
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

DOĞAL AFETLERİN TETİKLEDİĞİ TEKNOLOJİK KAZALARIN RİSK ANALİZİ

Meryem Merve KURT

YÜKSEK LİSANS TEZİ
KAZALARIN ÇEVRESEL VE TEKNİK ARAŞTIRMASI ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAZİRAN 2022

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Meryem Merve KURT

28/06/2022

DOĞAL AFETLERİN TETİKLEDİĞİ TEKNOLOJİK KAZALARIN RİSK ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Meryem Merve KURT

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2022

ÖZET

Doğal afetler meydana geldiğinde, endüstriyel kuruluşlarda yangın, patlama, toksik yayılım riskleri oluşturan teknolojik kazalara (Natech- Natural Hazard Triggering Technological Disasters) neden olabilmektedir. Bu tez çalışmasında, Natech kazalarına yönelik endüstriyel kuruluşlarda risk analizi amaçlanmıştır. Öncelikle, geçmiş Natech kaza verileri analiz edilmiş, önemli tetikleyici afet tiplerinin sel/taşkın, heyelan ve yıldırım olduğu (%19) belirlenmiştir. Söz konusu üç afet türü riskini barındıran Erzurum ilinde mevzuat kapsamında değerlendirilen iki örnek endüstriyel kuruluş seçilmiştir. Bu kuruluşlarda yıldırım ve selin/taşkının tetiklediği teknolojik kazaların risk analizi yapılmıştır. Yıldırımın tetiklediği Natech kazaları Yılkomer ve Radsan programları ile kantitatif risk analizi üzerinden gerçekleştirilmiştir. Selin/taşkının tetiklediği Natech kazalarının risk analizinde ise Ön Tehlike Listesi ve Fine-Kinney Metodu ile kantitatif risk analiz metotları kullanılmıştır. Bu analizlerde ildeki mayıs ayına ait atmosferik koşullar dikkate alınmıştır. Yıldırım özelinde anlık salınım sonucu jet yangını kaza senaryosu temel alınarak kaza frekansları hesaplanmış, Kuruluş 2'de daha yüksek frekans değerleri (küçük sızıntı: $2{,}6 \times 10^{-9}$/yıl; katastropik: $1{,}3 \times 10^{-10}$/yıl) elde edilmiştir. Kuruluş 2'de kuruluş içi ve dışı domino etkilerinin olabileceği, geniş termal radyasyon etki alanları belirlenmiş ve bu kuruluşun daha riskli olduğu görülmüştür. Sel/taşkın özelinde Kuruluş 1'de anlık, sürekli salınımlar; Kuruluş 2'de bunlara ilaveten enkaz etkisi sonucu küçük ve büyük sızıntı çapı oluşması durumları ayrı ayrı modellenmiştir. Kuruluş 2'nin çok yüksek riskler içerdiği, geniş fiziksel etki alanları ile birden fazla komşu kuruluş ve yerleşim yerleri üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Bu tez çalışması ile Natech kazalarının risk analizine yönelik bir metodoloji ortaya konulmuştur. Çalışma sonuçlarının acil durumlar ve kriz yönetimine önemli girdiler sağlayacağı öngörülmektedir. Ayrıca çalışmanın konuya yönelik mevzuat çalışmaları, bilimsel çalışmalara önemli katkılar sağlayacağı; kamu, özel sektör uygulayıcılarına rehber nitelikte olacağı düşünülmektedir.

Bilim Kodu	:	90611
Anahtar Kelimeler	:	Doğal afetler, teknolojik afetler, doğal afetlerin tetiklediği teknolojik kazalar (Natech), risk analizi
Sayfa Adedi	:	194
Danışman	:	Doç. Dr. Saliha ÇETİNYOKUŞ

RISK ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL ACCIDENTS TRIGGERED BY NATURAL DISASTERS

(M. Sc. Thesis)

Meryem Merve KURT

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2022

ABSTRACT

When natural disasters occur, they can cause technological accidents (Natech-Natural Hazard Triggering Technological Disasters) that create fire, explosion and toxic spread risks in industrial establishments. In this thesis, it was aimed to analyze the risk of Natech accidents in industrial establishments. First of all, past Natech accident data were analyzed and it was determined that the major triggering disaster types were floods, landslides and lightning (19%). Two sample industrial establishments evaluated within the scope of the legislation in Erzurum, which had the risk of these three types of disasters were selected. Risk analysis of technological accidents triggered by lightning and flood in these establishments was made. Natech accidents triggered by lightning were carried out through Yılkomer and Radsan programs and quantitative risk analysis. In the risk analysis of Natech accidents triggered by floods, Pre-Hazard List and Fine-Kinney Method and quantitative risk analysis methods were used. In these analyses, atmospheric conditions of May in the province were taken into account. Accident frequencies were calculated based on the jet fire accident scenario as a result of instantaneous release in the case of lightning, and higher frequency values (small leakage: $2.6x10^{-9}$/year; catastrophic: $1.3x10^{-10}$/year) were obtained in Establishment 2. In Establishment 2, large thermal radiation impact areas where internal and external domino effects can occur were determined and it was seen that this establishment was more risky. In the case of flood, instantaneous, continuous releases in Establishment 1, in addition to these, cases of a small and a large leak diameter as a result of the debris effect in Establishment 2, were modeled separately. It was observed that Establishment 2 contained very high risks, had large physical impact areas and was effective on more than one neighboring establishment and settlements. In this thesis, a methodology for risk analysis of Natech accidents has been put forward. It is foreseen that the results of the study will provide important inputs to emergencies and crisis management. In addition, the study will provide significant contributions to the legislative studies and scientific studies on the subject and it is thought that it will be a guide for public and private sector practitioners.

Science Code	:	90611
Key Words	:	Natural disasters, technological disasters, technological accidents triggered by natural disasters (Natech), risk analysis
Page Number	:	194
Supervisor	:	Assist. Prof. Dr. Saliha ÇETİNYOKUŞ

TEŞEKKÜR

Çalışmam boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, akademik serüvenimde kişisel gelişimime katkı sağlayacak her türlü bilgi ve katkıyı sağlayan, güvenini ve desteğini her daim hissettiren saygıdeğer Tez Danışmanım Doç. Dr. Saliha ÇETİNYOKUŞ hocama en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Desteğini ve bana olan güvenini her daim hissettiren, çok kıymetli dualarını esirgemeyen, yüksek lisans eğitimime vesile olarak bana her zaman doğruyu gösteren çok kıymetli annem Sebihat DEMİRDÖĞEN' e, benimle her zaman gurur duyan, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen değerli babam Hanifi DEMİRDÖĞEN' e, bu stresli süreçte anımda beni anlayan, dinleyen, eğlenceli anlar yaşamamı sağlayan ablam Yasemin BAYAR, diğer kardeşlerim Abdulkadir, Fatih ve Fatmanur DEMİRDÖĞEN' e,

Tez süreci boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, güvenlerini her daim hissettiğim Sayın KURT ailesine,

Bu zorlu ve stresli süreçte yanımda olan, destekleyen, benimle her daim gurur duyan hayat arkadaşım değerli eşim Ali KURT' a teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ x

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xii

RESİMLERİN LİSTESİ xvii

SİMGELER VE KISALTMALAR xviii

1. GİRİŞ 1

2. ÇALIŞMA KONUSU VE KAPSAMI 5

2.1. Doğal Afetler 5

2.1.1. Jeolojik doğal afetler 5

2.1.2. Meteorolojik doğal afetler 9

2.2. Doğal Afetlerin Tetiklediği Teknolojik Kazalar (Natech) 15

2.3. Doğal Afetlerin Tetiklediği Teknolojik Kazalar ile İlgili Kaza /Afet Veri Tabanları 17

2.4. Afetler/Natech ile İlgili Önemli Kurum ve Organizasyonlar 26

2.4.1. Uluslararası kurum ve organizasyonlar 26

2.4.2. Ulusal kurum ve organizasyonlar 28

2.5. Doğal Afetlerin Tetiklediği Teknolojik Kaza (Natech) Örnekleri 30

2.5.1. Ülkemizde yaşanan Natech kazaları 30

2.5.2. Dünya' da yaşanan Natech kazaları 32

2.6. İlgili Uluslararası Mevzuat 35

2.7. İlgili Ulusal Mevzuat 36

Sayfa

2.8. Kaza Verilerinin İstatistiksel Değerlendirmesi 38

2.9. Kazaların Risk Analizi 41

2.9.1. Risk analiz yöntemleri..... 41

2.9.2. Risk analizinde kullanılan toollar 47

2.9.3. Natech kazalarının risk analizi 50

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 55

3.1. Doğal Afetlerin Tetiklediği Teknolojik Kazaların Kaza Verilerinin Değerlendirilmesi 55

3.2. Doğal Afetlerin Tetiklediği Teknolojik Kazaların Kaza Verilerinin Değerlendirilmesi 61

4. YAPILAN ÇALIŞMALAR 73

4.1. Natech Kaza Verilerinin İstatistiksel Değerlendirmesi 73

4.2. Risk Analizi Yapılacak İl ve Kuruluş Seçimi 73

4.3. Kuruluşlarda Yıldırımın Tetiklediği Natech Kazalarının Risk Analizi 73

4.3.1. Yılkomer ve Radsan Programları kullanımı ile risk analizi..... 74

4.3.2. Kantitatif risk analizi..... 78

4.4. Kuruluşlarda Selin/Taşkının Tetiklediği Natech Kazalarının Risk Analizi..... 80

4.4.1. Ön tehlike listesi ve Fine Kinney Metodu ile risk analizi 81

4.4.2. Kantitatif risk analizi..... 85

5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ 91

5.1. Natech Kaza Verilerinin İstatistiksel Değerlendirmesi 91

5.2. Risk Analizi Yapılacak İl ve Kuruluş Seçimi 94

5.3. Kuruluşlarda Yıldırımın Tetiklediği Natech Kazalarının Risk Analizi 96

5.3.1. Yılkomer ve Radsan Programları kullanımı ile risk analizi..... 96

5.3.2. Kantitatif risk analizi..... 99

Sayfa

5.4. Kuruluşlarda Selin/Taşkının Tetiklediği Natech Kazalarının Risk Analizi..... 118

5.4.1. Ön tehlike listesi ve Fine Kinney Metodu ile risk analizi 118

5.4.2. Kantitatif risk analizi..... 142

6. SONUÇLAR 171

7. ÖNERİLER 175

KAYNAKLAR 177

EKLER..... 187

EK-1. Faraday Kafesi Yıldırım Risk Analiz Programı 188

EK-2. Paratoner Sistem Risk Analiz Programı 189

EK-3. Kuruluş 1’ e Ait Tank Verileri 190

EK-4. Kuruluş 2’ ye Ait Tank Verileri 191

EK-5. Türkiye Oraj Haritası 192

EK-6. Erzurum Fiziki İl Haritası 193

ÖZGEÇMİŞ 194

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 3.1. Doğal afetlerin tetiklediği teknolojik kazaların kaza verilerinin değerlendirilmesi literatür özet çizelgesi..... 58

Çizelge 3.2. Doğal afetlerin tetiklediği teknolojik kazaların risk değerlendirilmesi/analizi literatür özet çizelgesi 65

Çizelge 4.1. Çevresel Katsayı(C1) 75

Çizelge 4.2. Yapısal Katsayı(C2)..... 75

Çizelge 4.3. Yapısal Katsayı(C3)..... 75

Çizelge 4.4. Yapısal Doluluğu(C4)..... 75

Çizelge 4.5. Yapı Doluluğu/Yıldırım Sonucu(C5) 76

Çizelge 4.6. Koruma seviyelerine göre yıldırım akımı parametreleri (Yıldırımdan Korunma Yönetmeliği, 2021) 77

Çizelge 4.7. Formüller ve tanımlar 77

Çizelge 4.8. Fine-Kinney metodu olasılık, frekans ve şiddet skalaları (Demirdöğen, 2021)..... 82

Çizelge 4.9. Fine-Kinney metodu risk düzeyi değerleri ve risk düzeyine göre yapılacak eylemler (Demirdöğen, 2021)..... 83

Çizelge 4.10. LPG depolama ve dağıtım tesisleri için Natech olaylarını tetikleyen selin/taşkının niteliksel bir hasar ölçeği (Krausmann, 2008)..... 83

Çizelge 4.11. Depolama tankı ve sıvı ile ilgili parametrelerin depolama tankının hasar direnci üzerindeki etkisi (Wang, 2021)..... 89

Çizelge 4.12. Atmosferik ve basınçlı depolama tankları için hasar durumları ve ilgili serbest bırakma kategorileri (Piccinelli, 2013) 90

Çizelge 5.1. Natech' e neden olan doğal afet alt grup dağılımı 92

Çizelge 5.2. Natech' e neden olan doğal afetlerin tiplerinin dağılımı 92

Çizelge 5.3. Natech kazalarında etkilenen ekipmanların dağılımı..... 92

Çizelge 5.4. Erzurum ilindeki kuruluşlar için atmosferik koşullar (MGM, 2022; Karaca, 2013)..... 102

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 5.5. Kuruluş 1 için jet yangını kaynaklı termal radyasyon etki mesafeleri (10mm sızıntı çapı) 107

Çizelge 5.6. Kuruluş 1 için jet yangını kaynaklı termal radyasyon etki mesafeleri (1000mm sızıntı çapı) 108

Çizelge 5.7. Kuruluş 2 için jet yangını kaynaklı termal radyasyon etki mesafeleri (10mm sızıntı çapı) 115

Çizelge 5.8. Kuruluş 2 için jet yangını kaynaklı termal radyasyon etki mesafeleri (1000mm sızıntı çapı) 117

Çizelge 5.9. Kuruluş 1 Ön Tehlike Listesi 118

Çizelge 5.10. Kuruluş 2 Ön Tehlike Listesi 129

Çizelge 5.11. Kuruluş 1 için Mod 1 kapsamında belirlenen buhar bulutu toksik etki alanları 146

Çizelge 5.12. Kuruluş 1 için Mod 1 kapsamında belirlenen buhar bulutu yanabilir alanı 148

Çizelge 5.13. Kuruluş 1 için Mod 1 kapsamında buhar bulutu patlama etkileri 151

Çizelge 5.14. Kuruluş 1 için Mod 2 kapsamında belirlenen buhar bulutu yanabilir etki alanları 153

Çizelge 5.15. Kuruluş 2 için Mod1 kapsamında belirlenen buhar bulutu toksik etki alanları 157

Çizelge 5.16. Kuruluş 2 için Mod 1 kapsamında belirlenen buhar bulutu yanabilir etki alanları 159

Çizelge 5.17. Kuruluş 2 için Mod 2 kapsamında belirlenen buhar bulutu toksik etki alanları 161

Çizelge 5.18. Kuruluş 2 için Mod 2 kapsamında buhar bulutu yanabilir alan etki alanları 162

Çizelge 5.19. Kuruluş 2 için Mod 3 kapsamında belirlenen buhar bulutu yanabilir etki alanları 165

Çizelge 5.20. Kuruluş 2 Mod 3 kapsamında belirlenen buhar bulutu toksik etki alanları (1000mm sızıntı çapı) 167

Çizelge 5.21. Kuruluş 2 için Mod 3 kapsamında belirlenen buhar bulutu yanabilir etki alanları (1000mm sızıntı çapı) 168

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Dünya'da ki aktif volkanlar (İstanbul Üniversitesi AUZEF, 2021) 8

Şekil 2.2. Dünya' da tsunami bölgeleri (Coğrafyacı, 2021) 9

Şekil 2.3. 2019 yılında Türkiye' de görülen sel dağılımı (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2021) 10

Şekil 2.4. 2014 ile 2018 yılları arasında km2 başına meydana gelen yıldırım yoğunluğu (The Weather Chanel, 2021)..... 13

Şekil 2.5. 1 Ocak 2000-19 Şubat 2019 yılları arasında Türkiye'de oluşan hortum olaylarının alansal dağılış deseni (Türkeş, 2019) 14

Şekil 2.6. Farklı sonuç türleri için sıralanmış maksimum potansiyel sosyo-ekonomik etki seviyeleri (EU, 2021)..... 10

Şekil 2.7. NatCat modelinin uygulama şeması (Raschke, 2019) 19

Şekil 2.8. GLIDE afet kodları (Duman, 2018)..... 21

Şekil 2.9. GLIDE kod örneği 22

Şekil 2.10. Papyon analizi şeması (Khakzad, 2012) 43

Şekil 2.11. Kantitatif risk analizindeki ana adımlar (Casal, 2008) 46

Şekil 2.12. Rapid-N ara yüz görünümü (Rapid-N, 2021) 52

Şekil 3.1. Meydana gelen doğal olaylar 56

Şekil 3.2. Oluşan Natech senaryoları 56

Şekil 3.3. Vaka çalışması için 2 yerel risk haritasında; a) Yalnızca geleneksel kaza senaryoları ile b) Yıldırımla tetiklenen senaryoları ile hazırlanmıştır (Necci, 2016)..... 63

Şekil 3.4. Natech olaylarının coğrafi dağılımı 1986-2012 yılları arası (Girgin, 2016) 64

Şekil 4.1. Yıldırım çarpmasıyla tetiklenen kaza senaryoları için olay ağaçları (ETs): a) yanıcı maddelerin depolandığı dış yüzer çatılar (EFRT), b) yanıcı maddelerin depolandığı konik çatı tankları (CRT) ve iç yüzer çatılar (IFRT), c) yanıcı maddelerin depolandığı basınçlı depolama tankları, d) CRT ve toksik maddelerin depolandığı basınçlı depolama tankları (Misuri, 2020) ... 78

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.2. Örnek Olay Ağacı Analizi 79

Şekil 4.3. Bir Natech etkinliğinin etkisini değerlendirmek için kriterlerin hiyerarşisi (Rota, 2008) 85

Şekil 4.4. Su hızına ve derinliğine bağlı olarak bir selden etkilenen bir depolama tankının olay sırasını tanımlayan olay ağacı (Olivar,2018) 86

Şekil 4.5. Depolama tanklarındaki bir Natech olayının sonuçlarını tanımlayan genel bir olay ağacı (Olivar, 2018) 87

Şekil 4.6. Selden etkilenen bir depolama tankında oluşabilecek hasar türleri (Olivar, 2018) 88

Şekil 4.7. "Bir depolama tankının kabuğunda kırılma" kritik olayına karşılık gelen olay ağacı (Hajj, 2015) 89

Şekil 5.1. SPSS programına işlenen verilerin görüntüsü 91

Şekil 5.2. Natech kazalarında etkilenen ekipmanların dağılım grafiği 93

Şekil 5.3. Türkiye heyelan afet haritası (Coğrafya Harita, 2021) 94

Şekil 5.4. Türkiye sel ve su baskınları haritası (Coğrafya Harita, 2021) 94

Şekil 5.5. Kuruluş 1 Google Earth görüntüsü (Google Earth Pro, 2021) 95

Şekil 5.6. Kuruluş 2 Google Earth görüntüsü (Google Earth Pro, 2021) 96

Şekil 5.7. Kuruluş 1 için gerçekleştirilen analizin program üzerindeki gösterimi..... 97

Şekil 5.8. Kuruluş 2 için gerçekleştirilen analizin program üzerindeki gösterimi..... 99

Şekil 5.9. Kuruluş 1' için Tutuşma Olasılığı Hesaplama Modülü' ne işlenen parametre girişi ekran görüntüleri..... 100

Şekil 5.10. Kuruluş 1 için yazılıma işlenen atmosferik koşulların ekran görüntüleri..... 103

Şekil 5.11. Kuruluş 1 için kimyasal kaynak seçimine ait ekran görüntüleri..... 104

Şekil 5.12. Kuruluş 1 için tank başarısızlık/hata türü ekran görüntüsü 105

Şekil 5.13. Kuruluş 1 için sızıntı tipi ve alanı..... 106

Şekil 5.14. Termal radyasyon eşik değerleri..... 106

Şekil 5.15. Kuruluş 1 için jet yangını kaynaklı termal radyasyon etki alanları (1000mm sızıntı çapı) 108

Şekil **Sayfa**

Şekil 5.16. Kuruluş 1 için belirlenen jet yangını termal radyasyon Google Earth görüntüsü (1000mm sızıntı çapı) 109

Şekil 5.17. Kuruluş 2 için yazılıma işlenen atmosferik koşulların ekran görüntüleri..... 110

Şekil 5.18. Kuruluş 2 için kimyasal kaynak seçimine ait ekran görüntüleri..... 111

Şekil 5.19. Kuruluş 2 için tank başarısızlık/hata türü ekran görüntüsü 113

Şekil 5.20. Kuruluş 2 için sızıntının tipi, alanı ve yüksekliği 114

Şekil 5.21. Kuruluş 2 için jet yangını kaynaklı termal radyasyon etki alanları (10mm sızıntı çapı) 115

Şekil 5.22. Kuruluş 2 için jet yangını kaynaklı termal radyasyon etki alanı Google Earth görüntüsü (10mm sızıntı çapı) 116

Şekil 5.23. Kuruluş 2 için jet yangını kaynaklı termal radyasyon etki alanları (1000mm sızıntı çapı) 116

Şekil 5.24. Kuruluş 2 için jet yangını kaynaklı termal radyasyon etki alanı Google Earth görüntüsü (1000mm sızıntı çapı) 117

Şekil 5.25. Fine Kinney değerlendirme raporu 124

Şekil 5.26. Fine Kinney değerlendirme raporu 136

Şekil 5.27. Kuruluş 1 için Mod 1 seçimi ekran görüntüsü 143

Şekil 5.28. Kuruluş 1 için selin/taşkının tetiklediği tehlike analizi ekran görüntüsü 144

Şekil 5.29. Propan toksik eşik değerleri 144

Şekil 5.30. Kuruluş 1 için Mod 1 kapsamında belirlenen buhar bulutu toksik etki alanları 146

Şekil 5.31. Propan için yanabilirlik eşik değerleri 147

Şekil 5.32. Kuruluş 1 için Mod 1 kapsamında belirlenen buhar bulutu yanabilir alanı 148

Şekil 5.33. Kuruluş 1 için Mod 1 kapsamında buhar bulutu patlama parametresi girişi ekran görüntüsü 149

Şekil 5.34. ALOHA yazılımı patlama eşik değerleri 150

Şekil 5.35. Kuruluş 1 Mod 2 kapsamında parametre girişi ekran görüntüleri 151

Şekil **Sayfa**

Şekil 5.36. Kuruluş 1 için Mod 2 kapsamında belirlenen buhar bulutu yanabilir etki alanları 153

Şekil 5.37. Kuruluş 1 için selin/taşkının tetiklediği endüstriyel kaza toplu tehlike alanları Google Earth görüntüsü 154

Şekil 5.38. Kuruluş 2 için Mod 1 seçimlerine ait ekran görüntüsü 155

Şekil 5.39. Bütan için toksik eşik değerleri 156

Şekil 5.40. Kuruluş 2 için Mod1 kapsamında belirlenen buhar bulutu toksik etki alanları 157

Şekil 5.41. Bütan için yanabilirlik eşik değerleri 158

Şekil 5.42. Kuruluş 2 için Mod 1 kapsamında belirlenen buhar bulutu yanabilir etki alanları 159

