1.5/D	No hazard	No hazard	No hazard
		Category 5/D	No hazard	No hazard	No hazard
Akaryakit Depolama Tesisı.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 9		Category 1.5/F	No hazard	No hazard	No hazard
		Category 1.5/D	No hazard	No hazard	No hazard
		Category 5/D	No hazard	No hazard	No hazard





## Late Explosion Results

### Distance downwind to defined overpressures

The reported overpressures are defined in the explosion parameters

Path	Scenario	Weather	Distance downwind to overpressure 1 (0,02068 bar) [m]	Distance downwind to overpressure 2 (0,1379 bar) [m]	Distance downwind to overpressure 3 (0,2068 bar) [m]
Akaryakit Depolama Tesisi.Rev2 Toksik\Storage Facility\Gasoline Storage Tank	Catastrophic rupture	Category 1.5/F	605,175	191,121	168,319
		Category 1.5/D	602,602	179,313	156,964
		Category 5/D	599	168,989	147,986
Akaryakit Depolama Tesisi.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 1	Catastrophic rupture	Category 1.5/F	254,653	143,817	140,359
		Category 1.5/D	208,336	64,6608	55,9873
		Category 5/D	102,926	36,1173	32,0841
Akaryakit Depolama Tesisi.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 2		Category 1.5/F	254,653	143,817	140,359
		Category 1.5/D	208,336	64,6608	55,9873
		Category 5/D	102,926	36,1173	32,0841
Akaryakit Depolama Tesisi.Rev2		Category 1.5/F	310,109	144,348	140,758

Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 3					
		Category 1.5/D	290,268	88,6413	76,4694
		Category 5/D	157,633	54,8064	48,5989
Akaryakit Depolama Tesisi.Rev2		Category 1.5/F	310,109	144,348	140,758
Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 4					
		Category 1.5/D	290,268	88,6413	76,4694
		Category 5/D	157,633	54,8064	48,5989
Akaryakit Depolama Tesisi.Rev2		Category 1.5/F	254,653	143,817	140,359
Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 5					
		Category 1.5/D	208,336	64,6608	55,9873
		Category 5/D	102,926	36,1173	32,0841
Akaryakit Depolama Tesisi.Rev2		Category 1.5/F	254,653	143,817	140,359
Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 6					
		Category 1.5/D	208,336	64,6608	55,9873
		Category 5/D	102,926	36,1173	32,0841
Akaryakit Depolama Tesisi.Rev2		Category 1.5/F	254,653	143,817	140,359
Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 7					
		Category 1.5/D	208,336	64,6608	55,9873

		Category 5/D	102,926	36,1173	32,0841
Akaryakit Depolama Tesisi.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 8		Category 1.5/F	254,653	143,817	140,359
		Category 1.5/D	208,336	64,6608	55,9873
		Category 5/D	102,926	36,1173	32,0841
Akaryakit Depolama Tesisi.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 9		Category 1.5/F	391,752	142,905	142,178
		Category 1.5/D	348,72	108,058	93,5299
		Category 5/D	303,666	99,3018	86,9646

### Maximum overpressure diameter for the defined overpressures

The reported overpressures are defined in the explosion parameters

Path	Scenario	Weather	Max. diameter at overpressure 1 (0,02068 bar) [m]	Max. diameter at overpressure 2 (0,1379 bar) [m]	Max. diameter at overpressure 3 (0,2068 bar) [m]
Akaryakit	Catastrophic	Category	1110,35	182,242	136,638

Depolama Tesis.Rev2 Toksik\Storage Facility\Gasoline Storage Tank	rupture	1.5/F			
		Category 1.5/D	1125,2	178,627	133,927
		Category 5/D	1098	177,978	115,972
Akaryakit Depolama Tesis.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 1	Catastrophic rupture	Category 1.5/F	349,307	27,6336	20,7186
		Category 1.5/D	356,671	69,3215	51,9746
		Category 5/D	165,853	32,2346	24,1683
Akaryakit Depolama Tesis.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 2		Category 1.5/F	349,307	27,6336	20,7186
		Category 1.5/D	356,671	69,3215	51,9746
		Category 5/D	165,853	32,2346	24,1683
Akaryakit Depolama Tesis.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 3		Category 1.5/F	520,218	28,6962	21,5153
		Category 1.5/D	500,536	97,2826	72,9388
		Category 5/D	255,267	49,6128	37,1978
Akaryakit Depolama Tesis.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 4		Category 1.5/F	520,218	28,6962	21,5153
		Category 1.5/D	500,536	97,2826	72,9388
		Category 5/D	255,267	49,6128	37,1978