Şekil 5.43. Kuruluş 2 için Mod 2 kapsamında parametre girişi ekran görüntüsü 160

Şekil 5.44. Kuruluş 2 için Mod 2 kapsamında belirlenen buhar bulutu toksik etki alanları 161

Şekil 5.45. Kuruluş 2 için Mod 2 kapsamında buhar bulutu yanabilir alan etki alanları 162

Şekil 5.46. Kuruluş 2 için Mod 1 ve Mod 2 kapsamında belirlenen tehlike alanlarının toplu Google Earth görüntüsü 163

Şekil 5.47. Kuruluş 2 için Mod 3 kapsamında parametre girişi ekran görüntüsü (10mm sızıntı çapı) 164

Şekil 5.48. Kuruluş 2 için Mod 3 kapsamında belirlenen buhar bulutu yanabilir etki alanları..... 164

Şekil 5.49. Kuruluş 2 için Mod 3 kapsamında belirlenen buhar bulutu yanabilir etki alanları Google Earth görüntüsü 165

Şekil 5.50. Kuruluş 2 için Mod 3 kapsamında parametre girişi ekran görüntüsü (1000mm sızıntı çapı) 166

Şekil 5.51. Kuruluş 2 Mod 3 kapsamında belirlenen buhar bulutu toksik etki alanları (1000mm sızıntı çapı) 167

Şekil 5.52. Kuruluş 2 için Mod 3 kapsamında belirlenen buhar bulutu yanabilir etki alanları (1000mm sızıntı çapı) 166

Şekil **Sayfa**

Şekil 5.53. Kuruluş 2 için Mod 3 kapsamında elde edilen tehlike alanları toplu Google Earth görüntüsü 169

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 2.1. Dünya deprem haritası (Coğrafya Harita, 2021)..... 6

Resim 2.2. Dünya'da heyelan potansiyeli (NASA, 2021) 7

Resim 2.3. Volkanik patlama (National Geographic, 2021)..... 8

Resim 2.4. 24 Nisan tarihinde Dünya' da yaşanan sel haritası (Global Flood Monitor, 2021) 11

Resim 2.5. Dünya çığ haritası (Coğrafyalar, 2021) 17

Resim 2.6. 2015'te hazırlanan Dünya orman yangınları haritası (NASA, 2021)..... 15

Resim 2.7. EM-DAT afet doğrulama penceresi (EM-DAT, 2021) 18

Resim 2.8. Sigma Explorer 1990-2020 yılları arasında Dünya' da meydana gelen afetler (Sigma Explorer, 2021) 20

Resim 2.9. Uluslararası yaşanan afet verilerinin tablo şeklinde görünümü (CDD, 2021) 22

Resim 2.10. EDIS olay haritası (EDIS, 2021) 23

Resim 2.11. Teknolojik Kazalar Bilgi Sistemi/2005-2019 yılları arasında yaşanan kazaların istatistikleri (Teknolojik Kazalar Bilgi Sistemi, 2021) 24

Resim 2.12. AKOMAS sorgu penceresi (AKOMAS, 2021)..... 25

Resim 2.13. Tüpraş rafinerisi deprem sonrası (Fabbrocino, 2014) 31

Resim 2.14. Tsunaminin vurması sonucu yanan Sendai rafinerisindeki tank 34

Resim 2.15. Yanan soğutucu römork (CSB, 2018) 35

Resim 2.16. Coğrafi Bilgi Sistemleri üzerinden alınabilecek görüntüler (Başarsoft, 2021) 53

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklamalar**
m^3	metreküp
m^2	metrekare
mm	milimetre
ppm	milyonda bir birim
psi	basınç birimi
Q_{top}	toplam elektrik yükü
Q_{darbe}	darbe elektrik yükü

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
AEGL	Akut Maruz Kalma Yönergesi Düzeyleri
AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı
AN	Akrilonitril
BPCS	İş Planlama ve Kontrol Sistemi
BT	Bow-tie
EM-DAT	Uluslararası Afet Veri Tabanı
LNG	Sıvılaştırılmış Doğal Gaz
LOC	Enerji akış düzeyi
LPG	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
POII	Ani Tutuşma Olasılığı
SADT	Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı
SPSS	Sosyal Bilimler İstatistik Paketi
TÜPRAŞ	Türkiye Petrol Rafinerileri

1. GİRİŞ

Toplumun tamamını veya belli bir kısmını etkileyen toplumda ekonomik, sosyal ve fiziksel kayıplara neden olan normal hayatı sekteye uğratan yerel imkanların yetersiz kaldığı doğa, teknoloji veya insan kaynaklı olaylar afet olarak tanımlanmaktadır. Depremler, seller, fırtınalar, aşırı sıcaklıklar vb. gibi doğal tehlikeler; tehlikeli maddeleri işleyen, depolayan veya taşıyan tesislerde yangınları, patlamaları, toksik veya radyoaktif salınımları tetikleyebilir ve bunlar doğal afetlerin tetiklediği teknolojik kazalar (Natech- Naturel Hazard Triggering Technological Disasters) olarak adlandırılmaktadır. Yüzyıllarca fırtınalar, taşkınlar ve seller gibi önlenemez afetleri yaşayan insanlar, Sanayi Devrimi ile endüstriyel kazalarla tanışmaya başlamış ve kazaların ardından en büyük etkileri genelde kimyasal kullanan tesislerin sebep olduğu görülmüştür. Doğal afetlerden farklı olarak teknolojik afetler insan faaliyetleri sonucunda ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla teknolojik afetlerin ortaya çıkmasını, ölüm oranlarını ve etkilerini azaltmak için bireysel, örgütsel ve yapısal önlemlerin alınması önemli bir yer tutmakta ve acil eylem planlarında mutlak suretle göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Gerekli önlemler alınmadığı takdirde doğal afetlerin tetiklediği teknolojik kazalar, ciddi can, ekonomik ve çevresel kayıplarına neden olmaktadır. Natech risk değerlendirmesi, bu tür kazaların yaşanabileceği alanların tespiti, olası risklerin belirlenmesi ve risk azaltımında gerekli önlemlerin ortaya konulması için son derece önemlidir. Natech riskinin yönetimi, esas olarak, üye devletlerin yasal çerçevesi aracılığıyla ele alınmaktadır. Mevzuatı desteklemek için Natech risk azaltma ile ilgili rehberlik azdır ve mevcut olduğunda Natech kazalarının meydana gelmesini her zaman engellememiştir.

2011 yılı içerisinde Tohoku' da meydana gelen deprem ve tsunami afeti petrol rafinerilerinin ve termik santralini etkilemiş ve Natech kazalarına neden olmuştur. Natech kazaları sonucunda depolama tankları, boru, boru hatları ve asfalt tankları etkilenmiştir. Yine aynı yıl içerisinde ve 2012 yılında Fransa' da yıldırım ve donma doğal afetleri meydana gelmiştir. Yıldırım afeti sonucu Feyzin Rafinerisi'nde atmosferik depolama tankları etkilenmiştir. En yakın tarih olarak 2020 yılında Ekvador' da meydana gelen heyelan afeti sonucu yine bir şehir rafinerisinde boruların hasar gördüğü saptanmıştır. Ülkemizin afet yönetimi kapsamında yetersiz ve risk yönetiminin benimsenmediği dönemde meydana gelen 17 Ağustos Marmara Depremi sonucu TÜPRAŞ' ta yangın meydana gelmiş; yangın sonucu 80 milyon dolarlık hasar olduğu belirlenmiştir. Ardından 2002 yılı temmuz ayında yaşanan

Akçagaz' da yaşanan LPG patlaması sonucu 3 trilyon hasar meydana geldiği görülmüştür (Güneş, 2020). Ülkemizde Marmara ve İstanbul bölgesinin afet riski yüksek olmasına karşın afet riski ve tehlikesi göz önüne alınmadan yapılan yatırımlarla riskli alanda sanayi tesislerinin ve nüfusun artması afet yaşandığında bölgede oluşabilecek hasarı arttıracaktır. Bu durum planlamaların ve denetimli yerleşimin önemini ortaya koymaktadır. Ülkemizde Natech riskleri gerektiği şekilde ele alınmayıp acil eylem planlarına dahil edilmemekte, doğal afetler sonucunda hem endüstriyel tesis özelinde hem de sınır ötesi etkileri dahil içerebilen geniş alanlarda kayıplar oluşmaktadır. Ülkemizde doğal afetlerin tetiklediği teknolojik kazalar için özel bir yönetmelik bulunmamaktadır. Ancak, doğal afetlerin tetiklediği teknolojik kazalar 2 Mart 2019 tarihinde Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve İçişleri Bakanlığınca hazırlanıp yayınlanan "Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik" kapsamında değerlendirilebilir. Yönetmelik ilgili tebliğ eklerinde endüstriyel kaza risklerinin belirlenmesinde doğal afetlerin dikkate alınması gereğini vurgulamaktadır.

Literatür incelendiğinde Natech kaza verilerinin analiz edildiği çalışmalar bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda birçok veri tabanı kullanılarak veriler analiz edilmiştir. Ricci ve diğerleri Natech olaylarının eğilimi, coğrafi dağılımı, nihai teknolojik senaryoları insan ve ekonomik kayıpları bakımından değerlendirmek amacıyla eMARS, MHIDAS, NRC, TAD IChemE, ARIA ve CONCAWE veri tabanlarını kullanarak veriler toplamış ve analiz etmiştir (Ricci, 2021). Yine Ricci ve diğerlerinin 2020 yılında yaptıkları çalışmada soğuk hava dalgası ve sıcak hava dalgası gibi aşırı sıcakların neden olduğu Natech kazaların yıllar içindeki eğilimi, coğrafi konum, nihai senaryolar ve ilgili endüstriyel sektörleri yönünden ARIA, eMARS, MHIDAS ve FACTS veri tabanları üzerinden veriler toplanmış ve değerlendirilmiştir (Ricci, 2020). Moreno ve ark. ARIA, FACTS ve eMARS veri tabanları üzerinden Kimya ve Proses Endüstrisini (CPI) etkileyen kazalara ait veriler coğrafi konum, tetikleyen afet türü ve etkilediği varlık türü yönünden gruplandırılarak incelenmiş ve grafikler elde edilmiştir (Moreno, 2019). Renni ve diğerlerinin endüstriyel tesislerde yıldırım riskini değerlendirmek için nicel bir yaklaşım geliştirilmesine katkıda bulunmak amacıyla yaptıkları çalışmada ARIA, NRC, MHIDAS, FACTS, MARS ve TAD veri tabanları kullanılarak veri toplanmıştır. Elde edilen veriler tehlikeli madde muhafazasında kayıp meydana gelmesi, tehlikeli madde bulunduran endüstriyel faaliyette meydana gelmesi, sahada veya saha dışında büyük kaza senaryolarına neden olmasına kriterlerine göre değerlendirilmiştir (Renni, 2010). Krausmann ve diğerleri tehlikeli madde salınımlarına

neden olma potansiyeline sahip sel kaynaklı büyük teknolojik hasar veya arıza yollarını göstermek amacıyla yaptıkları çalışmada geçmiş vakaları analiz etmenin yanında uzman görüşü de kullanılarak araştırma yapılmıştır. Taşkın şiddetinin üç seviyesinin, toksik, yanıcı veya patlayıcı malzemeleri depolayan ve/veya işleyen belirli endüstriyel tesisler üzerindeki potansiyel etkisi niteliksel olarak analiz edilmiştir (Krausmann, 2008).

Literatürdeki daha önce yapılan çalışmalarda Natech kazalarının risk değerlendirmesi ve analizi için birçok yöntem kullanıldığı görülmüştür. Wang ve ark. atmosferik depolama tanklarının Natech olaylarındaki savunmasızlığını hızlı bir şekilde değerlendirmek için basitleştirilmiş bir metodoloji sunmak amacıyla deterministik ve olasılıksal analiz uygulanmıştır. Belirsiz Parametre Seti (UPS) ve Monte Carlo Simülasyonu yöntemini kullanmıştır (Wang, 2021). Girgin vd. Natech risklerinin değerlendirilmesinde Ulusal Risk Değerlendirmesi (National Risk Assessment-NRA)' nin geliştirilip kullanılabileceğini ve ulusal olmasına rağmen bölgesel olarak daha küçük ölçüde değerlendirilebileceği sonucuna varmıştır (Girgin, 2019). Naderpoura ve diğerleri orman yangınlarında hava ve nem miktarını yangın olasılığına göre tahmin etmek ve Natech durumlarını modellemek amacıyla Coğrafi Bilgi Sistemine (CBS) dayalı analizler kullanmıştır (Naderpoura, 2019). Olivar ve arkadaşları yaptıkları çalışmada Natech olaylarına maruz kalabilecek endüstriyel depolama ekipmanlarının kırılganlığını değerlendirmek amacıyla Natech Tank Analyzer (NaTanks) adlı bilgisayar aracıyla kırılganlık analizi uygulamıştır (Olivar, 2018). Necci vd. yıldırım tetiklediği kazaların Kantitatif Risk Değerlendirmesine (QRA) dahil edilmesi için bir metodoloji geliştirmek amaçlamıştır. Bu amaç doğrultusunda proses ekipmanı ve belirli ekipman güvenlik açığı modelleri üzerindeki yıldırım çarpması olasılığını değerlendirmek için bir model oluşturup sonrasında risk endekslerinin ölçülmesine izin veren özel olay ağaçlarına birleştirmişlerdir (Necci, 2016). Girgin ve diğerleri Boru Hattı ve Tehlikeli Madde Güvenliği İdaresi (The Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration-PHMSA)' ne bildirilen karadaki tehlikeli sıvı boru hattı sistemi olaylarını veri madenciliği kullanarak incelemiştir (Girgin, 2016).

Bu tez çalışmasında, ülkemizde daha önce herhangi bir çalışma yapılmamış doğal afetlerin tetiklediği teknolojik kazaların risk analizi amaçlanmıştır. Bu amaçla, öncelikle çeşitli afet veri tabanları üzerinden doğal afetlerin tetiklediği teknolojik kazalar analiz edilmiş sonrasında yasal mevzuat gereği ilgili konuda yükümlülükleri bulunan örnek sanayi kuruluşları belirlemiştir. Ardından, sel/taşkın ve yıldırımın tetiklediği Natech kazalarının

hipotetik senaryolar üzerinden çeşitli risk analiz metotları kullanımı ile risk analizi gerçekleştirilmiş ve yeni bir metodoloji ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış, Natech riski açısından kuruluşlar değerlendirilmiştir.

2. ÇALIŞMANIN KONUSU VE KAPSAMI

2.1. Doğal Afetler

İnsanlar için fiziksel, ekonomik, sosyal kayıplar doğuran yaşamı sekteye uğratan ve yerel imkanların yetersiz kaldığı olaylardır. Doğanın kendi davranışlarıyla oluşan olaylara doğal afetler denilmektedir. Tektonik oluşum, jeolojik yapı, topografya ve meteorolojik özellikler çeşitli doğal afetlere sebep olmaktadır. Doğal afetler meydana geldiğinde ülkelerin fiziksel ve sosyal zarar görebilirliğine bağlı olarak büyük ölçüde yaralanma, can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. Ülkemizde başlıca doğal afetler depremler, su baskınları, erozyon, heyelanlar, kuraklık, çığ ve kaya düşmeleri şeklinde sıralanabilir. Ormanların tahrip edilmesi sonucu ortaya çıkan şiddetli erozyon büyük ölçüde çevre sorunlarına ve ekonomik kayıplara yol açmasının yanında mevcut tehlike ve riskleri daha da artmasına neden olmaktadır.

Doğal afetler kendi içerisinde jeolojik ve meteorolojik olarak ya da yavaş ve ani gelişen olarak iki grupta incelenebilmektedir. Jeolojik ve meteorolojik doğal afetler alt başlıklara ayrılarak incelenecektir.

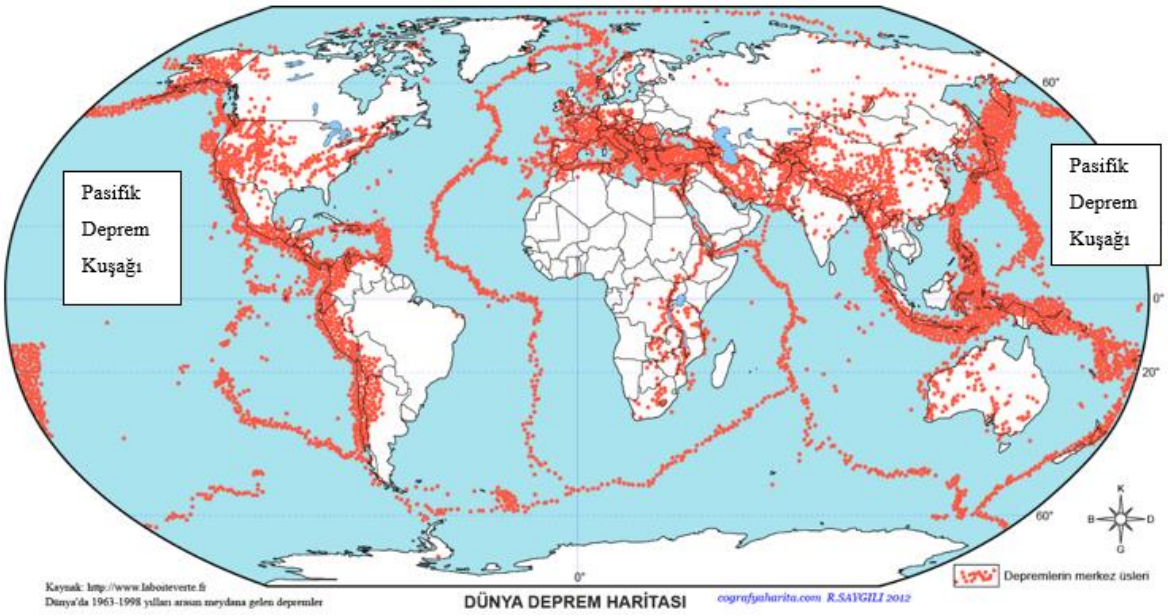
2.1.1. Jeolojik doğal afetler

Deprem

Yer kabuğundaki kırılmalara bağlı olarak ani enerji salınımı sonucu oluşan sismik dalgaların yeryüzünde titreşim, sarsıntı ve jeolojik faylarda yer kaymalarıdır. Oluşan sarsıntının etkisi sonucu çökme, yangın, volkanik patlamalar ve tsunami gibi ikincil olaylara neden olabilmektedir. Sarsıntının şiddeti, şekli ve yüzeye yakınlığı oluşan depremin büyüklüğünü etkiler.

Ülkemiz bulunduğu konum itibariyle dünyadaki depremlerin yaklaşık yüzde yirmisinin meydana geldiği en aktif deprem kuşaklarından biri olan Akdeniz-Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde yer almaktadır ve nüfusumuzun da %95'inin bu bölgeler üzerinde yaşamaktadır. Dolayısıyla afet sonucu can kayıplarının %60’ı depremler nedeniyle yaşanmaktadır. 1900 yılından 2020 yılına kadar olan dönemde Türkiye ve çevresinde en az 5.0 büyüklüğe sahip 1.796 deprem kayıtlara geçmiştir. 2019 yılında ülkemiz ve çevresinde 23.646 deprem kaydedilmiş ve bu depremler büyüklüklerine göre değerlendirildiğinde

büyük bir kısmının hissedilemeyecek kadar küçük büyüklükte depremler olduğu; büyük depremlerin ise 4.0-4.9 arasında 164, 5.0-5.9 arasında 18 ve 6.0'dan büyük 2 deprem olarak gözlenmiştir (AFAD, 2020). Dünya üzerinde aktif fay hatları bulunmakta ve zaman zaman hareketlilik meydana gelebilmektedir. Meydana gelen bu hareketlilik neticesinde yaşanan depremler harita üzerinde belirtilmiştir (Resim 2.1).



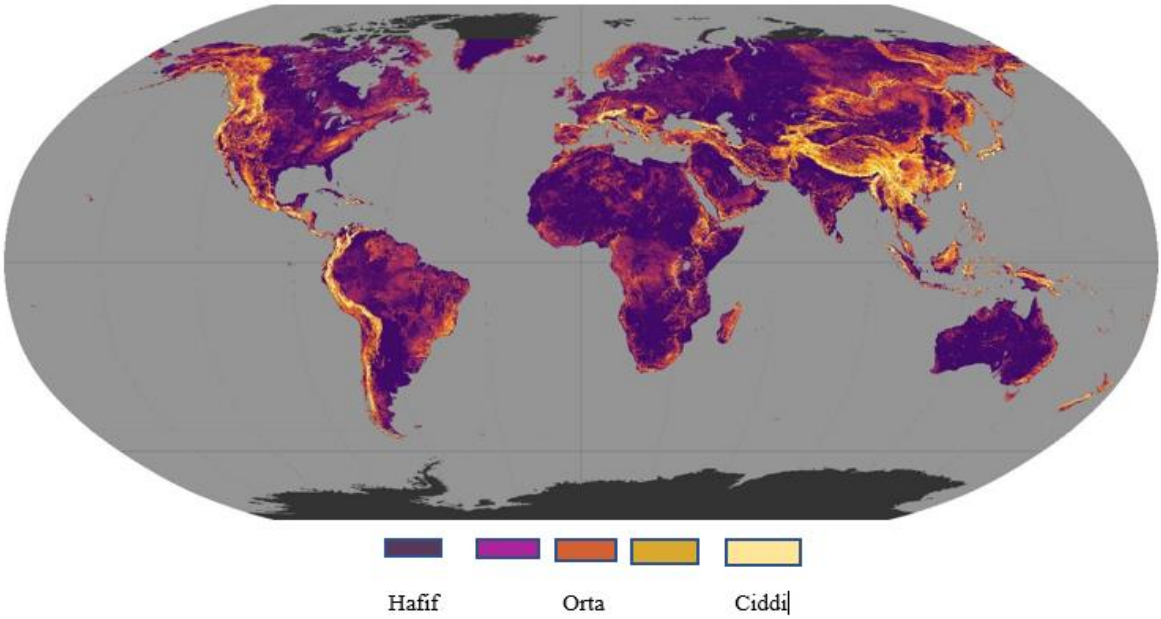
Resim 2.1. Dünya deprem haritası (Coğrafya Harita, 2021)

Dünya' da meydana gelen en fazla depremin aktif volkanların %75' ine sahip 40 bin km uzunluğundaki Pasifik Ateş Çemberi deprem kuşağında meydana geldiği gözlemlenmiştir. Dünya' da meydana gelen depremlerin yoğunluğu Resim 2.1' de görülmektedir.

Heyelan

Heyelan; toprak, kaya, yapay dolgu malzemesi ya da bunların kombinasyonundan oluşan yamacın eğim, su, yerçekimi ve bunlara benzer diğer kuvvetlerinde etkisiyle dışa ve aşağı doğru hareketi olarak tanımlanmaktadır. Heyelanlara yağışlar, jeolojik yapı, iklim özellikleri, bitki örtüsü ve arazinin topografyası gibi doğal faktörler etki etmektedir. Heyelan depremden sonra gelen ikinci en önemli doğal afet olması sebebiyle kültürel kayıp, can kaybı, doğal miras kaybı, ekonomik zararlar ve çevresel etkiler gibi büyük ölçüde sosyo-ekonomik hasarlara yol açmaktadırlar (Akıncı, 2015). Ülkemizde ve Dünya' da farklı

arazilerde farklı boyutlara ulaşan heyelanlar tespit edilerek Dünya üzerinde renklendirme yapılarak sunulmuştur (Resim 2.2).



Resim 2.2. Dünya'da heyelan potansiyeli (NASA, 2021)

Resim 2.2' de Dünya üzerinde birçok ülkenin orta seviye heyelan potansiyeline sahip olduğu, ciddi potansiyele sahip heyelanların Çin' in güney ve güneydoğusunda yoğun olduğu görülmüştür.

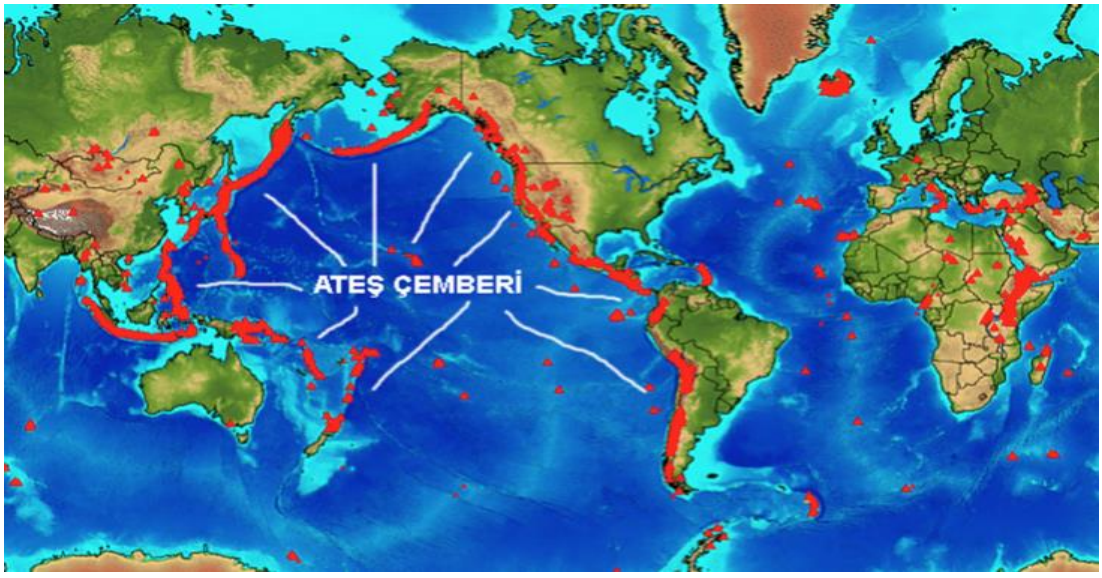
Volkanik patlamalar

Magmanın yerküre yüzeyinden dışarı püskürerek çıktığı olaylara volkanik patlama denilmektedir. Volkan patlamalarının etkileri volkanın yapısı, şekli, püskürme gücü, baca şekli, erozyon derecesi, lav oranı, deformasyon, magma akışı ve tektonizma koşullarına bağlı olarak ortaya çıkmaktadır (Koçaklı, 2020). Patlama sonucunda kül bulutu, lav akıntıları, lahar ve karbondioksit ortaya çıkmaktadır (Resim 2.3).



Resim 2.3. Volkanik patlama (National Geographic, 2021)

Ortaya çıkan kül bulutu, lav akıntıları, lahar ve karbondioksit gibi ürünler Resim 2.3’ te de görüldüğü üzere çok geniş alanlara etki edebilmekte, dolayısıyla canlılar için tehlike arz etmektedir. Volkanik araziler Dünya üzerinde belirli bölgelerde yoğunluk kazanmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Dünya’da ki aktif volkanlar (İstanbul Üniversitesi AUZEF, 2021)

Şekil 2.1’ de Dünya haritası üzerinde aktif volkanların bulunduğu bölgeler görselleştirilmiştir. Harita incelendiğinde en geniş volkanik arazi %75 aktif volkana sahip olan Pasifik Ateş Çemberinde bulunduğu görülmektedir.

Tsunami

Açık deniz ya da kıyı yakınındaki tektonik hareketler, volkanik püskürmeler, büyük denizaltı depremleri, denizaltı heyelanları, volkan konilerinin çökmesi gibi jeolojik faktörlerin tetiklemesi sonucu oluşan bir dizi dalgadır. Kıyıda oluşturduğu su yükselmesi ya da kabarmasının yarattığı ani taşkın olaylar yıkıcı etkiye sahiptir. Dalga yüksekliği 30-40 m değere, dalga uzunluğu 150-200 km'ye ulaşabilmektedir. Oluştukları noktadan her alana doğru saatte 800 km hızla yayılabilen tsunamilerin etkisi azımsanamayacak kadar ciddi boyuttadır (Özdemir, 2016). Tsunamiler denize kıyısı olan bölgelerin özelliklerine göre farklı etkiler yaratabilmektedir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Dünya' da tsunami bölgeleri (Coğrafyacı, 2021)

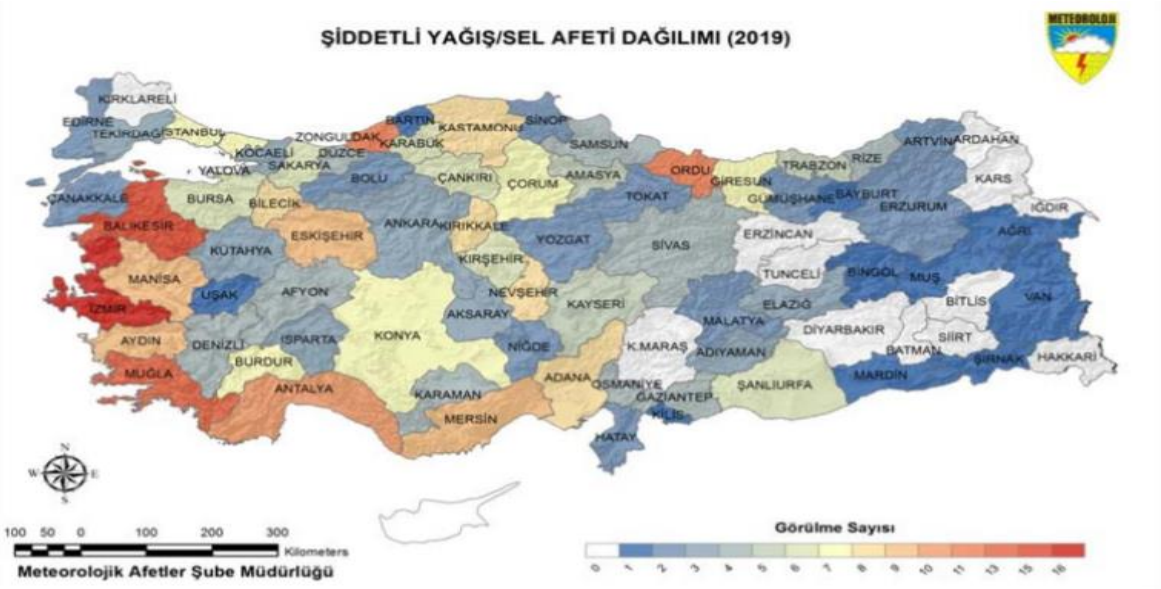
Dünya üzerindeki tsunami bölgeleri değerlendirildiğinde tsunaminin en fazla Büyük Okyanus' ta görüldüğü ve yüksek riskli bölge olarak tanımlandığı görülmektedir.

2.1.2. Meteorolojik doğal afetler

Sel/Taşkın

Suların yükselerek veya nehir yatağından taşması sonucu yüzeyleri kaplamasına sel denir. Taşkın ise bir akarsuyun, çeşitli sebeplerle yatağından taşarak çevresindeki arazilere,

yerleşim yerlerine, altyapı tesislerine ve canlılara zarar vermek suretiyle etki bölgesinde normal sosyoekonomik hayatı kesintiye uğratacak ölçüde bir akış büyüklüğü oluşturması olayıdır (Açıklamalı Afet Yönetimi Terimleri Sözlüğü, 2014). Sellerin temel faktörü yağış olsa da bölgenin jeolojik ve jeomorfolojik koşulları, yanlış arazi kullanımı, dere yataklarının yerleşime açılması gibi hidrolojik dengeyi bozan insan eylemleri tetiklemektedir. 1998-2017 tarihler arasında Dünya genelinde doğa kaynaklı afetlerden etkilenen insan sayısı %45'lik bir oranla sel afetlerinde yaşanmıştır (MGM, 2020). Can ve mal kayıpları açısından depremlerden sonra ikinci sırada su baskınları yer almaktadır (Gökçe, 2008). Ülkemiz konum itibariyle aynı anda 4 mevsim yaşanmasına olanak sağlamaktadır bu sebeple sel riski mevsimsel olarak farklı bölgelerde önem kazanabilmektedir. Sel afetinin görülme sıklığı düşen yağış miktarına göre farklılık göstermektedir (Şekil 2.3). Dünya üzerinde yaşanan seller mevsimlerin farklılığı sebebiyle dönem dönem ülkeler arası farklılık gösterebilmektedir (Resim 2.4).



Şekil 2.3. 2019 yılında Türkiye' de görülen sel dağılımı (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2021)

Ülkemizde yaşanan şiddetli yağış ve sel afeti dağılımı değerlendirildiğinde en fazla yağışın bölge bazında Ege ve Akdeniz kıyı kesimlerinde; il bazında İzmir, Balıkesir, Muğla'da Ordu ve Zonguldak'ta meydana geldiği görülmektedir (MGM, 2020).

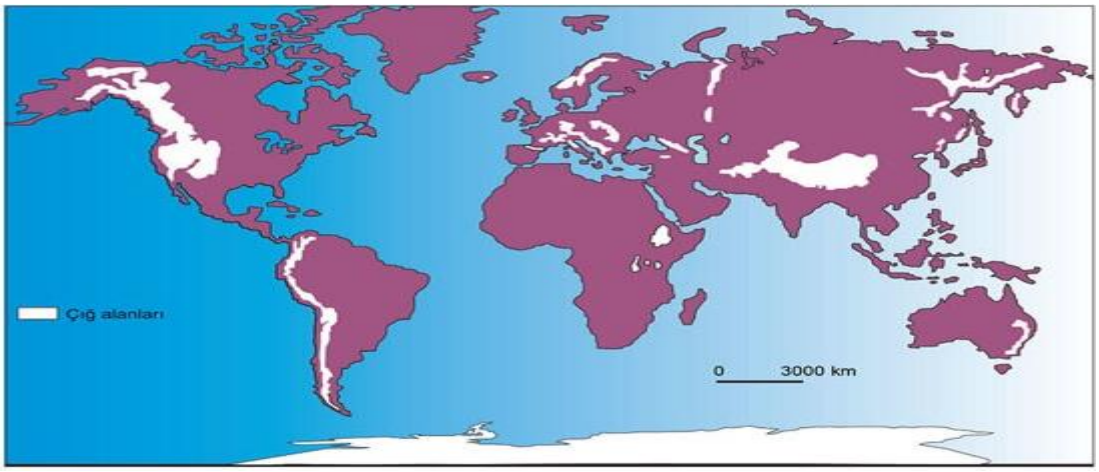


Resim 2.4. 24 Nisan tarihinde Dünya' da yaşanan sel haritası (Global Flood Monitor, 2021)

Dünya üzerinde meydana gelen sel olaylarını 2014 yılından bugüne Twitter üzerinden sel üzerine etkinliğin arttığı bölgelere göre algılayıp ve sınıflandıran Amsterdam VU Üniversitesi tarafından geliştirilen bir araç bulunmaktadır. Resim 2.4' te de görüldüğü üzere bu araç gün içerisinde algıladığı sel olaylarını harita üzerinde görselleştirmektedir. İlgili resimde 24 Nisan' da yaşanan seller gösterilmiştir.

Çığ

Çığ, kaygan yüzey üzerinde harekete geçen kar kütlesinin yapay ya da doğal unsurlarla engellenememesi sonucu oluşan afet tipidir. Kar yağışı bol yaşandığında, alttaki eski tabakayla iyi kaynaşamayan taze kar tabakasının rüzgarın kaldırması sonucu oluşan büyük bir kar kütlesinin alttaki kar tabakası üzerinde aşağı doğru hareketi sonucu veya kayakçı, hayvan gibi faktörlerin oynak kar tabakasını harekete geçirmesi ile çığ oluşabilir (AFAD, 2020). Dünya' da yüksek, engebeli ve yoğun kar yağışı yaşayan ülkeler bulundukları konum itibariyle farklılık gösterebilmektedir (Resim 2.5).

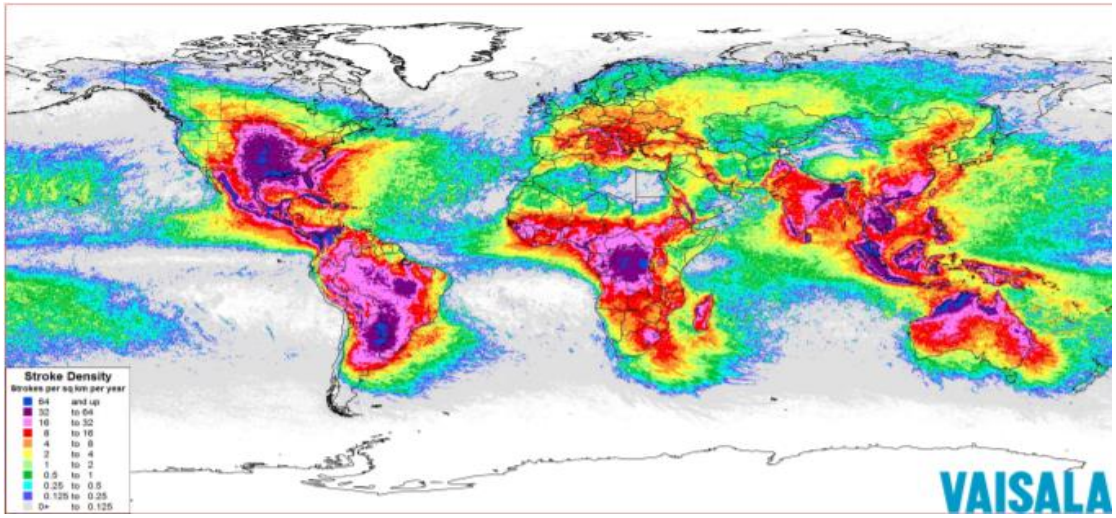


Resim 2.5. Dünya çığ haritası (Coğrafyalar, 2021)

Dünya' da Kuzey Amerika, Güney Amerika, Alp ve Himalaya Dağlarında çığ olaylarının daha fazla yaşandığı Resim 2.5' te görülmektedir.

Yıldırım

Bulut içinde, bulutlar arasında veya bulutla yer arasında meydana gelen ani yüksek voltajlı elektrik boşalması bir enerji aktarımı yıldırım olarak tanımlanabilir. Şiddetli fırtınalar, toz bulutları ve volkanik patlamalar yıldırımı tetikleyebilmektedir (Gökçekuş, 2018). Yıldırım oluştuğunda yapılara zarar verebilir, yangın sebep olabilir ve doğrudan temasla öldürebilir. Yıldırımın endüstriyel tesisle teması sonucu kontrol sistemlerinin ve elektrik devrelerinin bozulmasına, yanıcı buharların mevcut olması halinde alevlenmeye neden olabilmektedir. Endüstriyel tesislerin kurulum ve yerleşim aşamasında yıldırımın yoğun olduğu bölgelerin bilinmesi ve planlamaların ona göre yapılması meydana gelebilecek olumsuzlukların önüne geçebilecektir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. 2014 ile 2018 yılları arasında km^2 başına meydana gelen yıldırım yoğunluğu (The Weather Chanel, 2021)

2013-2017 yılları arasında 8,76 milyar yıldırım çarpması meydana geldiği bildirilmiştir; meydana gelen yıldırımların Doğu Hindistan, Bangladeş, Güneydoğu Asya, Batı Madagaskar, Avustralya, Demokratik Kongo Cumhuriyeti, Paraguay, Brezilya, Uruguay, Küba, Haiti gibi birçok noktada yoğunluk kazandığı görülmektedir.

Hortum

Kümülüs bulutları ile bağlantılı silindir şeklinde dönerek hareket eden bir büyük yıkıcı etkiye sahip rüzgar türü hortum olarak tanımlanır. Hortumlar birçok şekil ve boyutta bulunurlar ancak genelde huni şeklinde toprağa temas eden ve genellikle bir çöp ve toz bulutu tarafından çevrelenmiş şeklindedir. Hortumların rüzgâr hızı saatte 177 km/s, yaklaşık 80 m çapında olup birkaç mil ilerleyebilmektedir. Uygun yüzey ve yüksek atmosfer koşullarında şiddetli gök gürültülü fırtına beraberinde bir veya birden fazla hortum geliştiğinde afet boyutuna ulaşabilmektedir (Türkeş, 2019).

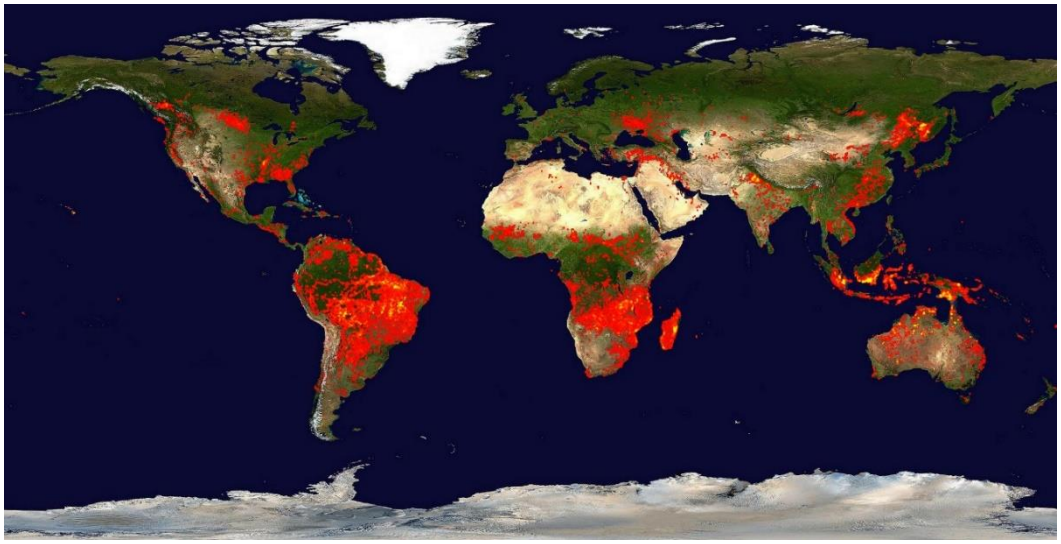


Şekil 2.5. 1 Ocak 2000-19 Şubat 2019 yılları arasında Türkiye'de oluşan hortum olaylarının alansal dağılış deseni (Türkeş, 2019)

19 yıllık süreçte yaşanan hortum olaylarının dağılış haritası incelendiğinde en fazla hortumun Antalya' da yaşandığı görülmektedir.

Orman Yangınları

Ormanlık alanlarda ağaçların özellikleri, arazi yapısı ve meteorolojik değerlere göre yayılmaya eğilimli, canlılar için tehlike yaratan yangın türü orman yangını olarak tanımlanabilir. Orman yangınları insan ve doğa kaynaklı çıkabilir. Kendi içinde tepe, örtü ve toprak yangını olarak üç kategoride incelenebilmektedir (TOD, 2020). Orman yangınlarında birincil ısı aktarım süreçleri; yönlendirme, radyasyon, doğrudan alev teması ve köz ve ateş tabancası gibi yanan katı materyalin taşınmasıdır. Orman yangınlarında yanan bitkisel malzeme sonucu karbonmonooksit açığa çıkmaktadır (Sullivan, 2017). Yangın bitki örtüsü, karbon döngüsü ve iklim dahil olmak üzere küresel ekosistemi etkiler. Orman yangınları iklim, sıcaklık ve konum itibariyle belirli zamanlarda belirli bölgelerde yaşanmaktadır (Resim 2.6).



Resim 2.6. 2015‘te hazırlanan Dünya orman yangınları haritası (NASA, 2021)

Resim 2.6’ da 2015 yılında hazırlanan orman yangınları haritası incelendiğinde en fazla ormanın yangınının Brezilya’ da yaşandığı görülmektedir.

2.2. Doğal Afetlerin Tetiklediği Teknolojik Kazalar (Natech)

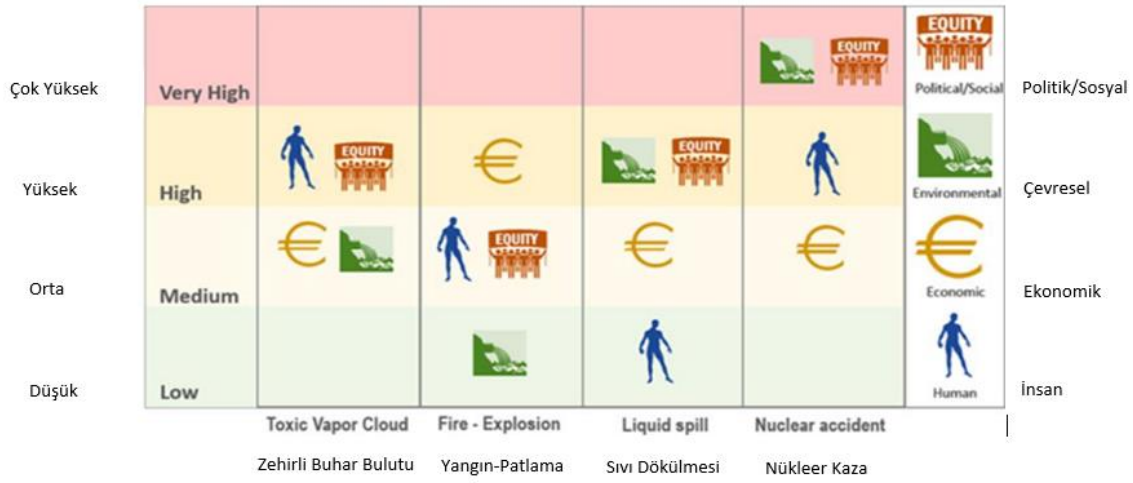
Dünyayı ve insan yaşamını doğrudan tehdit eden, tamamen doğal nedenlerle ortaya çıkan, toplumda fiziksel, ekonomik, sosyal ve psikolojik kayıplara neden olan olaylar doğal afet olarak tanımlanabilir. Doğal afetlerin meydana gelmesi büyük kazalara neden olabilecek tesisleri etkileyerek yangın, patlama ve toksik yayılıma sebebiyet verebilir. Bu kritik kazalar Natech olarak adlandırılmaktadır. Bu tehlikeli olayların bir veya daha fazla doğal olay olabileceği bir felaketin tetikleyici bir olayını üretmek için izole, eşzamanlı olarak veya zincir reaksiyonu ile ortaya çıkan iki veya daha fazla tehdit faktörünü ortaya çıkarabilmektedir. Doğal afetlerin sıklığındaki ve büyüklüğündeki artış Natech olaylarını arttırabileceği düşünülmekte, doğa afetler ile endüstriyel tesisler arasındaki etkileşimin incelenmesini önemli kılmaktadır. İlk kez 1970'lerin sonunda görülmeye başlanan bu olaylar son zamanlarda dünya çapında birçok ülkeyi etkilemiştir. Meydana gelen Natech olayları incelendiğinde çoğunu meteorolojik afetlerin tetiklediği görülmüştür. Kasırga, deprem ve selin/taşkının ciddi etkisi olduğu ortaya koyulmuştur. İklim değişikliği ve insani gelişmelerin Natech olaylarını arttırabileceği öngörülmektedir.