Akaryakit Depolama Tesis.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 5		Category 1.5/F	349,307	27,6336	20,7186
		Category 1.5/D	356,671	69,3215	51,9746
		Category 5/D	165,853	32,2346	24,1683
Akaryakit Depolama Tesis.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 6		Category 1.5/F	349,307	27,6336	20,7186
		Category 1.5/D	356,671	69,3215	51,9746
		Category 5/D	165,853	32,2346	24,1683
Akaryakit Depolama Tesis.Rev2 Facility\Dizel Storage Tank 7		Category 1.5/F	349,307	27,6336	20,7186
		Category 1.5/D	356,671	69,3215	51,9746
		Category 5/D	165,853	32,2346	24,1683
Akaryakit Depolama Tesis.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 8		Category 1.5/F	349,307	27,6336	20,7186
		Category 1.5/D	356,671	69,3215	51,9746
		Category 5/D	165,853	32,2346	24,1683
Akaryakit Depolama Tesis.Rev2 Toksik\Storage Facility\Dizel Storage Tank 9		Category 1.5/F	663,504	5,81003	4,35614
		Category 1.5/D	597,44	116,117	87,0598
		Category 5/D	507,333	98,6036	73,9292

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Nuri BİNGÖL  
Doğum Yeri ve Yılı : Ankara, 28/09/1969  
Medeni Hali : Evli  
Yabancı Dil : İngilizce  
E-posta) : ares\_nuri@hotmail.com



### Eğitim Durumu

Lise : Haydarpaşa Teknik Lisesi, 1986  
Lisans : Yıldız Teknik Üniversitesi-Bilgisayar Mühendisliği, 1994  
Yüksek Lisans: Üsküdar Üniversitesi,  
Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı  
Doktora : İstanbul Ticaret Üniversitesi,  
Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı

### Mesleki Deneyim

Menemencioğlu A.Ş.	1989-1990
NE-AD Elektrik Ltd. Şti.	1991-1992
4K Bilgi İşlem Ltd. Şti.	1992-1993
Vega Bilgi İşlem Ltd. Şti,	1993-1997
Ares Bilgi İşlem Elektronik Ltd. Şti.	1997-2015
Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi	2015 - ...(devam ediyor)

### Yayınları

Bingöl N., 2017. SEVESO kapsamındaki İstanbul' da bir akaryakıt depolama tesisi üzerinde modellemeler üzerinden değerlendirmeler yapılarak modelleme programlarının avantaj ve dezavantajlarının irdelenmesi. Uluslararası IOSHC2017 İş Sağlığı ve Güvenliği Kongresi.

Kayhan H., Uçan R., Bingöl N., Karadağ Ö.K., Gezen M.C., 2017, Makina ve Kimya Endüstrisi Kurumu (MKEK) ve Türkiye Petrol Rafinerileri A.Ş. (TÜPRAŞ) Fiili Hizmet Süresi Zammı Uygulaması Teknik Çalışması. Türkiye Petrol Kimya Lastik İşçileri Sendikası Yayını: 122. İstanbul.

Bingöl N., 2015. Atex Direktifleri. İ.T.O. I. Ulusal Kimya Sektöründe İş Sağlığı Ve Güvenliği Sempozyumu.

Bingöl N., 2016. D Tipi Exproof Ekipmanların, Kurulum, İşletim, Bakım Ve Onarımları. I. İş Sağlığı ve Güvenliği ile Endüstride Proses Güvenliği Sempozyumu Gebze Teknik Üniversitesi ve Üsküdar Üniversitesi işbirliğiyle, GTÜ, Kocaeli,

Bingöl N., 2016. Yapı İşlerinde Eğitimin Önemi. III. Türkiye'de İş Sağlığı ve Güvenliği Alanında Yaşanan Sorunlar ve Çözüm Önerileri Sempozyumu, YTÜ Mezunlar Koordinatörlüğü ve Üsküdar Üniversitesi ÜSGÜMER işbirliğiyle, YTÜ, İstanbul,

Bingöl N., 2017. Kaçak Akım Rölelerinin Kullanımı ve Önemi. II. İş Sağlığı ve Güvenliği ile Endüstride Proses Güvenliği Sempozyumu Gebze Teknik Üniversitesi ve Üsküdar Üniversitesi işbirliğiyle, GTÜ, Kocaeli.

Bingöl N., 2018. Modelleme Programları Etkinliği. III. İş Sağlığı ve Güvenliği ile Endüstride Proses Güvenliği Sempozyumu Gebze Teknik Üniversitesi ve Üsküdar Üniversitesi işbirliğiyle, GTÜ, Kocaeli.

Bingöl, N., (2018). Yapı İşlerinde İş Kazalarının ve Meslek Hastalıklarının Azaltılmasında Eğitimin Yeri ve Önemi. OHS ACADEMY, 1 (1), 24-49. Retrieved from <http://dergipark.org.tr/ohsacademy/issue/40009/475652>