Natech' ler, doğal afetin coğrafi kapsamı, eşzamanlı toksik yayılım, acil durum personelinin doğal afete cevap verebilme kapasitesi, doğal afetin etkileri nedeniyle başarısız olan azaltma

önlemleri ve diğerleri nedeniyle acil müdahale görevlileri için zorluklar yaratmaktadır. Doğal afetler nedeniyle meydana gelen Natech sonucu toplumun ekonomik ve sosyal koşulları önemli ölçüde değiştirilebileceğinden iyileşme süreci kimyasal kazalardan çok daha zor olabilir. Natech' lere karşı potansiyel garantiler arasında daha sıkı tasarım kriterlerinin benimsenmesi, kimyasal süreç garantileri, topluluk arazi kullanım planlaması, afet azaltma ve müdahale planlaması ve sürdürülebilir endüstriyel süreçler yer alır (Steinberg, 2008).

Yeterli hazırlık, uygun acil durum planlaması ve etkili müdahale, önlenmesi ve sonuçların hafifletilmesi için çok önemlidir. Olası doğal bir felaket koşulları altında, sınırlı kaynaklar, azaltma önlemlerinin bulunmaması ve yeterli iletişim eksikliği, Natech' lerin yönetimini zorlaştırmaktadır. Atölye ortamlarında acil durum planlama risk azaltma, sanayi tesislerine Natech planlama, endüstriyel tesislerin yer seçimi sınırlamak için yasal bir araç olarak arazi kullanımı kısıtlamaları ve kullanımı planlama Natech özel eğitim ve bilinçlendirme kampanyaları, kamu katılımı da dahil olmak üzere Natech risk azaltma uzlaşma için beş anahtar strateji Natech yönetimini kolaylaştırmaktadır (Cruz, 2007).

Doğal ve teknolojik tehlikeler arasındaki sinerjik etkiler risk değerlendirmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Yapısal risk ve kontrol değerlendirmeleri tarafından desteklenen büyük gelişmelere rağmen yeni teknolojiler, malzemeler ve endüstriyel sistemlerde risk kontrol önlemleri pratikliği ve etkinliği zordur. Yüksek teknoloji sistemlerinde meydana gelen kazaların modern araştırmaları, insan sorunları ile felaket sonuçlarına yol açan büyük olaylar arasındaki bağlantıyı vurgulamaktadır. Mevcut teknoloji yönleri ve örgütsel bağlamla iç içe geçmiş insan davranış özelliklerinin anlaşılması, güvenlik ve güvenilirlik alanı için büyük önem taşıdığı ortaya koyulmuştur.



Şekil 2.6. Farklı sonuç türleri için sıralanmış maksimum potansiyel sosyo-ekonomik etki seviyeleri (EU, 2021)

2.3. Doğal Afetlerin Tetiklediği Teknolojik Kazalar ile İlgili Kaza /Afet Veri Tabanları

Veri tabanı; herhangi bir konuya ait bilgilerin bilgisayar ortamına düzenli şekilde işleyerek kaynak oluşturulmasını, sonrasında istenildiği zaman bu bilgilere hızlı ve kolay erişimi sağlar (Duman, 2018).

Teknolojik gelişmeler insanlar için kolaylık sağlamanın yanında insanlar için tehlike ve risk yaratmaktadır. Teknolojik gelişmeler sonucu endüstriyel tesislerde kullanılan malzeme, materyal ve teçhizatlar değişime uğramış ve sistemler kompleks bir hal almıştır. Doğal afetler sonucu endüstriyel tesislerde meydana gelecek patlama, toksik yayılım ve yangın olarak ortaya çıkabilecek teknolojik kazalar meydana geldiğinde sadece yerelde değil, ulusal boyutta dahi geniş etki yaratabilecek kapasiteye sahiptir (Özeyranlı Ergenç, 2016).

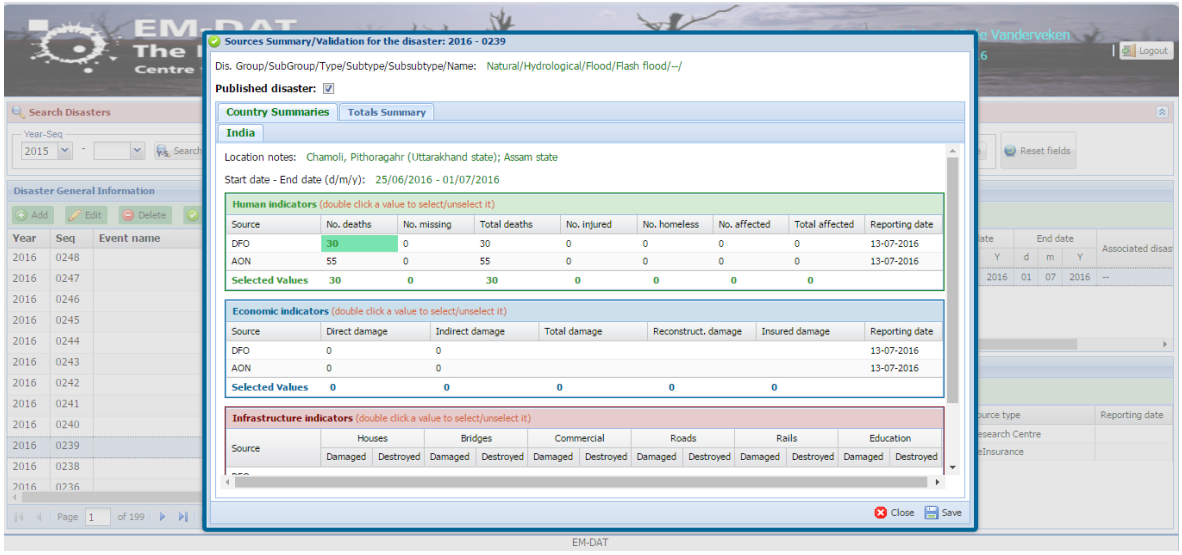
Gelecekte yaşanacak teknolojik kazalara karşı etkili önlemleri alıp riski minimize edebilmek için veri tabanına işlenmiş daha önce meydana gelen kazaların etkileri, kaza sonrası deneyimler ve önlemlerin yeterliliği bilinmelidir. Bu veri akışını sağlayacak ülkemizde ve diğer ülkelerde Natech istatistiklerini değerlendirebileceğimiz afet veri tabanları bulunmaktadır. Bahse konu veri tabaları bu başlık altında ele alınacaktır.

Uluslararası Afet Veri Tabanı (EM-DAT/The International Disasters Database)

EM-DAT 1988 yılında Dünya Sağlık Örgütü ve Belçika hükümeti Afet Epidemiyolojisi Araştırma Merkezi (CRED) tarafından başlatılmıştır. Brüksel'de bulunan Université Catholique de Louvain' de Afet Epidemiyolojisi Araştırma Merkezi (CRED) tarafından sürdürülmektedir.

EM-DAT, 1900'den beri dünyadaki 18.000'den fazla afetin oluşumu ve etkileri hakkında verileri içermekte; veriler kurum ve kuruluşlar gibi çeşitli kaynaklardan derlenmektedir (Duman, 2018). 10 ve daha fazla kişinin ölmesi, 100 ve daha fazla kişinin etkilenmesi, uluslararası yardım çağrısı yapılması ve olağanüstü hal ilan edilmesi gibi kriterlerden en az birine sahip afetlere yer verilmiştir. EM-DAT, afetlerin etkilerini ölen ve yaralanan insan sayısı, ekonomik hasar ve afete özel uluslararası yardım verilerini sunmaktadır. Veri tabanı, ulusal ve uluslararası düzeylerde insani yardım faaliyetlerinin amaçlarına hizmet etmeyi, afete hazırlık için karar vermeyi rasyonelleştirmeyi, savunmasızlığın değerlendirmesi ve öncelik belirleme için nesnel bir temel sağlamayı amaçlamaktadır (Özeyranlı Ergenç, 2016).

Meydana gelen birkaç ülkeyi etkilemişse, etkilenen tüm ülkelerin veri tabanına bilgiler girilir ve hepsi için tanımlayıcı olmaktadır. Veriler günlük olarak güncellemekte ve herkesin erişebileceği bilgiler doğrulandıktan sonra 3 ayda bir güncellenmektedir (EM-DAT, 2021). EM-DAT sisteminden afet doğrulama penceresi Resim 2.7' de verilmiştir.

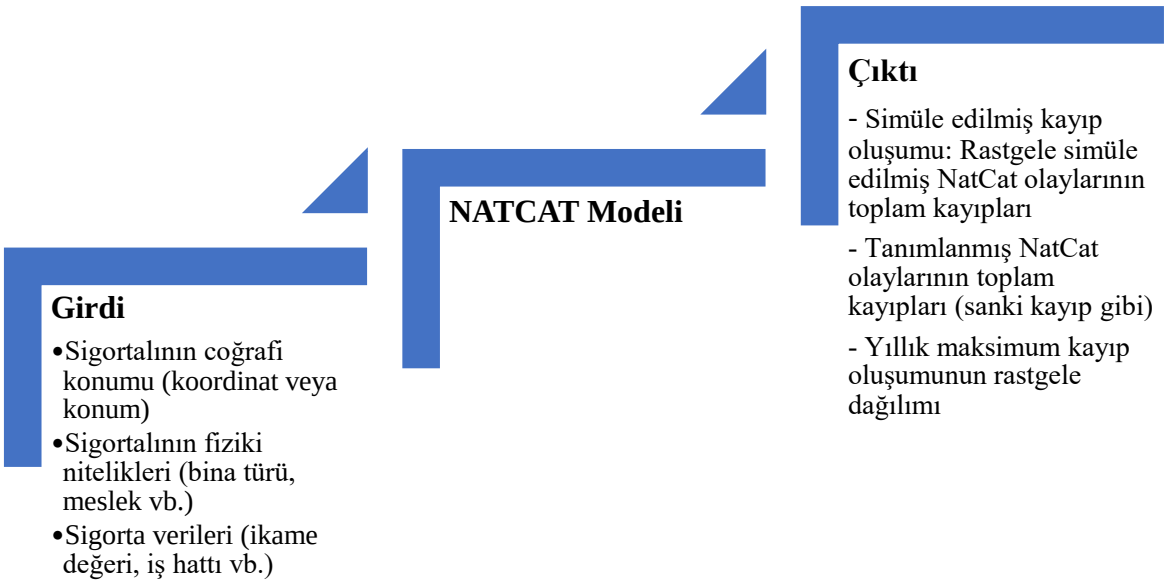


Resim 2.7. EM-DAT afet doğrulama penceresi (EM-DAT, 2021)

Doğal Afet Kaybı Veri Tabanı (NatCatSERVICE)

Munich Sigorta bünyesinde geliştirilen NatCatSERVICE, doğal afetlerden kaynaklanan kayıpları analiz edilmesi ve değerlendirmesini sağlayan dünyanın en geniş veri tabanlarından biridir. Veri tabanını oluşturmak için Munich Sigorta, dünya çapındaki kayıplar hakkındaki tüm önemli bilgileri sistematik olarak kaydetmektedir (Raschke, 2019). Natcat bünyesinde 30.000'den fazla afet verisinin bulunmakta ve takribi yılda 800-1000 adet veri girilmektedir. Veri tabanına girilen tüm olaylar, can veya mal kaybı yaratmış olaylar olup felaket derecesine göre tanımlanmaktadır. NatCat afetleri jeolojik, meteorolojik ve hidrolojik ve klimatolojik olarak dört gruba ayırmıştır. Afetler 0 ile 6 arasında ölçeklendirilir. Afet sınıfı 0 mali ve insan kaybı olmayan doğal olaylardan oluşur. Afet sınıfı 5 ve 6 büyük ve yıkıcı doğal afetler için tanımlayıcıdır (NatCatSERVICE, 2021). Dünya çapındaki kayıp eğilimleri belirlenirken veriler tarih, olay türü, coğrafi kodlama gücü, meteorolojik değerler, oluşturduğu kayıp ve sigorta gibi ayrıntılarla işlenmektedir (Ergenç, 2016).

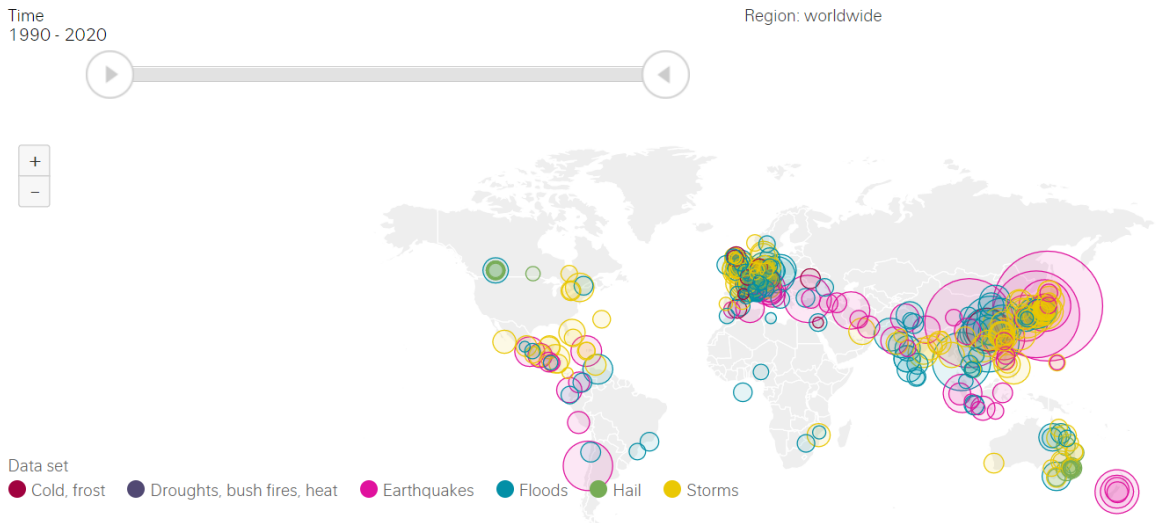
NatCat analizde uzun süre edinilen deneyim ve doğal afetler nedeniyle kayıp olaylarının değerlendirilmesi, özelleştirilmiş sigorta çözümleri, karar alma süreçleri ve araştırmacılar tarafından veri kaynağı sağlaması açısından önemli bir yere sahiptir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. NatCat modelinin uygulama şeması (Raschke, 2019)

Sigma Explorer

Swiss-Re şirketi tarafından geliştirilen Sigma veri tabanı, 1970'ten bu yana veri kaynağı oluşturmaktadır. Veri tabanının; 20 veya daha fazla can kaybı, 50 veya daha fazla yaralı, 2.000 evsiz, 16,6 milyon $ veya daha fazla nakliye kaybı, 33,1 milyon $ veya daha fazla havayolu kaybı, 41,1 milyon veya daha fazla diğer kayıplar ve 82,2 milyon $ toplam kayıp olması şeklinde kriterleri vardır (Özeyranlı Ergenç, 2016). Veri tabanı üzerinde meydana gelen afetlerin her biri için renk tanımlanmış olup belirlenen tarihler arasında gerçekleşen afetler Dünya haritası üzerinde gösterilmektedir (Resim 2.8).



Resim 2.8. Sigma Explorer 1990-2020 yılları arasında Dünya' da meydana gelen afetler (Sigma Explorer, 2021)

Afet Yönetim Bilgi Sistemi (DesInventar/Disaster Information Management System)

Birleşmiş Milletler Afet Riskini Azaltma Ofisi UNDRR tarafından geliştirilen Afet Yönetim Bilgi Sistemi (DesInventar) doğal afetlerle ilişkili afetlerden kaynaklanan kayıplarla ilgili verilerin sistematik olarak toplanması, belgelenmesi ve analizi için düzenlenen bir sistemdir. Elde edilen veriler afet eğilimlerinin ve etkilerinin daha iyi analiz edilmesini ve planlamaların daha etkili olmasına destek sağlar (DesInventar, 2021).

Veri tabanında analizler iki aşamada yapılmaktadır. Yönetim ve Veri Giriş modülü; veri tabanının önceden tanımlanmış alanların (uzay ve zamansal veriler, olay türleri ve nedenleri, kaynaklar) doldurulmasıyla doğrudan ve dolaylı etki ettiği ölümler, evler, altyapı, ekonomik

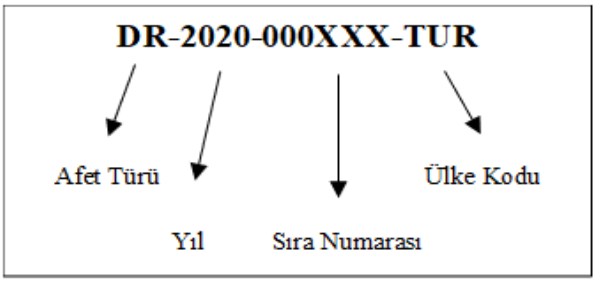
sektörler gibi yapısal faktörlerle ilişkisini incelemektedir. Analiz modülü; çeşitli etki değişkenleri, olay türleri, nedenler, tarihler vb. arasındaki ilişkileri içeren veri tabanına erişimi sağlar. Analiz sonuçlarını tablo, grafik ve haritalarla sunulmasını sağlamaktadır (DesInventar, 2021).

Global IDEntifier Numarası (GLIDE/ Global unique disaster IDEntifier number)

Asya Afet Azaltma Merkezi (Asian Disaster Reduction Center- ADRC) tarafından her bir afete ait ortak küresel kimlik kod (id) önerilmiş ve birçok kuruluşun desteğiyle GLIDE sistemi oluşturulmuştur. EM-DAT kriterlerine uyan her bir afet için 2002-2003 yıllarında haftalık olarak GLIDE numarası yayınlanmış, 2004 yılı ve sonrasında otomatik GLIDE numarası üretici sayesinde her bir afet için otomatik GLIDE numarası üretilmiştir. Üretilen numaralama sisteminde afet, afet yılı, ilgili yıla göre afetin sıra numarası, ülke kodu belirtmektedir (Duman, 2018). GLIDE afet kodları ve açıklamaları Şekil 2.8' de, GLIDE kod örneği Şekil 2.9' da verilmiştir.

Afet Kodu	Afet Kod Açıklaması
VW	Şiddetli rüzgar
ST	Şiddetli yerel fırtına
FL	Sel
FF	Ani Sel
LS	Yer kayması/Heyelan
AV	Çığ düşmesi
MS	Çamur kayması
VO	Volkan eriyiği
EQ	Deprem
FR	Yangın
TS	Tsunami
SS	Yıldırım düşmesi
EP	Salgın hastalık
IN	Hayvan kaynaklı salgın
WF	Orman yangını
OT	Diğer afetler
CE	Karmaşık afet
AC	Teknolojik kaynaklı afet
DR	Kuraklık
HW	Sıcak hava dalgası
CW	Soğuk hava dalgası
TC	Tropikal hortum
EC	Büyük tropikal hortum

Şekil 2.8. GLIDE afet kodları (Duman, 2018)



Şekil 2.9. GLIDE kod örneği

Kanada Afet Veri Tabanı (CDD/Canadian Disaster Database)

1900'den beri yurtiçinde veya yurtdışında meydana gelen ve Kanadalıları doğrudan etkileyen 1.000'den fazla teknolojik, doğal ve savaş hariç çatışma olayına ait ayrıntılı afet bilgilerini içeren veri tabanıdır. Bu veri tabanı 10 veya daha fazla kişinin ölmesi, 100 veya daha fazla etkilenen, yaralanan, tahliye edilmiş veya evsiz kalmış kişi olması durumu, normal yaşamın zarara uğraması ve toplumun kendi kendini iyileştirememesi afet kriterlerini karşılamaktadır. Bir afetin nerede ve ne zaman meydana geldiği, yaralanma, tahliye ve ölümlerin sayısı, maliyet tahminini jeo-uzamsal ve standart tablo şeklinde sunmaktadır. Veri tabanı verileri 6 aylık süreyle güncellenmektedir (CDD, 2021). Kanada Afet Veri Tabanı sayfasında afet verilerinin toplanıp sunulduğu pencere Resim 2.9' da verilmiştir.

New Search | Modify Search | Export Data | Printer Friendly | Map and Table

13 results returned

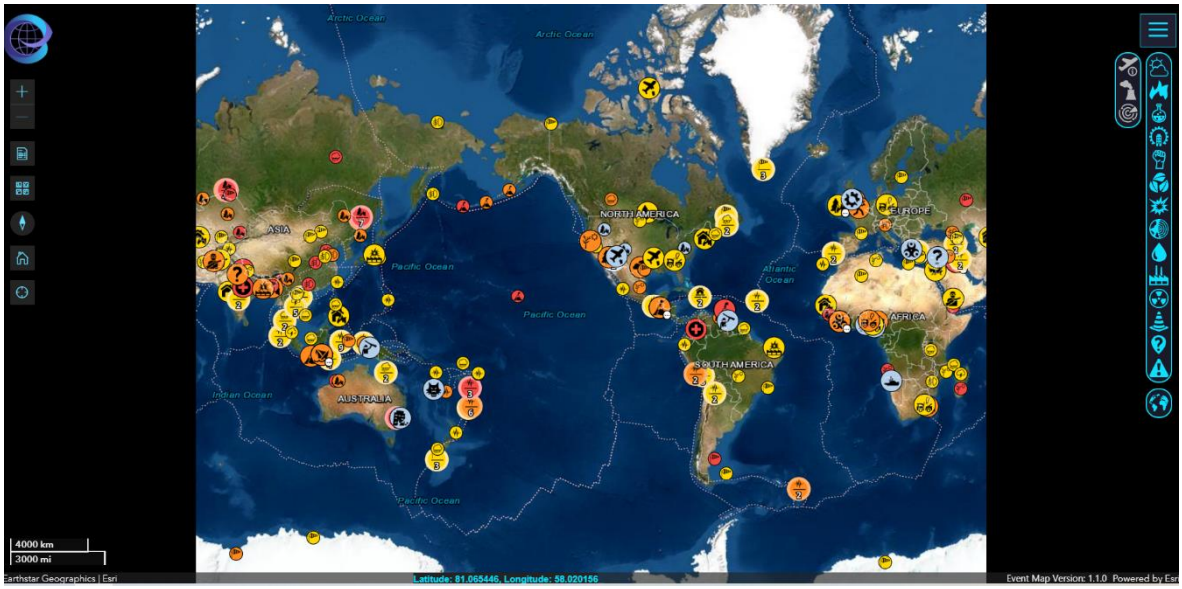
Results per page 10

	Event Type	Place	Event Start Date	Fatalities	Injured / Infected	Evacuated	Estimated Total Cost
	Geological: Earthquake	Nepal	April 25, 2015	2	Unknown	450	$5,000,000
	Geological: Earthquake	Japan	March 11, 2011	1	Unknown	Unknown	Unknown
	Civil Incident: Disturbance / Demonstrations	Libya	February 15, 2011	Unknown	Unknown	203	Unknown
	Geological: Volcano	Eyjafjallaj?kull glacier, Iceland	April 14, 2010	0	0	1200	Unknown
	Geological: Earthquake	Port-au-Prince, Haiti	January 12, 2010	58	31	4620	$750,000,000
	Biological: Pandemic	Across Canada	April 1, 2009	425	8582	0	Unknown
	Geological: Tsunami	East Indian Ocean	December 26, 2004	20	Unknown	Unknown	Unknown
	Infrastructure failure: Energy	Ontario, Midwest and Northeast USA	August 14, 2003	Unknown	Unknown	Unknown	Unknown
	Hijacking:	New York City, NY, U.S.A.	September 11, 2001	24	Unknown	Unknown	Unknown

Resim 2.9. Uluslararası yaşanan afet verilerinin tablo şeklinde görünümü (CDD, 2021)

Acil Durum ve Afet Bilgi Servisi (EDIS/Emergency and Disaster Information Service)

Macaristan Ulusal Radyo Tehlike Sinyalizasyon ve Bilgi İletişimi Derneği (RSOE), dünyadaki acil durum veya afetlere neden olabilecek olayları izlemek, belgelemek, analiz etmek ve bilgi sunmak amacıyla Acil Durum ve Afet Bilgi Servisi'ni (EDIS) işletmektedir. Veri elde etmek için çeşitli kuruluş verilerinin takibi sağlanmaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) verilere dayalı olayların önem ve etki analizi, geçmiş verilere API erişim, zaman aralığı ve konum alanı filtreleyerek geçmiş verilere API erişimi sağlamaktadır (EDIS, 2021). Resim 2.10' da uygulama üzerinde meydana gelen olayların sembollerle harita üzerinde gösteriminden bir kesit sunulmuştur.



Resim 2.10. EDIS olay haritası (EDIS, 2021)

Teknolojik Kazalar Bilgi Sistemi

2009 yılı mayıs ayında Özeyranlı Ergenç' e ait ODTÜ'de ki doktora tezi kapsamında geliştirilen Teknolojik Kazalar Bilgi Sistemi Türkiye'de yaşanmış olan endüstriyel kazalar için ilk kez bir envanter oluşturmuştur. Bu çalışmanın amacı endüstriyel kazalar ile ilgili temel kaynak oluşturmak, yaşanmış tecrübelerin aktarımı ve paylaşımının sağlanmasıdır. Sistem için belirlenen tek ölçüt; endüstriyel veya diğer teknolojik kazalar sırasında meydana gelen maddi hasar veya can kaybı yaşanmasıdır (Özeyranlı Ergenç, 2016). Sistem üzerinde bu verilerin ve kriterlerin nasıl gösterildiği Resim 2.11' de gösterilmiştir.

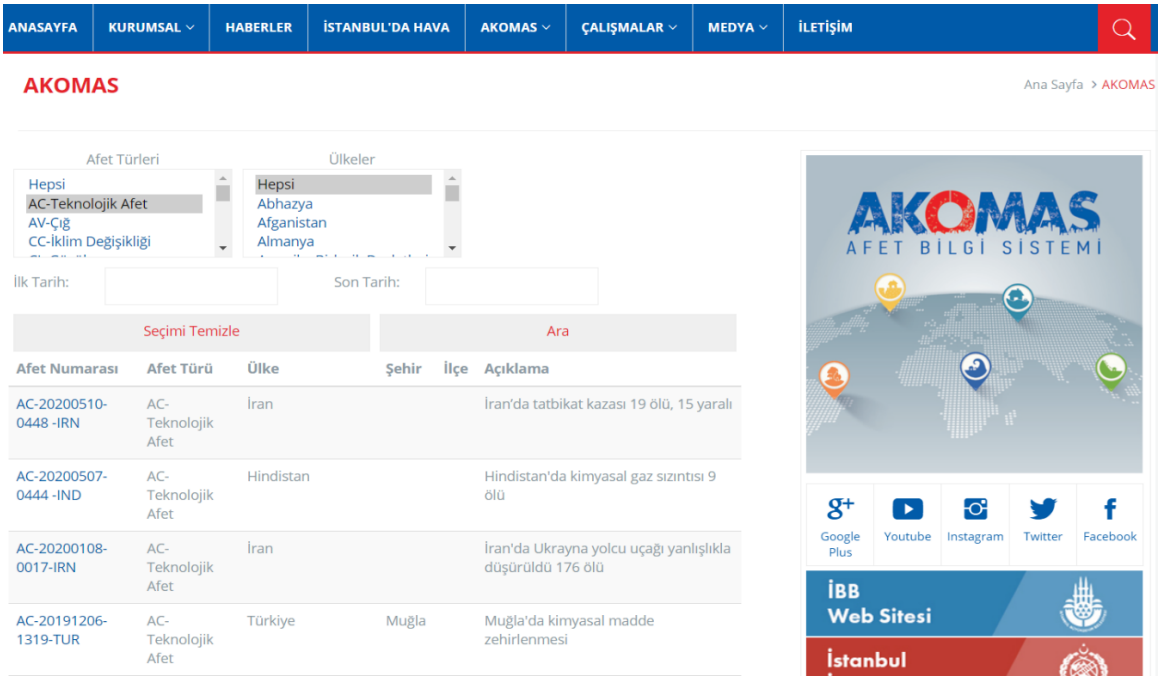
Verilerin toplanması için çeşitli ulusal medya kuruluşlarının RSS kanallarından faydalanılmaktadır. Haber takip robotu yarım saatte bir RSS kanallarını tarayıp yeni haberleri toplamakta ve belirlenmiş özel anahtar kelimelere göre sınıflandırmaktadır. Gün sonunda belirlenen haberler operatör kontrolünden geçmekte ve bilgi sisteminin ilgi alanına girenler nihai olarak sınıflandırılarak arşivlenmektedir.



Resim 2.11. Teknolojik Kazalar Bilgi Sistemi/2005-2019 yılları arasında yaşanan kazaların istatistikleri (Teknolojik Kazalar Bilgi Sistemi, 2021)

Afet Bilgi Sistemi (AKOMAS)

12 Aralık 2000 tarihinde İstanbul Büyükşehir Belediyesi Meclis Kararı ile kurulan AKOMAS, Afet Koordinasyon Merkezi (AKOM) ve İtfaiye Daire Bakanlığı ile koordineli olarak yönetilmektedir. AKOM Afet Bilgi Sistemi (AKOMAS); dünyada ve ülkemizde meydana gelen doğal, insan kaynaklı ve teknolojik her tür afetle ilgiyi bilgi sağlamayı, araştırmacılara istatistiksel ve görsel verilerle mevcut bilgilerin paylaşımını sağlamayı amaç edinmiştir. Afet bilgileri afet numarası, afet türü, ülke, şehir, ilçe ve açıklama şeklinde verilmektedir. İstenilen veriye ulaşmak için arama motorunda afet türü, ülke ve tarih aralığı seçilebilmektedir (AKOMAS, 2021).



Resim 2.12. AKOMAS sorgu penceresi (AKOMAS, 2021)

Türkiye Afet Bilgi Bankası (TABB)

Afetlere hazırlıklı olma ve afetlerin olası zararlarının azaltılması için bütün kaynakların bir arada bulunabilmesini, geçmiş afet verilerinin analiz edilebilmesini, doğal ve teknolojik afetler konusunda mevcut çalışmaların daha da geliştirilmesini amaçlayan bir sistemdir. Yerel yönetimler, üniversiteler, sivil toplum kuruluşları, kamu kurum ve kuruluşları gibi farklı yapılarda hazırlanmasına rağmen kullanıcıların erişim sağlayamadığı dokümanları kullanılabilir hale getirerek erişim kolaylığı TABB tarafından sağlanmıştır.

TABB sisteminde, Doküman ve Analiz olarak 2 modül bulunmaktadır. Analiz Modülü için; TUAA (Türkiye Ulusal Afet Arşivi)'da bulunan afetlere ait veri kaynakları değerlendirilerek, istatistik modülleri ve grafik çizdirme seçeneklerine sahip yapıyla beraber portal genişletilmiştir. Doküman Modülü için; kurumlarda, kütüphanelerde ve kişilerde bulunan elektronik ortamdaki yayınlar yüklenip, elektronik ortamda yer almayan bilgi kaynaklarının konumu ve erişim adresi gösterilerek arşivden bulunabilmesi sağlanmıştır. Bu sayede bilgi kaynağı için doküman modülü, istatistiksel veriler için analiz modülü araştırmacılar tarafından tercih edebilecektir (AFAD, 2021).

Kullanıcıların proje bitimine kadar test yayını olarak kullanılacak sistemine ulaşabilmeleri, proje bitiminde dokümanları indirebilmeleri sağlanacaktır.

2.4. Afetler/Natech ile İlgili Önemli Kurum ve Organizasyonlar

2.4.1. Uluslararası kurum ve organizasyonlar

Birleşmiş Milletler (BM)

Birleşmiş Milletler dahilinde afet durumunda hazırlık ve müdahale başlangıçta BM İnsani Yardım Koordinasyon Ofisi (OCHA) tarafından koordine edilmiştir. BM OCHA' nın 1. odak noktası etkilenenlerle iş birliği içinde afetten sonra büyük ölçekli uluslararası yardım faaliyetlerini koordine etmektir. BM OCHA içerisinde koordinasyon yapıları bulunmakta ve en spesifik olanı BM Afet Değerlendirmesi ve Koordinasyonu (UNDAC)'tır. BM OCHA, özellikle, BM Uluslararası Arama ve Kurtarma Danışma Grubu (UN INSARAG) ve Yerinde Operasyonlar Koordinasyon Merkezi (OSOCC) gibi yardımcı mekanizmalar tarafından BM sınıflandırılmış USAR ekiplerinin konuşlandırılmasını koordine eder. Ülkeler, AB dışından alınan yardımların koordinasyonunun BM tarafından yürütülmesi konusunda anlaşmışlardır (Infopunt Veiligheid).

BM OCHA, "küme" yaklaşımı yardımıyla Kurumlar Arası Daimi Komite (IASC) tarafından diğer STK'lar tarafından verilen insani yardımların koordinasyonunda da önemli bir rol oynamaktadır.

UNDP, UN ISDR ve UN OCHA' nın (küme yaklaşımına dahil edilmiş) yanı sıra, belirli bir afet veya kriz durumunda Birleşmiş Milletler Mülteciler Yüksek Komiserliği (UNHCR), Dünya Gıda Programı (WFP) veya Dünya Sağlık Örgütü (WHO) gibi diğer kuruluşlarda rol oynamaktadır.

Kuzey Atlantik Anlaşması Örgütü

BM' nin yanında Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü son yıllarda askeri savunma organizasyonu olarak öne çıkmış olsa da kriz yönetimi alanında uluslararası bir aktördür. Kriz durumlarında uluslararası destek ve koordinasyon sağlamaktadırlar. Ancak, ülkeler kriz

durumunda insani sorunları çözmek için herhangi bir askeri NATO desteği almamayı tercih etmektedirler. NATO bünyesinde Avrupa-Atlantik Afet Müdahale Koordinasyon Merkezi (EADRCC) bulunmaktadır. EADRCC' nin amacı, olası bir durumda NATO desteğini kolaylaştırmak ve koordine etmektir. Bunu uygun şekilde yürürlüğe koymak için, EADRCC, BM ile yakın bağlarını sürdürmektedir (Infopunt Veiligheid).

Uluslararası Kızılhaç ve Kızılay Dernekleri Federasyonu (IFRC)

Uluslararası Kızılhaç ve Kızılay Dernekleri Federasyonu (IFRC) tüm tanınmış ulusal Kızılhaç Derneklerinin koordinasyon organıdır. IFRC' nin merkezi de Cenevre olup 1919'da kurulmuştur. Federasyon ulusal derneklere yardımcı olarak büyük afetlerin önlenmesine ve güçlü bir organizasyon oluşturmalarına katkı sağlamaktadır. Kızılhaç, ihtiyacı olan insanlara tarafsız yardımın sembolüdür (Infopunt Veiligheid).

Ekonomik İş Birliği ve Kalkınma Örgütü (OECD)

Asya, Avrupa, Pasifik, Kuzey ve Güney Amerika bölgesinde sanayileşmiş 36 ülkeye ait temsilcilerin yanında Avrupa Komisyonu'nun koordinasyon ve koordinasyon için bir araya geldiği hükümetler arası bir organizasyondur. Temsilciler uluslararası standartlar oluşturmak ve bir dizi sosyal, ekonomik ve çevresel zorluklara çözümler bulmak için çalışmaktadır. Yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğu üye olan ülke delegelerinin oluşturduğu 200'den fazla uzman komite ve çalışma grubu tarafından yürütülmektedir. Ayrıca özel statüsü olan çeşitli ülkeler ve ilgili uluslararası kuruluşlar OECD tarafından düzenlenen çalıştay ve diğer toplantılara gözlemci katılımı sağlamaktadır. Komitelere ve çalışma gruplarına, müdürlükler ve bölümler halinde organize edilmiş olan, Paris, Fransa'da bulunan OECD Sekreterliği hizmet vermektedir.

Çevre, Sağlık ve Güvenlik Bölümü; Test ve Değerlendirme, Pestisitler, İyi Laboratuvar Uygulamaları ve Uygunluk İzleme, Risk Yönetimi, Biyositler, Biyoteknolojide Düzenleyici Gözetimin Uyumlaştırılması, Kimyasal Kazalar, Emisyon Senaryosu Belgeleri, Yeni Gıdaların ve Yemlerin Güvenliği, Kirletici Salım ve Transfer Kayıtları ve Üretilen Nano Malzemelerin Güvenliği olmak üzere 11farklı alanda ücretsiz doküman sağlamaktadır (OECD, 2020).

Avrupa Komisyonu (EU)

Avrupa Birliği'nin yürütme organı olarak idari denetim ve programı uygulama sorumluluğuna sahip olan kurum üye olan her devletten bir kişinin bulunduğu 27 üyeden oluşmaktadır. Bir veya birden fazla AB politikasının yürütülmesinden sorumlu olan üyeler (komiser) dışında idari teşkilatta 25.000 kişi Avrupa Birliği görevlisi yer almaktadır.

Avrupa Komisyonu'nun bilim ve bilgi hizmeti olan Ortak Araştırma Merkezi (JRC), AB politikasına bağımsız bilimsel tavsiye ve destek sağlamak amacıyla araştırma yapmak için bilim adamlarını istihdam etmektedir.

Karayipler Acil Afet Durum Yönetimi Ajansı (CDEMA)

1991 yılında yardım ihtiyacı olan ülkelerin yardım ve acil durum müdahalesi koordinasyonunu sağlamak için kurulan CDERA (Karayip Afet Acil Durum Müdahale Ajansı) Kapsamlı Afet Yönetimi (CDM) ilkelerini ve uygulamasını benimsemek amacıyla 2009' da CDEMA' ya geçiş yapılmıştır. CDEMA Anguilla, Cayman Adaları, Barbados, Dominika Topluluğu, Antigua ve Barbuda, Bahamalar Topluluğu, Belize, Grenada, Haiti, Guyana Cumhuriyeti, Jamaika, St. Kitts & Nevis, St. Vincent ve Grenadinler, Saint Lucia, Surinam, Trinidad ve Tobago Cumhuriyeti, Montserrat, Turks ve Caicos Adaları ve Virgin Adaları olmak üzere 19 katılımcı ülkeden oluşmaktadır. 2009'dan beri CDEMA; tüm Katılımcı Devletlerde Kapsamlı Afet Yönetiminin (CDM) geliştirilmesi ve mühendisliği için kolaylaştırıcı, sürücü, koordinatör ve motive edici güç olarak rolünü tam olarak üstlenmek için bölgesel afet yönetimi organını daha stratejik bir şekilde konumlandıracak şekilde genişlemeyi görev edinmiştir (CDEMA, 2021).

2.4.2. Ulusal kurum ve organizasyonlar

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı

Ülkemizin topografik, sismik, tektonik ve iklimsel yapısı başta deprem olmak üzere birçok afete davetiye çıkarmaktadır. Ülkemizde her yıl ortalama 5-6 büyüklüğünde en az bir deprem yaşanmaktadır. Depremlerde yaşanan can kaybı yönünden ülkemiz dünyada 3., etkilenen insan sayısı yönünden 8. sırada yer almaktadır.

Ülkemizde doğal afetlere ilişkin politikalar; 1939 Erzincan Depremi ile geliştirilmeye çalışılması, 1959' da 7269 sayılı "Umumi Hayata Müessir Afetler Dolayısıyla Alınacak Tedbirlerle Yapılacak Yardımlara Dair Kanun" un çıkarılmasıyla afetlerle ilgili yasal boşluk giderilmeye çalışılması, 1988' de devletin tüm imkanlarının afet bölgesine en hızlı şekilde ulaştırılması ve etkin müdahalenin yapılması amacıyla "Afetlere İlişkin Acil Yardım Teşkilatı ve Planlama Esaslarına Dair Yönetmelik" çıkarılmasıdır.

1999 Marmara Depremi' nde yaşanan büyük can kayıpları ve hasarlar ülkemizin afet yönetimi anlamında yetersiz kaldığı sonucunu ortaya koymuştur. Ülkemizin afet yönetimi anlamında dönüm notası olarak kabul edilen 1999 depreminin ardından afet ve acil durumlarda kurum ve kuruluşlar arası koordinasyon sağlanması, yetki ve sorumlulukların tanımlanması zorunlu hale gelmiş ve Başbakanlığa bağlı Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı (AFAD) kurulmuştur. Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı' nın kurulmasıyla afet ve acil durumlarda yetki ve sorumluluğun tek çatı altında toplanmıştır. Cumhurbaşkanlığı Hükümet Sistemi ile 15 Temmuz 2018' de yayınlanan 4 Nolu Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi ile Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı İçişleri Bakanlığına bağlanmıştır (AFAD, 2021).

Risk ve kriz yönetimini içeren afet yönetim döngüsünü benimseyen Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), afet öncesi planlama ve zarar azaltma, hazırlık çalışmaları, afet meydana geldiğinde kaynakların etkin kullanılarak hızlı ve etkin müdahalenin yapılması, afet sonrasında iyileştirme çalışmaları ile toplumun yeniden inşası amacı doğrultusunda Türkiye Afet Müdahale Planı' nda yer alan birçok kurum ve kuruluşla bir arada çalışmaktadır. Ulusal ve uluslararası operasyonlar yürüten AFAD bünyesinde illerde doğrudan valiye bağlı İl Afet ve Acil Durum Müdürlükleri ve 11 ilde bulunan Afet ve Acil Durum Arama ve Kurtarma Birlik Müdürlükleri bulunmaktadır (AFAD, 2021).

Kızılay

Olağan dönemde ve afetlerde ihtiyaç sahipleri insanlara ve savunmasız ihtiyaç sahibi ve savunmasız bireylere yardım etmek, güvenli kan sağlama ve yardımlaşmayı geliştirmek ve zarar görebilirliği azaltmak misyonuna sahip bir sivil toplum kuruluşudur. Kızılay; ayrım gözetmemek, hayır kurumu niteliği, insanlık, tarafsızlık, ayrım gözetmemek, bağımsızlık,

birlik ve evrensellik ilkelerini Uluslararası Kızılay-Kızılhaç Topluluğu ile ortak paylaşmaktadır (Kızılay, 2021).

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı

Çalışma hayatının düzenlenmesi ve denetlenmesi, nitelikli insan kaynağının sağlanması, istihdam oranının arttırılmasını, iş sağlığı ve güvenliği kültürünün geliştirilmesi, sosyal güvenlik tedbirlerinin alınması görevini üstlenen bakanlıktır (ÇSGB, 2021). Bu görevlerin yanında iş istatistiklerini derleyip yayınlamakta, işyerlerinde koruyucu-önleyici tedbirlerin alınmasını, eğitim ve sertifikalandırmayı sağlamaktadır.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı

2011 yılında kurulan Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevreyi korumak, sürdürülebilir şehirler oluşturmak için yapıların güvenli inşası ve kentsel dönüşüm için planlar yapan, çevre kirliliğini önleyen, afetlerden önce ve sonra gerekli tedbirleri alan, yerelde gerekli ilişkileri düzenleyen, taşınmazları yöneten denetleyici ve düzenleyici bakanlıktır (ÇSB, 2021).

2.5. Doğal Afetlerin Tetiklediği Teknolojik Kaza (Natech) Örnekleri

2.5.1. Ülkemizde yaşanan Natech kazaları

Kocaeli depremi – 17.08.1999

- Türkiye Petrol Rafinerileri A.Ş. / TÜPRAŞ İzmit rafinerisi yangını

Yılda yaklaşık 12 milyon ton üretim yapan bölgenin en büyük rafinerisi olan TÜPRAŞ tesisinde ağır hasar meydana gelmiştir. Deprem işleme, depolama, hizmet birimlerine ve ham petrolle ilişkili tank sahasında önemli yapısal hasarlar meydana gelmiştir. Depremden kısa bir süre sonra rafinerinin üç farklı yerinde aynı anda yangınlar başlamıştır. Su tankının da depremden hasar görmesiyle yangınla mücadele faaliyetleri yaklaşık 36 000 m^3 lük su deposuyla sınırlı kalmış ve müdahale zorlaşmıştır. Kimya deposunda başlayan ilk yangın raflarda depolanan malzemeler yere düşüp kırılmasıyla beraber içerikler yayılmış, yangın yarım saatten kısa sürede söndürülmüştür. İkinci yangın bir parçanın tesisteki fırının üzerine düşmesi ardından başka bir parçanın boru hattı üzerine düşüp boruyu kırmasıyla birlikte

borularda bulunan yanıcı maddelerin alev almasıyla meydana gelmiştir. Söndürülmesi 4 saat sürmüş ancak yanan nafta tanklarına bağlanan kırık borulardan yakıt sızıntısı sebebiyle tekrar alev almıştır. Üçüncü ve en büyük yangın ise yüzer tavanların tankların iç tarafına çarpması ve ardından metalik contalar ile tank duvarları arasındaki metal-metal teması nedeniyle kıvılcım çıkaran dört orta boy yüzer tavanlı nafta depolama tankı tutuşmasıyla meydana gelmiştir. Ardından tankın içindeki nafta flanşın arızalanmasıyla dışarıya akmaya başlamış, bu durum jet yangınına ve alevlere yol açarak tankları kaplamıştır. Yangın 5 gün boyunca bölgenin güvenliği için tehlike yaratmaya devam etmiştir. Harici desteğe rağmen, yangının kontrolü kaybedilmiş, yangınla mücadele operasyonları 16 saat sonunda durdurulmuştur (Girgin, 2011). 112 tank bulunan tank sahasında farklı boyutlarda altı tank, soğutma kuleleri ve liman hasar görmüştür. 5 ham petrol tankının tavanları tamamen sular altında kalmıştır. Toplam hasarın yaklaşık 350 milyon ABD doları olduğu bilinmektedir (Durukal, 2008).



Resim 2.13. Tüpraş rafinerisi deprem sonrası (Fabbrocino, 2014)

- Akrilik Kimya A.Ş. / AKSA

Aksa Akrilik Kimya Sanayi A.Ş. Yalova'nın 20 km batısında, İzmit Körfezi'nin güney kıyısında yer alan bir akrilik elyaf üretim tesisidir. Akrilik elyaf üretiminde hammadde olarak Akrilonitril (AN) kullanılmakta ve tesis içerisinde büyük miktarlarda depolanmaktadır. Akrilonitril son derece yanıcı, zehirli, su ortamı için tehlikeli ve kansere neden olabilen tehlikeli bir kimyasaldır. Tesisteki üç depolama tankından birinin çatısının

yırtılması, diğer ikisinin tabanında boru kırılması zarar görmesi sonucu tanklarda kimyasal sızıntı meydana gelmiş ve 6500 ton Akrilonitril (AN) dökülmüştür. Dökülen Akrilonitril sıvısının önemli bir kısmı muhafaza setlerini aşıp denize ulaşmıştır. Evcil hayvanlar ve tarımsal faaliyetler zarar görmüş, ıslah için 5 yıllık arıtma gerektiren çevre kirliliğine yol açmıştır (Girgin, 2011). AN son derece yanıcı olmasına rağmen olay sırasında yangın çıkmamış ancak ilk müdahale sırasında 27 işçinin zehirlendiği, askeri yangınla mücadele ekibinin bir üyesi komaya girdiği ve diğerleri kötü şekilde etkilendiği bildirilmiştir. Tesis çevresindeki yerleşim yerlerinde yaşayanlar ses kısıklığı, baş dönmesi, mide bulantısı, solunum problemleri, cilt tahrişi, baş ağrısı, göz ve burun tahrişi gibi akut toksisite semptomları gösterdiği bildirmiştir.

2.5.2. Dünya' da yaşanan Natech kazaları

Japonya Niigata Depremi – 16.06.1964

- JX Nippon Petrol ve Enerji Şirketi

16 Haziran 1964 yılında 7,5 büyüklüğünde meydana gelen deprem bir köprünün düşmesine, petrol tanklarında yangın çıkmasına, çelik ve betonarme ile inşa edilen apartmanların devrilmesine sebep olmuştur. Niigata depremi, aynı zamanda zemin sıvılaşmasına dikkat çeken Japonya'daki ilk sismik felaket olmuş yer altı suyuna doymuş kumlu zeminin sıvı hale gelmesi yapıların dengesini kaybetmesine neden olmuştur. Deprem nedeniyle JX Nippon Petrol ve Enerji Şirketi Niigata tesisinde çok sayıda tank çökmüş, ortaya çıkan yangın rafineride büyük hasara neden olmuştur. Rafineride bulunan beş ham petrol depolama tankı alev alarak iki hafta boyunca yanmaya devam ederek çevreye yayılmış ve toplam 286 evin yanmasını neden olmuştur. 51.500 mm çapında ve 14.555 mm yüksekliğinde tamamen yağ ile doldurulmuş 30.000 kL yüzer tavanlı bir tankta yüzen tavanın yan duvarla çarpışması sonucu oluşan kıvılcımlar nedeniyle ham petrolle temasından yangın çıkmıştır. Meydana gelen yangın 70 kg / m2 (700 MPa) kapasiteye sahip iki küresel LPG tankına da sıçramıştır. Tanklarda oluşan çatlaklarla sızan petrol deprem sonrasında oluşan tsunaminin getirdiği deniz suyuyla taşınmış ve 200 m'den fazla mesafede bulunan yerleşim yerleri de yanmıştır (Akatsuka, 2006).

Miyagi-Ken-Oki (Sendai) Depremi – 12.06.1978

Deprem sonucunda üç büyük tank arızalanmış, petrol muhafaza kanallarını aşarak rafineriye ulaşmış ve liman sularına dökülmüştür. Zara gören tesisler aşağıda sıralanmıştır (Cooper, 1997).

- JX Nippon Petrol ve Enerji Şirketi- Sendai Rafinerisi
- LPG depolama tesisi
- Elektrik trafo merkezi
- Sendai termik santrali

Limon (Bacos del Toro) Depremi, Kosta Rika – 22.04.1991

- Refinadora Costarricense de Petróleo S.A. (RECOPE)

Kosta Rika topraklarında petrol ve türevlerinin dağıtımı, üretimi ve ithalatı için 1961 yılında kurulmuş, Kosta Rika Eyaleti'nin özerk bir şirketidir. Deprem sonucunda Kosta Rika Petrol Rafinerisindeki bazı tankların arızalanmasıyla büyük hasar meydana gelmiştir (Cooper, 1997).

Hokkaido Depremi, Japonya bölgesi – 25.09.2003

- Idemitsu Kosan Co. Ltd.- Tomakomai, Hokkaido, Japonya

26 Eylül sabahında meydana gelen deprem sonrası Tomakomai' de bulunan Hokkaido Rafinerisinde bir ham petrol tankı yanmıştır. Rafineride borulardan sızan petrol yangına neden olmuş ve aynı gün kontrol altına alınmıştır. Yangının çalkalanma sonucu yüzer tavan üzerine çıkan petrolün yan duvar ile tank tavanının çarpmasıyla oluşan kıvılcımlar sonucu olduğu varsayılmaktadır. 28 Eylül tarihinde yine aynı rafinerideki bir Nafta tankında da yüzer tavan üzerine çıkan petrolün yan duvar ile tank tavanının çarpmasıyla oluşan kıvılcımlar sonucu yangın çıkmıştır (Honda, 2004).

Martinik (Windward Adaları) Depremi, Martinik- 29.11.2007

İçki fabrikası, Martinik

Tohoku (Büyük Doğu Japonya) Depremi, Japonya- 11.03.2011

- Shin Minato LNG Terminali, Japonya
- JX Nippon Petrol ve Enerji Şirketi- Sendai Rafinerisi, Japonya

Honshu Adası'nın kuzeydoğu kıyılarında 9.0 büyüklüğünde büyük bir deprem meydana gelmiş ve tsunamiye neden olmuştur. Tokyo Körfezi'nde depremin bir rafinerinin sıvılaştırılmış petrol gazı (LNG) depolama tanklarında büyük bir yangına neden olduğu olmuştur. Analiz edilen 46 tesiste, toplam 57 düşük veya ciddi deprem ve tsunami etkisine bağlı 6 yangın, 5 patlama, 46 olası tehlikeli madde salınımları ile ekipmanın hasarı olayı saptanmıştır. Bazı kurulumlarda aynı anda birden fazla Natech olayı meydana gelmiş ve depremin ana kaza tetikleyicisi olduğu görülmüştür. Flanşların, tank-boru bağlantılarının, boruların veya muhafaza yapılarının kopmasıyla oluşan tank arızası nedeniyle Tank içerisinden sızma meydana gelmiş; sarsıntıya bağlı depolarda paketlenmiş ürünler raflardan düşerek yırtılmış ve açılmıştır. Tsunaminin şiddetiyle çöken tank ve hasarlı boruların su ile taşınması sonucu yanıcı dökülmeleri geniş çapta dağılması yangına sebep olmuş ve toksik yayılım görülmüştür (Krausmann, 2013).



Resim 2.14. Tsunaminin vurması sonucu yanan Sendai rafinerisindeki tank

Harvey Kasırgası, Texas – 2017

- Arkema Crosby Üretim Tesisi

Harvey Kasırgası'nın ardından yaşanan yoğun yağışın neden olduğu sel baskını sonucu tesisteki ekipman ve sistemler zarar görmüştür. Jeneratörlerin zarar görmesine bağlı oluşan güç kaybı sonucu depolarda tutulan organik peroksitler soğutucu römorklara taşınmış, sel suyunun kuvveti ve yüksekliğine bağlı olarak römorklarda hasar görmüş nihayetinde organik peroksitler kendi kendine ayrışma sıcaklığına (SADT) gelip ayrışmaya neden olmuş ve yangın çıkmıştır. Atık su tankı muhafazaları yetersiz kalmış ve selin etkisiyle atık su tankında bulunan 11 farklı kimyasal sel suyuna karışmıştır. Tesis yanındaki otoyoldan geçerken beyaz dumana maruz kalan polisler mide bulantısı, baş ağrısı, boğaz ağrısı, göz

kaşınması ve sulanması şikayetiyle tıbbi yardım istemişlerdir. Müdahale için gelen Acil Sağlık Hizmetleri personelleri de dahil olmak üzere 21 kişi bu kimyasal ayrışmaya bağlı oluşan dumandan etkilenmiştir. Tesis etrafında 1.5 mil olarak belirlenen tahliye alanında 200'den fazla sakin tahliye edilmiş ancak kaza sonrasında bu kazanın etkilerinin 2 mile yaklaştığı görülmüştür (CSB, 2018).



Resim 2.15. Yanan soğutucu römork (CSB, 2018)

2.6. İlgili Uluslararası Mevzuat

1999 yılında yayınlanan Avrupa Çevre Ajansının raporu incelendiğinde son yirmi yıldır yaşanan büyük kazaların eğiliminin aynı olması dikkat çekmiştir. Bu durum büyük kazalar sonucunda yaşanan kayıplardan ders çıkarılmadığını ve endüstriyel standartlar üzerinde değişiklik yapılmadığını göstermektedir. Muhakkak ki endüstriyel standartlar değiştirilip geliştirilmedikçe doğal ve teknolojik sebeplerle felaketler yaşanmaya, kayıplar meydana gelmeye devam edecektir (ARAMIS).

İtalya'nın Milano şehrine 20 km uzaklıktaki Seveso kentinde bulunan ICMESA Kimyasal Şirket' e ait tesiste 10 Temmuz 1976 günü meydana gelen kaza sonucu dioksin gazı sızıntısı yaşanmıştır. Yaşanan bu büyük kaza sonucunda endüstriyel kazaların oluşmasının engellenmesi ve gerekli önlemlerin alınması adına hazırlanmış olan Seveso Direktifi kabul edilmiştir. Avrupa Birliği'nde, sabit endüstriyel tesislerdeki kimyasal kaza risklerini düzenleyen tehlikeli maddeler içeren büyük kaza tehlikelerinin kontrolüne ilişkin 2012/18/ EC Yönergesi (Seveso III), Seveso II Direktifinde açıkça ele alınmayan Natech risklerini açıkça ele alır ve tesislerin rutin olarak çevresel tehlikeleri tanımlamasını ve güvenlik

raporlarında değerlendirilmesini gerektirir. Kimyasal bir kazaya yol açabilecek "dış olayların" analizi, tehlike analizinde potansiyel doğal tehlike tehdidinin dikkate alınmasını, kaza olasılığını azaltmak için önleyici tedbirlerin alınmasını ve bir kaza durumunda hazırlıklı olunması gerektiğini ifade etmektedir. Direktif bu gereklilikleri yerine getirmek için alınabilecek metodolojileri veya eylemleri belirtmemekte, bu nedenle hazırlık seviyeleri ülkeler arasında farklılık göstermektedir (Cruz, 2004).

Seveso direktifi domino etkisi kapsamında kuruluşların coğrafi konumuna bağlı durumları (örn. Olası doğal afet tehlikeleri = Natech) dikkate alınacağı belirtilmiştir. Güvenlik raporunun kaza senaryolarını tetikleyebilecek nedenlerin detaylı açıklamasını (operasyonel nedenler, harici etkiler, doğal afetler) içermesi de yine ilgili direktifin Ek 2/4 a bendi i-iii' te belirtilmiştir. Seveso III Direktifi (2012/18 / EC) kapsamındaki üst ve alt kademe endüstriyel kuruluşların listesi, diğer endüstriyel tesisler (örneğin boru hatları, açık deniz platformları) ile tamamlanması gereken bir temel endüstriyel tesis envanteri olarak kullanılabilir.

Uluslararası boyutta Uluslararası Kızılhaç ve Kızılay Dernekleri Federasyonu (IFRC) ve Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) iş birliği ile hazırlanan raporda DRM yasalarının afet risk azaltma politikaları ele alınmıştır. Afet Risk Yönetimi (DRM) yasaları içerisinde meydana gelen afetlerin çevresel etkilerinin değerlendirilmesinin önem arz ettiği ve risk analizi çalışmalarında göz önüne alınması gerektiği bildirilmiştir. Bu durum olası Natech kazalarının meydana geldikten sonra oluşabilecek etkilerin kısıtlanmasını da sağlayacaktır. Erken uyarı için risk haritalarının hazırlanması gerektiği de vurgulanmıştır. Ayrıca Natech olaylarına sebep olabilecek afetlerin iklim değişikliğiyle daha şiddetlenmesi konusunda da Afet Risk Azaltma (DRR) yasalarının iklim değişikliği ve afetleri bir arada alması gerektiği görülmüştür (UNDP,2014).

2.7. İlgili Ulusal Mevzuat

Ülkemizde doğal afetlerin tetiklediği teknolojik kazalar için özel bir yönetmelik bulunmamakta ancak 2 Mart 2019 tarihinde Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı, İçişleri Bakanlığı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığınca hazırlanıp yayınlanan "Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik" kapsamında değerlendirilebilmektedir. Seveso III Direktifine paralel şekilde hazırlanan yönetmelik ile tehlikeli madde bulunduran kuruluşlarda büyük endüstriyel kazaların

önlenmesi, muhtemel kazaların insanlara ve çevreye verebileceği zararın minimize edilmesi için etkili, yüksek ve sürekli koruma için önlemler belirlenmektedir. Söz konusu yönetmelikte büyük endüstriyel kaza, büyük kaza senaryo dokümanı aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

Büyük endüstriyel kaza: Bu Yönetmelik kapsamında Madde 5/1 ç bendinde herhangi bir kuruluşun işletilmesi esnasında, kontrolsüz gelişmelerden kaynaklanan ve kuruluş içinde veya dışında insan ve/veya çevre sağlığı için anında veya daha sonra ciddi tehlikeye yol açabilen bir veya birden fazla tehlikeli maddenin sebep olduğu büyük bir yayılım, yangın veya patlama olayı,

Büyük kaza senaryo dokümanı: İlgili yönetmelik kapsamında Madde 5/1 e bendinde kuruluşta büyük endüstriyel kaza tehlikelerinin belirlenmesi ve bu tehlikelerden kaynaklanacak risklerin değerlendirilmesi amacıyla hazırlanan dokümanı olarak tanımlanmaktadır.

Büyük Endüstriyel Kazalarla İlgili Hazırlanacak Güvenlik Raporu Tebliği (2019) Ek 2 Bölüm 1’ de kuruluş çevresi tanımı kapsamında deprem, sel, toprak kayması tehlikesi bilgilerine yer verilmesi gerektiği; bunun yanı sıra meteorolojik olarak yıldırım ve fırtına tehlikelerinin bilinmesi gerektiği açıkça belirtilmektedir. Kuruluş etrafında bulunan kazaya sebep olabilecek veyahut kazanın etkisini arttırabilecek durumlar için boru hatları, madencilik ve diğer sondaj faaliyetleri, kazayı etkileyecek taşıma faaliyetleri ve yüksek gerilim nakil hatlarının incelenmesi gerektiği belirtilmektedir. Büyük Endüstriyel Kazalarla İlgili Hazırlanacak Büyük Kaza Senaryo Dokümanı Tebliği Ek 2/6’ da harici tehlikelerin tanımlanması kapsamında sel, kaya düşmesi, heyelan ve deprem gibi çevresel özelliklerin bunun yanında yıldırım ve fırtına gibi meteorolojik olayların değerlendirilmesi belirtilmiştir. Belirlenen bu tehlikeler göz önünde bulundurularak kök nedenlerden başlayarak olası yangın, yayılım ve patlama olayları kapsayacak şekilde büyük kaza senaryo dokümanı oluşturulur. Büyük Endüstriyel Kazalarda Uygulanacak Dahili Acil Durum Planları Hakkında Tebliğ Madde 5/3’ te kapsamında “Dâhili acil durum planı, büyük kaza senaryo dokümanında belirtilen her bir kaza türünü (yangın, patlama, toksik yayılım) içerecek şekilde tüm büyük kaza senaryolarına uygulanabilecek nitelikte ve endüstriyel kazayı tetikleyebilecek deprem, sel, taşkın gibi doğal afetler de dikkate alınarak hazırlanır.” hükmü yer almaktadır.

Endüstri Bölgeleri Yönetmeliği Madde 7/1’ de endüstri bölgelerinin kurulması, yönetimi ve işletilmesine ilişkin usul ve esasları düzenlemek amacıyla düzenlenen yönetmelikte yer seçimi etüt raporunda heyelana maruz kalma durumu, bulunduğu deprem kuşağı ve taşkına maruz kalma durumunun göz önüne alınarak hazırlanması gerektiği belirtilmiştir. İlgili yönetmelik Madde 35/8’ de başvuru sahibi, özel endüstri bölgesinde radyoaktif madde ve kimyasalların yönetimi, yangından korunma ve yangınla mücadele, acil durum planlarının hazırlanması ve koordinasyonu, tahliye, ilk yardım ve acil tıbbi müdahale ile doğal afetler ve benzeri konularda ilgili kurum ve kuruluşlarla koordinasyon içinde çalışıp gerekli harcamaları yapması ve ilgili mevzuat çerçevesinde önlemler alması açıkça belirtilmektedir.

2.8. Kaza Verilerinin İstatistiksel Değerlendirilmesi

Kazaların etki ve niteliklerinin saptanması, olası bir korelasyonun elde edilmesi için öncelikle geçmişe yönelik kaza verileri toplanarak veri kaynağı sağlanmalıdır. Toplanan veri kaynakları pasta ve histogram grafikleri şeklinde düzenlenebilmektedir. Kazalar özelinde elde edilen verilerin analiz edilmesi, sınıflandırılması ve rapor edilmesi yol göstermesi açısından önem arz etmektedir. Toplanan veriler kaza yeri ve tarihi, kazanın nedeni, doğal afet türü, endüstriyel faaliyet, kullanılan ekipman, sahada bulunan tank özellikleri ve kapasitesi, içerdiği kimyasal ve sonuçlarına göre gruplandırılarak değerlendirilmelidir. Meydana gelen kazalarda sıkça yer alan ekipman kategorileri ve tekrarlayan hasar senaryoları doğal afetin ciddiyet parametresi ile olası bir korelasyon basitleştirilmiş modeller geliştirilerek ekipman savunmasızlığı ortaya koyulmaktadır. Depremlerde en savunmasız ekipman depolama, taşıma öğeleridir ancak basınçlı kaplar, atmosferik tanklardan daha yüksek bir dirence sahiptir. Sel olaylarında su seviyesi ve su hızı değerinin olası etkilerin değerlendirilmesi için bir parametredir. Böylece elde edilen bazı sonuçları doğrulamaya, yeni tespit edilen sonuçları vurgulamaya ve karşılaştırılan olayların farklılık ve benzerlikleri ortaya koyulmaktadır. Yapısal hasar ilişkin veriler, ekipmanlar ve sızıntı sonrası olası ateşleme senaryosu oluşturarak gelecekte yapılacak planlamalarda göz önünde bulundurulmalıdır (Campedel, 2008).

R

R, içerisinde bulunan yaklaşık 8 paket sayesinden genişletilebilmektedir. Kullanıcıların kontrolüne bırakılan çok çeşitli istatistiksel hesaplama ve iyi tasarlanmış, kaliteli grafik

üretilmesi için teknikler sağlamaktadır. R, sahip olduğu LaTeX formatı sayesinde çeşitli formatlarda çevrimiçi ve basılı kopya şeklinde kapsamlı dokümantasyon sağlamaktır (R Project, 2021). İçerisinde;

- Etkili veri işleme ve depolama tesisi,
- Matrisler ve diziler üzerinde hesaplamalar için operatör paketi,
- Veri analizi sağlayan entegre, geniş ve tutarlı ara araç koleksiyonu,
- Veri analizinde ekranda ya da basılı kopyada sunulabilen grafik olanakları,
- Döngüler, girdi ve çıktı olanakları, kullanıcı tanımlı özyinelemeli işlevler, koşullu ifadeler içeren geliştirilmiş, etkili ve basit bir programlama dili bulundurmaktadır.

SPSS

SPSS; veri girişi ve hazırlığından istatistiksel süreçlerin yürütülmesi, grafiklerin oluşturulmasına kadar tüm analiz sürecini mümkün kılan istatistiksel veri analizi program paketi olup SPSS ile tüm bu adımlar, grafik kullanıcı ara yüzünün iletişim kutuları aracılığıyla veya SPSS' e özgü bir komut dilinde program kodu aracılığıyla gerçekleştirilebilir. SPSS ile veri analizinin tipik süreci, her biri daha fazla veya daha kapsamlı olabilen üç adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar;

- Gerekli veriler veri kaynağından veya kaynaklardan okunup, SPSS formatına aktarılıp mevcut SPSS Oturumu için bir veri setine kaydedilir.
- Eksik değerler olması halinde özel olarak işaretleyerek yeni değişkenler hesaplanır veya mevcut değişkenler kategorize edilerek sonraki analiz için verileri hazırlanır.
- Eksik değer olması halinde üçüncü adımda gerçek veri analizi, veriler temelinde istatistiksel anahtar rakamlar hesaplanabilir, regresyon veya küme analizi gibi daha karmaşık analiz yöntemlerini gerçekleştirilebilir.

SPSS, çeşitli otomasyon teknolojileriyle belirli görevlerin düzenli olarak tekrarlandığı ancak tekrar tekrar küçük değişikliklerin meydana geldiği gerçeğini de hesaba katar bu yüzden farklı veri kaynakları, farklı filtre kriterleri veya farklı numune boyutları kullanılması gerekmektedir (HJR Mediendb, 2021).

MATLAB

Sayısal hesaplamalar için çoğunlukla mühendisler ve veri analistleri tarafından kullanılan bir programlama dili olup bazı temel kodlama bilgilerine veya bilgisayar bilimi politikalarına güvenmek yerine, kullanıcıların verilerini daha sezgisel bir şekilde okumalarına olanak tanımaktadır. Verilerin hem analiz öncesinde hem de sonrasında sunulduğu format, kullanıcıların verilerinin sunulma şekli üzerinde sıkı kontrol sağlamalarına yardımcı olmaktadır. Verilerin görsel şekilde sunulması bununla ilgilenen işletmeler için büyük ölçekli veri analizini daha kolay hale getirmektedir (Özgür, 2017).

PYTHON

Python, uyarlanabilirliği ve iyi gelişmiş bir programlama dili olması sebebiyle hem büyük hem de küçük projeler için kullanılabilen bir programlama dilidir. Programlama özelliklerinin verimli olması nedeniyle yaygın olarak kullanılan bir programdır. Python, yerleşik hata ayıklama özelliği nedeniyle programcı için hata ayıklamayı da basitleştirmiş, nihayetinde programcıların zamanla daha üretken ve verimli olmalarına yardımcı olmuştur (Özgür, 2017).

MS EXCEL

Microsoft Excel muhtemelen tüm iş derslerimde öğrencileri gelecekteki kariyerlerinde günlük analitik gerçekleştirmeye hazırlamak için kullanılan en yaygın yazılımdı. Excel, özellikle küçük işletmeler tarafından birkaç bin satırdan oluşan daha küçük veri kümeleri için veri madenciliği yapmak üzere kullanılabilir. Excel'in kullanımı son derece kolaydır ve öğrenciler genellikle ilkokulda yazılıma tanıtıldığından, günlük ihtiyaçlar için programa gitmek ikinci bir doğa haline gelir. Excel o kadar yaygın bir şekilde kullanılıyor ki, bir Fortune 50 şirketindeki staj sırasında, temel analitik konusunda bana yardımcı olması için her gün Excel'i kullandım. Excel'in diğer bir uzmanı, sonraki sürümlerde veri analitiğine yardımcı olan MegaStat gibi eklentileri kullanabilmenizdir. Microsoft, o zamandan beri regresyon analizi, zaman serileri ve açıklayıcı istatistikler gibi birçok analitik aracı Microsoft 2016 yazılımına dahil etmeye karar verdi. Excel'in en büyük dezavantajı, büyük veri kümeleriyle kullanılamaması ve bu nedenle büyük verilerle çalışırken uygun bir seçenek olmamasıdır (Özgür, 2017).

2.9. Kazaların Risk Analizi

2.9.1. Risk analiz yöntemleri

a) Ön tehlike analizi

Ön tehlike analizi, tesisin sistem tasarımı konusunda daha detaylı çalışmalara model olabilecek onlarla ilişkili nedensel faktörlerin, etkilerinin, risk seviyelerinin ve riskleri azaltabilecek ölçümlerin tanımlanması amacıyla hızla hazırlanabilen kalitatif bir risk değerlendirme metodolojisidir. Mevcut sistemi inceleyerek tehlikeli öğeleri belirlemek, potansiyel tehlike durumlarını tespit etmek ve kazaya fırsat vermemek için nasıl bir yol izleneceğini saptamak amacıyla uygulanmaktadır. Tehlikelerin nedenleri, etkileri, durumları, başlangıç risk indeksleri, önleyici tedbirler ve son risk indeksleri değerlendirilmektedir (Özkan, 2016).

b) Hata ağacı analizi (FTA)

İşletme içerisinde insan, makina, tasarım vb. birçok alandan kaynaklanan hataların tespit edilmesi ve alt faktörlere ayrılarak değerlendirilmesi için uygulanan yöntemdir. Karmaşık ve büyük sistemlerde istenmeyen olayın ortaya çıkma olasılığı ve kök nedenlerin tespitinde kullanılan bir sistem analiz tekniğidir. Sistemin güvenilirliği tanımlamak, bir probleme etki eden olumsuzlukların belirlenmesi, sistemde tehlike olarak görülen tüm olumsuzluk ve problemleri ortaya koymak hedeflenmektedir. En tepede belirlenen istenmeyen olaydan başlayarak mümkün olan bütün kök nedenlere uzanan mantıksal hata yolları geliştiren tümdengelim yapıya sahip bir analizdir (Erdoğan, 2015).

c) Tehlike ve işletilebilirlik analizi (HAZOP)

HAZOP kapsamında sistem tehlikelerinin belirlenmesi için referans anahtar kelimeler ve sistem diyagramları kullanılmaktadır. Sistemin tasarım amacından nasıl sapabileceği araştırır. Bu doğrultuda tasarımın her adımı aşama aşama incelenir. Proses dokümantasyonu, pilot tesis ve tehlikeli laboratuvar çalışmalarında uygulanmasının yanı sıra devreye alma, çıkarma, acil durum operasyonları ve kaza incelemelerinde de uygulanmaktadır. Reaksiyon kinetiği, toksisite verileri, çevresel etki değerlendirilir. HAZOP çalışmasının amacı önceki

aşamalarda tanımlanmayan ve tasarlanmayan planlı bir süreç veya operasyon dahilinde kalan tehlikeleri belirlemek ve değerlendirmektir (Rossing, 2010).

Bu yaklaşım süreç ve sapma değişkenlerinin seçiminin doğrudan takip ettiği basit işlevlere sahip düğümlere yol açmakta; her düğüm noktasında işlem parametrelerindeki sapmalar, kılavuz kelimelerle detaylı incelenmektedir. Tehlikelerin ve işletilebilirlik sorunlarının sistematik şekilde ortaya koyulması çalışmanın en büyük artısıdır (Crawley, 2015).

ç. Olay ağacı analizi (ETA)

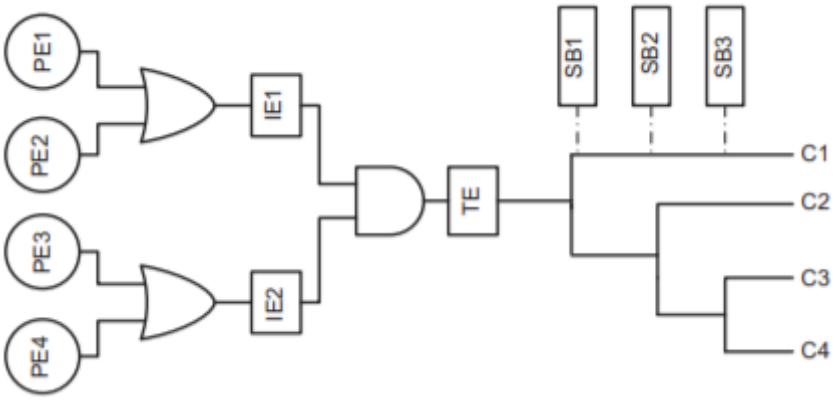
Tetikleyici bir olayın oluşmasını takip eden potansiyel kaza senaryolarındaki olay sırasının değerlendirilip tanımlanması için kullanılan bir analiz tekniğidir. Tetikleyici olayın bir aksiliği ortaya çıkarma olasılığını ve tetikleyici olayın sistem tasarımında kontrolünü değerlendirmek amacıyla yapılır. Sistem içerisinde tüm güvenilir operasyonel değişimler tanımlanır, her yol nihai başarı ve hataya götürür. Analiz sonucunda her bir dal için olasılık hesaplaması yapılır ve en büyük hasara neden olabilecek durumlar için işlem tekrarlanır (Özkılıç, 2009).

d. Koruma katmanları analizi (LOPA)

LOPA Proses Tehlike Analizinin bir uzantısıdır ve PHA gerçekleştirildikten sonra; tehlike senaryolarının riskini hesaplamak ve var olan önlemlerin yeterliliğine karar vermek için risk tolerans kriterleriyle karşılaştırmak için kullanılan yöntemdir. Otomatikleştirilebilen veya başlatılabilen yakın tehlikeye karşı koruma sağlamak için tipik olarak özel işlem tasarımlarını, işlem ekipmanını, idari prosedürleri, BPCS' yi ve / veya planlı yanıtları içeren mühendislik güvenlik özellikleri veya koruyucu sistemler gibi koruyucu katmanlar kavramına dayanmaktadır. İnsan eylemi kaza riskini tolere edilebilir hale getirmek için yeterli koruma katmanları sağlanmalıdır (Khalil, 2012).

e. Papyon (Bow-tie) analizi

Patlama riskli tesisler gibi yüksek riske sahip senaryolarda nedensel ilişkileri göstermek ve analiz etmek için kullanılabilen bir risk değerlendirme yöntemidir. Bow-tie, kaza nedenlerinden başlayıp sonuçlarıyla biten bir kaza senaryosunu gösteren grafik bir araçtır.



Şekil 2.10. Papyon analizi şeması (Khakzad, 2012)

Şekil 2.10’ da görüldüğü üzere BT kritik bir olaya odaklanırken, sol tarafta kritik olaya (veya en önemli olaya) neden olan olası olayları tanımlayan bir FT' den ve sağ tarafta kritik olayın olası sonuçlarını temel alan bir ET' den oluşur. Güvenlik bariyerlerinin başarısızlığı veya başarısı. Şekil 1, PE, IE ve TE' nin sırasıyla birincil, orta ve en önemli olay olduğu tipik bir BT' yi göstermektedir. Ayrıca, SB ve C güvenlik bariyeri ve kaza sonucu anlamına gelir.

BT, nitelik ve nicelik olarak eksiksiz bir kaza senaryosunu temsil eder. Niteliksel bir perspektiften, BT bir kaza senaryosunun bileşenleri arasındaki mantıksal ilişkiyi açıkça göstermektedir. Hangi olası birincil olay kombinasyonunun en önemli olaya yol açacağını ve hangi güvenlik bariyerlerinin başarısızlığının en önemli olayı belirli bir sonuca yükselteceğini anlamaya yardımcı olur (Khakzad, 2012). Olası her büyük kaza için;

- Belirli bir tehlikede var olabilecek tüm mantıklı kaza senaryoları,
- Kuruluşun senaryoları kontrol etmek amacıyla aldığı kontrol önlemleri,
- Kontrol önlemlerinin başarısız olması durumu ve başarısızlık sonucu muhtemel artış faktörleri,
- Sonuçların genişlemesini azaltabilen veya engelleyen iyileştirici önlemler,
- İyileştirici önlemlerin başarısız olduğu durumları belirlemek ve bu durumda olabilecek muhtemel artış faktörler göz önünde bulundurulur.

f. Sonuç analizi

Sonuç analizi; ölümlere, yaralanmalara, çevreye ve canlılara zarar verebilecek potansiyel tehlikelerin analizini içermektedir. Analiz için tehlikenin başlangıç noktasının önemli olduğu kadar olayların sırası da önem arz etmektedir. Olası en kötü senaryoya göre bir dizi arıza, tehlikenin büyük kazaya dönüşmesine neden olabilir. Kritik durumlarda tehlikeli olayların nicelleştirilmesi gerekir. Kaynak sınırlaması bazı senaryoların taranmasını gerekli kılabilmekte bu durum mantıklı karar vermeyi öne çıkarmaktadır. Analizler gerçekçi ve doğru olmalıdır. Analizler bahse konu tehlikelerin her bir sonucunu belirlemelidir (Basu, 2017).

İstenmeyen olayın meydana gelmesi durumunda olası etkiyi tahmin etmek için kullanılan sonuç analizinde yapılması gereken maddeler aşağıda sıralanmıştır.

- Seçilen istenmeyen olaylara dayalı olmalıdır,
- İstenmeyen olaylardan kaynaklanan sonuçları açıklanmalıdır,
- Sonuçlar üzerinde etkisi olan tüm ilgili koşullarla birlikte sonuçları hafifletmek için mevcut önlemleri dikkate alınmalıdır,
- Sonuçların tanımlanmasını için kullanılan kriterleri tamamlanmalıdır,
- Çalışmanın kapsamı ile tutarlı olması durumunda hem anlık sonuçları hem de belirli bir süreden sonra ortaya çıkabilecek sonuçlar göz önünde bulundurulmalıdır,
- Bitişik ekipman ve sistemlerle ilişkiler gibi ikincil sonuçları göz önünde bulundurulmalıdır (Wikips, 2022).

Sonuç modellemelerinde; serbest bırakmanın geometrisinin/delik boyutunun eksik anlaşılması, kötü karakterize edilmiş veya bilinmeyen fiziksel özellikler, serbest bırakma işleminin veya kimyasalın zayıf anlaşılması, bilinmeyen veya kötü anlaşılmış karışım davranışı gibi nedenlerle belirsizlikler ortaya çıkabilmektedir.

Fiziksel etkilerde yangın, patlama ve gaz bulutu yayılımının konsantrasyonu hesaplanır ardından günlük senaryolar ve en kötü durumun etkileri olay merkezine olan mesafelere yayılımı incelenir. Basitleştirilmiş analitik yaklaşımlardan çok karmaşık bilgisayar modellerine kadar bu tür etkileri tahmin etmek için birçok yöntem bulunmakta ve probleme en uygun model seçilmelidir (Wikips, 2022).

g. Kantitatif risk analizi (QRA)

Kantitatif Risk Analizi (QRA) bir sistemin ekonomik ve insan kayıpları açısından oluşturduğu riskin tahmin edilmesini sağlayan bir dizi metodolojiden oluşmaktadır. Tehlikeli maddelerin taşınması, dağıtılması, kullanılması ve depolanmasındaki riskin belirlenmesini sağlayan bir araç olan kantitatif risk analizinin temelini Rijnmond ve Canvey Raporu oluşturmaktadır (Casal, 2008). Risk hesaplamalarında basit veya karmaşık teknikler olabilecek şekilde sayısal yöntemlere başvurulmaktadır. Kantitatif risk analizin temel formülü aşağıda verilmiştir.

$$Risk = Tehlikeli\ bir\ olayın\ meydana\ gelme\ ihtimali \times tehlikenin\ etkisi$$

Kantitatif risk analizi, önceden tanımlanmış kaza senaryolarının sonuçlarını belirlemek için matematiksel modellerin uygulanması ve belirli bir alan üzerinde ortaya çıkan riski tahmin etmek için karşılık gelen frekansların kullanımına dayanmaktadır. Kantitatif risk analizi Şekil 2.11’ de sıralanan bir dizi adım aracılığıyla gerçekleştirilir.



Şekil 2.11. Kantitatif risk analizindeki ana adımlar (Casal, 2008)

Her kaza senaryosunun etki ve sonuçlarını hesaplamak için güvenlik açığı modelleri ve matematiksel kaza modelleri kullanılması gerekmektedir. Sonuçlar ile karşılık gelen frekansların birleştirilmesiyle herhangi bir mesafede istenen bireysel risk elde edebilir ve izo-risk eğrileri çizilebilir. Herhangi bir noktada bireysel riskin bilinmesi halinde yayılıma yönelik genel riskin tahmin edilmesi mümkündür (Casal, 2008).

QRA kuruluşta, sahada ve güzergah boyunca çevrede belirlenen risklerin seviyesini belirleyerek kabul edilebilirliği göz önüne koymaktadır. QRA sonuçlarında yalnızca sahaya ve sürece özel bilgi farklılıklarından kaynaklanan farklılıklar olmalıdır. Kantitatif risk analizi

sonuçları kullanılacaksa bunlar tekrarlanabilir, doğrulanabilir ve karşılaştırılabilir olmalıdır (Purple Book).

2.9.2. Risk analizinde kullanılan toollar

SpiraPlan

Çözüm, test yönetimi, hata izleme ve gereksinim izlenebilirliğini program ve portföy yönetimi, sürüm planlaması, kaynak ve risk yönetimi özelliklerinin birleştirmiştir. SpiraPlan bünyesinde temel ölçümler, gerçek zamanlı grafikler, özelleştirilebilir raporlar ve şablonlardan oluşan entegre bir yönetici panosu bulundurmaktadır. HTML, MS-Word, MS-Excel, PDF ve XML formatlarında risk raporu oluşturulmasına olanak sağlar. SpiraPlan' ın temel yeni özelliklerinden biri güçlü bir risk yönetimi sistemi olup riskler kendi türleri (iş, teknik, çizelge vb.), nitelikleri ve iş akışlarıyla tamamen farklı bir yapay tür olarak görülmektedir. SpiraPlan;

- Risklerin olasılık, etki ve maruziyet gibi ne kadar önemli olduklarını analiz etmek ve sınıflandırmak için özel nitelikleri bulundurmakta,
- Risk Azaltma faaliyetleri için yerleşik desteğe sahip olup eksiksiz bir risk denetimi yolu sunmakta,
- Doğrulanmış bir sistemi sürdürmesi gereken müşteriler için elektronik imza desteği sağlamakta,
- Proje gösterge tabloları risk kaydı ve risk küpü olmak üzere iki risk widget' ı içermekte,
- Raporlama menüsünde risk özeti ve risk ayrıntılı raporu içermektedir (SpiraPlan, 2021).

Risk Management Studio

Risk yönetimi söz konusu olduğunda en çok yönlü ve kullanılan uygulamalardan biri olan Risk Management Studio içerisinde boşluk analizi, işlemle birlikte risk değerlendirmesi ve iş sürekliliği yöneticisi bulundurmaktadır. Kullanımı kolay olmasıyla birlikte excelden veri aktarımı ve raporlama desteği sağlamaktadır (Risk Management Studio, 2021).

A1 Tracker

Dünyanın farklı yerlerinden yöneticiler, gerçek zamanlı raporlar, iş akışı ve analitik sunan web tabanlı bir sistem aracılığıyla riskleri, olayları, denetimleri, sözleşmeleri ve varlıkları takip edebilmektedir. Gerçek zamanlı risk yönetimi yazılımı bildirimleri, şirket yetkililerini bölge, departman ve iş birimine göre artan riskler konusunda uyarmaktadır. Özelleştirilebilir gösterge tabloları, ölçüm raporları, kullanıcı portalları, sistem entegrasyonları ve eğitim sunar. Tehdit değerlendirmeleri, risk denetimleri, sözleşme iş akışı, hasar yönetimi, olay izleme, varlık yönetimi, güvenlik uyumluluğu ve HSE, dava, proje yönetimi, sigorta poliçeleri, sigorta sertifikaları, bonolar ve daha fazlasını içeren tam entegre veya bağımsız modüller bulundurmaktadır (A1 Tracker, 2021).

Isometrix

Büyük ve orta düzey endüstrileri hedefleyen bulut tabanlı bir uygulamadır. Paket içerisinde gıda güvenliği, iş sağlığı, uygunluk yönetimi, kurumsal risk, çevresel sürdürülebilirlik vb. gibi çeşitli çözümler sunar (Isometrix, 2021).

Analytica

İş modelleri, elektronik tablolar, sezgisel etki diyagramları gibi araçların oluşturulmasına yardımcı olmaktadır. Riski ve belirsizliği analiz etmek için tasarlanmış; Monte Carlo simülasyonu için tam entegre özellikleri ile belirsizlikleri düzeltmek kolay hale gelir ve standart tablolardan daha hızlı çalışmaktadır. Etki diyagramları ile değişkenler belirsizlik olarak tanımlanır ardından tek ve çok değişkenli olmak üzere çeşitli olasılık dağılımları seçilebilir. Sonuçlar yoğunluk fonksiyonu, kümülatif dağılım, olasılık bantları gibi görüntülenebilmektedir (Analytica, 2021).

iTrak

Çoklu tesis ortamlarında olaylar, mülkler ve personel hakkındaki bilgilerin girişi yapılarak riski analiz etmeyi ve yönetmeyi sağlamaktadır. Olay Raporlama Yazılımı ve Risk Yönetimi Sistemi, güvenlik ve gözetim departmanlarına eksiksiz entegre bir risk yönetim aracı ile

geleneksel verimsiz ve güvenilmez kağıt tabanlı sistemlerin yerini alarak mevcut kaynakların daha etkili bir şekilde konuşlandırılmasını sağlamaktadır (iViewSystem, 2021).

Enablon

Enablon, kullanıcının riski tanımlamasını, belgelemesini ve değerlendirmesini sağlar. Proje yaşam döngüsündeki riskleri azaltmaya yardımcı olan çok etkili bir iç kontrol ve yönetim sistemine sahip olup risk yönetimi takibinde yukarıdan aşağıya veya aşağıdan yukarıya yaklaşım gerçekleştirilebilmektedir (Enablon, 2021).

GRC Cloud

Risk yönetimi, güvenlik yönetimi ve olay yönetiminin Resolver GRC Cloud kullanılarak etkin bir şekilde yapılabilmesini sağlar. Risk yönetimi, kullanıcının riski planlamasına, sistemde mevcut olduğunda riski izlemesine ve gerektiğinde yanıt vermesine yardımcı olur. Risk değerlendirmesi risk puanına dayanmakta ve puan riskleri önceliklendirmek için kullanılmaktadır. Otomatik olarak çalışan uyarı sistemi olup e-postalar oluşma zamanına ve riske göre sistem tarafından tetiklenebilmektedir. En büyük avantajlarından biri bulut tabanlı olması sebebiyle dünyanın her yerindeki verilere erişim sağlayabilmesidir (Resolver, 2021).

Isolocity

Yapılan revizyonların Isolocity tarafından yönetilmesiyle yanlış versiyonların kullanım ihtimali ortadan kaldırılmaktadır. Isolocity tarafından sağlanan risk yönetimi aşamaları; risk yönetimi, fırsat, hedef, değişim yönetimi şeklinde sıralanabilir. Risklerin oluşturulmasının ardından sorumlu atanabilir, eylemler oluşturabilir ve eskalasyonlar yükseltilebilir (Isolocity, 2021).

Active Risk Manager

Aktif Risk Yöneticisi, risklerin kaydedilmesine, risklerin değerlendirilmesine ve risklerin azaltılmasına da yardımcı olmaktadır. Bazı önemli özellikleri aşağıda sıralanmıştır;

- Kullanıcılara riskle ilgili güncellemelerin yayılmasına yardımcı olan otomatik uyarı sistemi,
- Tek bir ekranda çeşitli verilerin hızlı bir anlık görüntüsünü veren gösterge tablosu,
- Excel gibi uygulamaları ortadan kaldıran risk ve güncellemeleri tek bir pencere gösterimi,
- Risk kalemleri için kalitatif ve kantitatif değerlendirme desteği (SwordGrc, 2021).

2.9.3. Natech kazalarının risk analizi

Ulusal kuruluşlar tarafından hazırlanılan tehlike haritaları, işletmeciler için tesislerdeki savunmasızlığını değerlendirmenin temeli sayılmaktadır. Farklı ekipman türleri ve farklı doğal afetler nedeniyle Natech risklerinin analizi için birçok yaklaşım bulunmaktadır. Doğal tehlike değerlendirmesi, sektördeki hasar şiddeti, olasılık tahmini, kaza senaryosu oluşturma ve sonuç analizini bünyesinde bulunduran Rapid-N bunun için önemli bir araçtır. Güvenlik açığı eğrileriyle kimyasal salınım derecesini tahmin edebilmekte, deprem şiddetini kolayca ölçebilmekte, yangın ve patlama durumlarında termal radyasyon hesabı içinde kullanılabilmektedir. Deprem durumunda tankların hasarını tahmin etmek için kırılganlık eğrilerini kullanılmaktadır. Bunun dışında domino etkisiyle olası yangın durumunda farklı kullanım seviyeleri için termal radyasyonun bir fonksiyonu olarak tankların arızalanma süresinin hesaplanmasıyla tahmin edilebilir. Risk analiz yöntemleriyle birincil kazaların artma olasılığını tahmin edebilir ve planlamalar bu yönde geliştirilebilir. Örneğin; fırtına sonucu sabitlenmemiş parçalar kopabileceği, şiddetli rüzgarların deniz seviyesinin yükselteceği, kasırga sonucu oluşan selin kimyasalların ayrışmasını tetikleyeceği, depremin petrol tanklarını sarsması sonucu bükülme ve yangına sebep olacağı öğrenildiğinde planlama ve düzenlemelerde göz önünde bulundurulması sonucu birincil kazaların oluşma olasılığı azaltılacaktır (OECD, 2020).

RAPID-N

Minimum veri girişi ile hızlı Natech risk değerlendirmesi ve haritalandırmasını amaçlayan açık ve iş birliğine dayalı web tabanlı bir uygulamadır. Veri depolama ve erişim için bir veri tabanı bileşenine sahip olup zengin bir analiz ve veri görselleştirme araçları seti sunmaktadır. RAPID-N, Natech risklerini yerel veya bölgesel düzeyde analiz eder. Doğal tehlike

değerlendirmesi, sektördeki hasar şiddeti ve olasılık tahmini, kaza senaryosu oluşturma ve tek bir araçta sonuç analizi dahil olmak üzere Natech risk değerlendirmesi için gerekli tüm işlevleri kapsamaktadır (OECD, 2020).

Yazılım uygulaması, istemci-sunucu mimarisine sahip; sunucu tarafı (uygulama) PHP programlama dili ile geliştirilmiş ve HTTP / 1.1 uyumlu bir web sunucusunda çalışmakta, istemci tarafı (kullanıcı ara yüzü) XHTML 1.0 Transitional, CSS 2 ve JavaScript 1.5 uyumlu ve Microsoft Internet Explorer, Mozilla Firefox, Google Chrome, Opera ve Apple Safari gibi yaygın web tarayıcılarında çalışmaktadır. Google Maps API, coğrafi veri görselleştirme ve haritalama için kullanılmaktadır.

Tanımlayıcı istatistikler, aralık aritmetiği, bulanık aritmetik, bulanık istatistikler, interpolasyon ve birim dönüştürme işlevlerini içeren bilimsel hesaplama kitaplığına sahiptir. Ayrıca küresel geometri hesaplamaları, yakınlık analizi ve haritalama desteği için bir GIS kitaplığı içermektedir. Analiz yöntemleri ve algoritmaları, çerçeve tarafından sağlanan bilimsel ve GIS kitaplıklarını da kullanmaktadır.

Modüler bir yapıya sahip olup modüllerin her biri Natech risk değerlendirmesinin belirli bir yönüne odaklanan, birbiriyle yakından bağlantılı ve kendi kendine yeten sistemlerdir. Her modül birkaç kayıt türünü kapsar ve bu kayıt türleriyle ilgili tüm veri giriş ara yüzlerini, veri tabanı sorgularını, yöntemleri ve araçları içermektedir. Sistemde bulunan altı modül aşağıda sıralanmıştır (Girgin, 2012).

• *Bilimsel Araçlar Modülü*; bibliyografik alıntı, birim dönüştürme ve CBS analizi için temel destek sağlamaktadır. Genel bir varlık özelliği tanımı ve tahmin çerçevesi de yer almaktadır.
• *Doğal Tehlikeler ve Natech Modülü*; katalog verileri dahil olmak üzere kaynağa ve sahaya özgü doğal tehlike bilgilerini, Natechs ve Natech ile ilgili yapısal hasar bilgilerini kapsamaktadır.
• *Tesisler ve Proses Birimleri Modülü*; endüstriyel tesisler, proses birimleri, tehlikeli maddeler ve saha özellikleri ile ilgili bilgiler bulunmaktadır.
• *Risk Değerlendirme Modülü*; uygulamanın ana modülü olup proses ünitelerinde doğal afet ile ilgili hasar durumlarını tanımlamak için hasar sınıflandırmaları, belirli tehlike parametreleri için hasar durumlarının olasılığını hesaplamak için kırılganlık eğrileri, hasar durumları tarafından tetiklenebilecek olası doğal teknoloji senaryolarını açıklamak için risk

durumları, doğal teknoloji senaryolarını tanımlamak, değerlendirmek ve risk değerlendirme raporları oluşturmak için haritalar dahil olmak üzere Natech risk değerlendirmesi için gerekli tüm işlevleri kapsamaktadır.

• *Yönetim Modülü;* web ile ilgili görevleri ve uygulamanın yönetimini desteklemektedir.

• *Geliştirme Araçları Modülü*; uygulamanın daha da geliştirilmesini kolaylaştırmak için araçlar sağlamaktadır.

RAPID-N değerlendirmesinin çıktısı, kullanıcı tarafından sağlanan tüm parametreleri içeren ve analiz için RAPID-N tarafından kullanılan bir risk özet raporu ve tüm potansiyel Natech senaryoları için belirli etki alanlarını gösteren etkileşimli bir risk haritasıdır. RAPID-N kimya ve proses endüstrisindeki deprem, sel ve boru hatlarındaki kazalar için uygulanabilmektedir. Arazi kullanımını ve acil durum planlamasını desteklemenin yanında afet durumunda gerçek zamanlı hasar değerlendirmesine dayalı karar vermeyi kolaylaştırmaktadır (OECD, 2020).

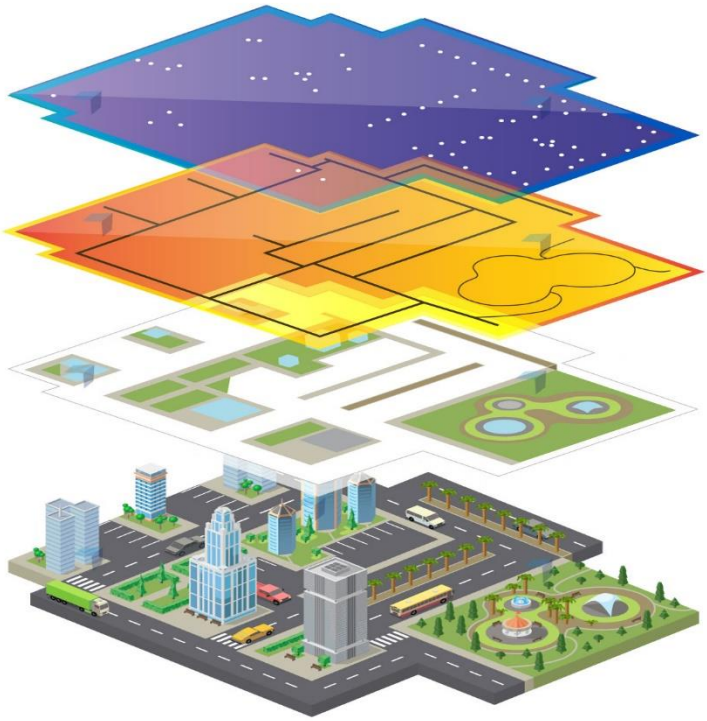


Şekil 2.12. Rapid-N ara yüz görünümü (Rapid-N, 2021)

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS); yeryüzüne ait bilgi ve verileri toplayan, bilgisayar ortamında depolayan, kontrol etme, güncelleştirme, görüntüleme ve analiz etme gibi işlemlere imkan sağlayan karar destek sistemi olarak tanımlanır. Coğrafi Bilgi Sistemleri donanım, yazılım,

insan, veri ve amaç olmak üzere beş bileşenden meydana gelmektedir. Koordinat bilgilerinin bulunması ile mekânsal objelerin konumlandırılmasını sağlayan vektör veri, görüntülerin küçük parçalara ayrılarak birbirine komşu hücrelerin gruplandırılarak bir araya gelmesiyle oluşan raster veri, haritasız herhangi bir nesnenin özelliklerini ortaya koyan coğrafi olmayan öznitelik verileri olarak 3 farklı veri türü bulunmaktadır (Başarsoft, 2021). Coğrafi Bilgi Sistemleri üzerinden verilere göre alınan görüntüler farklılık göstermektedir (Resim 2.16).



Resim 2.16. Coğrafi Bilgi Sistemleri üzerinden alınabilecek görüntüler (Başarsoft, 2021)

CBS ve uzaktan algılama teknikleri, doğal tehlikeleri izlemenin yanı sıra endüstriyel ve Natech olaylarında yalnızca modelleme için değil, tehlike ve risk yönetimi eylemlerinde giderek daha önemli hale gelmektedir. Önemli endüstriyel kazalara yol açabilecek doğal ve insan kaynaklı tehlikeler, kapsamlı CBS tabanlı Natech risk yönetimi ile ele alınmalıdır. Natech' lerin tespiti, izlenmesi ve haritalanması çalışmalarla geliştirilmiştir (Naderpoura, 2019).

Natech' lerin sınırlandırılması ve kısıtlanması DLR (Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt), ESA (Avrupa Uzay Ajansı), NASA (Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi), NOAA (Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi) ve EUM ETSAT (Avrupa Meteorolojiden Yararlanma Örgütü) üzerinden sağlanan uydu görüntüleri, istatistiksel CBS modelleri ile

yapılabilmektedir. Yakalanan bilgiler gerçek zamanlı olarak jeo-uzamsal çerçevelere aktarılabilmektedir. Natech olaylarında tespit ve müdahalenin daha efektif olması için hızlı coğrafi veri toplama, işleme ve haritalama için ulaşılması en önemli hedef haline gelmektedir (Naderpoura, 2019).

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

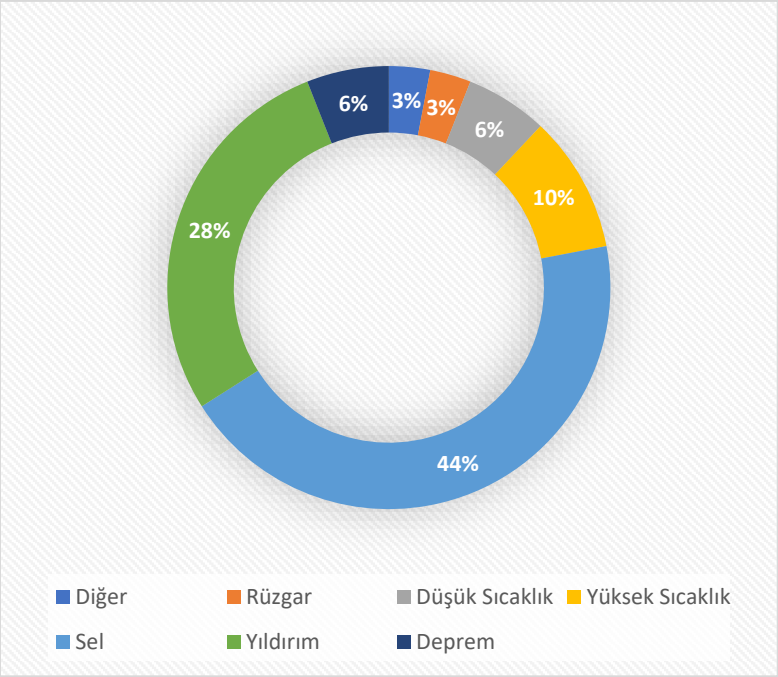
Literatür araştırması doğal afetlerin tetiklediği teknolojik kaza verilerinin değerlendirilmesi ve doğal afetlerin tetiklediği teknolojik kazaların risk değerlendirmesi/analizi olmak üzere iki ana başlık altında incelenmiştir.

3.1. Doğal Afetlerin Tetiklediği Teknolojik Kazaların Kaza Verilerinin Değerlendirilmesi

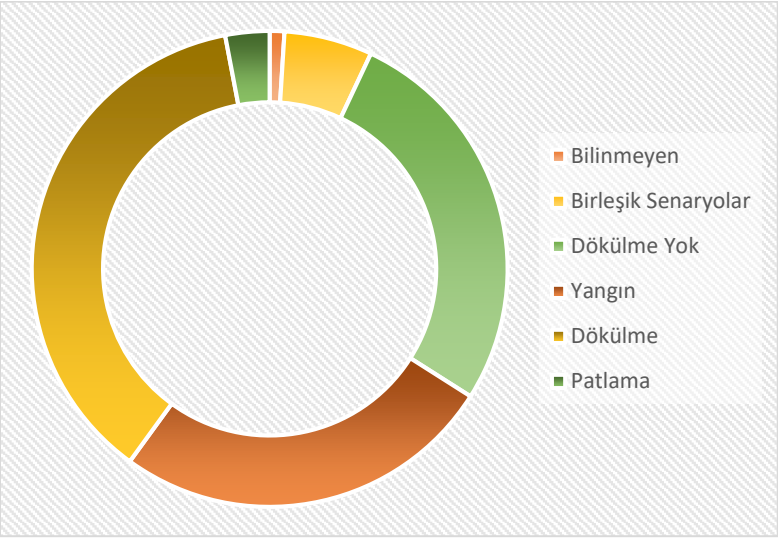
Ricci vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada Natech olaylarının eğilimi, coğrafi dağılımı, nihai teknolojik senaryoları insan ve ekonomik kayıpları bakımından değerlendirmek amaçlanmış; bu amaç doğrultusunda son 70 yılda meydana gelen 9100 geçmiş kazanın bir veri seti derlenmiş ve analiz edilmiştir. Veriler eMARS, MHIDAS, NRC, TAD IChemE, ARIA ve CONCAWE veri tabanları üzerinden toplanmıştır. Çalışma sonucunda fırtına, aşırı sıcaklık ve yıldırım gibi meteorolojik olayların %85 oranla Natech senaryolarının ana tetikleyicisi olduğu saptanmıştır. Meydana gelen kazaların çoğunlukla toksik yayılımla neden olduğu görülmüştür (Ricci, 2021).

Ricci vd. (2020), 1948-2018 yılları arasında soğuk hava dalgası ve sıcak hava dalgası gibi aşırı sıcaklıkların neden olduğu kazaların yıllar içindeki eğilim, coğrafi konum, nihai senaryolar ve ilgili endüstriyel sektörlerin türü gibi temel özelliklerini vurgulamak amaçlanmıştır. ARIA, eMARS, MHIDAS ve FACTS veri tabanları üzerinden 305 adet geçmiş kaza belirlenmiş ve analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda aşırı sıcak ve soğuk havanın kazalar üzerinde önemli etkisi olduğu özellikle soğu havanın boru hatlarını kötü etkilediği, sıcak havanın atık arıtmada yangına sebep olduğu görülmüştür (Ricci, 2020).

Moreno vd. (2019), Kimya ve Proses Endüstrisini (CPI) etkileyen toplam 438 Natech olayını coğrafi konum, tetikleyen afet türü ve etkilediği varlıklar yönünden analiz etmek amacıyla yaptığı çalışmada ARIA, FACTS, eMARS veri tabanları kullanılarak veri sağlamışlardır. Çalışma sonucunda elde edilen grafikler Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’ de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde artan meteorolojik afetlerin önem arz ettiği ve sellerin önemli bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiş, geçmiş kaza analizlerinin risk analizi ve acil durum müdahale planlamasında zengin bilgi kaynağı oluşturduğu bir kez daha ortaya koyulmuştur (Moreno, 2019).



Şekil 3.1. Meydana gelen doğal olaylar



Şekil 3.2. Oluşan Natech senaryoları

Renni vd., (2010) tarafından yapılan çalışmada endüstriyel tesislerde yıldırım riskini değerlendirmek için nicel bir yaklaşımın geliştirilmesine katkıda bulunmak amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında ARIA, NRC, MHIDAS, FACTS, MARS ve TAD veri tabanından elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Veriler tehlikeli madde muhafazasında kayıp meydana gelmesi, tehlikeli madde bulunduran endüstriyel faaliyette meydana gelmesi, sahada veya saha dışında büyük kaza senaryolarına neden olması kriterlerine göre seçilmiştir. En savunmasız ekipman kategorisi depolama tanklarının olduğu; yıldırım sonucunda ani

ateşleme, elektrik ve elektronik sistem arızasına müteakip serbest bırakma ile yapısal hasar oluşturmaktadır. Zehirli salınımlar ve tank yangınları yıldırım çarpmalarıyla ilişkili en yaygın senaryolar olma eğiliminde olduğu ve kaza sonrası yağ, dizel, benzinin en sık salınan maddeler olduğu görülmüştür (Renni, 2010).

Girgin (2011), yaptığı çalışmada 1999 Kocaeli depremi sonrası TÜPRAŞ İzmit Rafinerisi'nde meydana gelen yangın ve AKSA akrilik elyaf üretim fabrikasında akrilonitril sızıntısı olayları üzerinden Natech olaylarının önemi vurgulamak istemiştir. Kazanın etkileri analiz edilmiş ve TÜPRAŞ'ın deprem bölgesinde yer almasına rağmen planlamalarını bu yönde yapmadığı belirtilmiştir. Tanklarda köpük sistemlerin olmaması, yetersiz dizel pompaları, sprinkler sistemlerinin sınırlı uygulaması, birlikte çalışmayan yangın suyu bağlantıları, yetersiz muhafaza havuzları, yangın söndürme kulelerinin olmaması, koordinasyon ve yönetimdeki eksiklikler göze çarpmıştır. AKSA ve TÜPRAŞ özelinde değerlendirme yapıldığında tesislerde Natech için hazırlıkların az olduğu ve tesis ne kadar büyük ve gelişmiş olsa da risklerin planlamalarda göz ardı edildiği oraya koyulmuştur (Girgin, 2011).

Krausmann vd., (2008) tarafından yapılan çalışmada kapsamlı tehlikeli madde salınımlarına neden olma potansiyeline sahip sel kaynaklı büyük teknolojik hasar veya arıza yollarını göstermek amaçlanmıştır. Endüstriyel tesislerin su basması ile ilişkili riski, geçmiş vakaların analizi ve uzman görüşü kullanılarak araştırmaktadır. Taşkın şiddetinin üç seviyesinin, (eko-)toksik, yanıcı veya patlayıcı malzemeleri depolayan ve/veya işleyen seçilmiş endüstriyel tesisler üzerindeki potansiyel etkisi niteliksel olarak analiz edilmiştir. Analiz sonucunda doğal afetlerin tehlikeli madde salınımını ve diğer teknolojik kaza türlerini tetikleme potansiyeline sahip olduğunu görülmüştür. Taşkın yoğunluğunu potansiyel hasar düzeyine bağlayan bir ölçek geliştirilmiş ve sunulmuştur (Krausmann, 2008).

Çizelge 3.1. Doğal afetlerin tetiklediği teknolojik kazaların kaza verilerinin değerlendirilmesi literatür özet çizelgesi

Referans	**Çalışmanın başlığı**	**Çalışmanın amacı**	**Çalışmada kullanılan yöntemler**	**Çalışmada elde edilen sonuçlar**
Ricci F., Moreno V.C., Cozzani V. Process Safety and Environmental Protection (2021)	Proses Endüstrisinde Natech Olaylarının Oluşumunun Kapsamlı Bir Analizi	Natech olaylarının eğilimini, coğrafi dağılımını, nihai teknolojik senaryoları ve insan kayıpları ve varlıkları açısından sonuçları anlamak amacıyla yapılmıştır.	Son 70 yılda meydana gelen 9100 geçmiş kazanın bir veri seti derlenmiş ve analiz edilmiştir.	Fırtına, aşırı sıcaklık ve yıldırım gibi meteorolojik olayların %85 oranla Natech senaryolarının ana tetikleyicisi olduğu, kaza sonucunda genelde toksik yayılıma neden olduğu görülmüştür.
Ricci F., Cossan Moreno V., Cozzani V. Chemıcal Engıneerıng Transactıons (2020)	Kimya ve Proses Endüstrisinde Aşırı Sıcaklıkların Tetiklediği Natech Kazalarının Analizi	1948-2018 yılları arasında soğuk hava dalgası ve sıcak hava dalgası gibi aşırı sıcaklıkların neden olduğu kazaların yıllar içindeki eğilim, coğrafi konum, nihai senaryolar ve ilgili endüstriyel sektörlerin türü gibi temel özelliklerini vurgulamak amaçlanmıştır.	ARIA, eMARS, MHIDAS ve FACTS veri tabanları üzerinden 305 adet geçmiş kaza belirlenmiş ve analiz edilmiştir.	Aşırı sıcak ve soğuk havanın kazalar üzerinde önemli etkisi olduğu özellikle soğu havanın boru hatlarını kötü etkilediği, sıcak havanın atık arıtmada yangına sebep olduğu görülmüştür.

Çizelge 3.1. (devamı) Doğal afetlerin tetiklediği teknolojik kazaların kaza verilerinin değerlendirilmesi literatür özet çizelgesi

Referans	**Çalışmanın başlığı**	**Çalışmanın amacı**	**Çalışmada kullanılan yöntemler**	**Çalışmada elde edilen sonuçlar**
Cossan Moreno V., Ricci F., Sorichetti R., Misuri A., Cozzani V. Chemical Engıneering Transactions (2019)	Kimya ve Proses Endüstrisinde Doğal Olayların Başlattığı Geçmiş Kazaların Analizi	Kimya ve Proses Endüstrisini (CPI) etkileyen toplam 438 Natech olayını coğrafi konum, tetikleyen afet türü ve etkilediği varlıklar yönünden analiz etmek amaçlanmıştır.	ARIA, FACTS, eMARS veri tabanları kullanılarak analiz edilmiştir.	Artan meteorolojik afetlerin önem arz ettiği ve sellerin önemli bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Geçmiş kaza analizlerinin risk analizi ve acil durum müdahale planlamasında zengin bilgi kaynağı oluşturduğu bir kez daha ortaya koyulmuştur.
Renni E., Krausmann E., Cozzani V. Journal of Hazardous Materials (2010)	Yıldırımın Tetiklediği Endüstriyel Kazalar	Endüstriyel tesislerde yıldırım riskini değerlendirmek için nicel bir yaklaşımın geliştirilmesine katkıda bulunmak amaçlanmıştır.	ARIA, NRC, MHIDAS, FACTS, MARS ve TAD veri tabanından elde edilen veriler değerlendirilmiştir.	En savunmasız ekipman depolama tanklarının olduğu ve yıldırım çarpması sonucu zehirli salınım ve tank yangınlarının meydana geldiği saptanmıştır. Kaza sonrası yağ, dizel, benzinin en sık salınan maddeler olduğu görülmüştür.

Çizelge 3.1. (devamı) Doğal afetlerin tetiklediği teknolojik kazaların kaza verilerinin değerlendirilmesi literatür özet çizelgesi

Referans	**Çalışmanın başlığı**	**Çalışmanın amacı**	**Çalışmada kullanılan yöntemler**	**Çalışmada elde edilen sonuçlar**
Girgin S. Natural Hazards and Earth System Sciences (2011)	17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi Sırasındaki Natech Olayları: Sonrası ve Öğrenilen Dersler	1999 Kocaeli depremi sonrası TÜPRAŞ İzmit Rafinerisi'nde meydana gelen yangın ve AKSA akrilik elyaf üretim fabrikasında akrilonitril sızıntısı olayları üzerinden Natech olaylarının önemi vurgulamak istemiştir.		Riskler yeterince dikkate alınmadığında en büyük ve görünüşte iyi hazırlanmış tesislerin bile Natechlere karşı savunmasız olabileceği gözlenmiştir.
Krausmann E., Mushtaq F. Natural Hazards (2008)	Sellerin Seçilmiş Endüstriyel Tesisler Üzerindeki Etkisine Yönelik Nitel Bir Natech Hasar Ölçeği	Kapsamlı tehlikeli madde salınımlarına neden olma potansiyeline sahip sel kaynaklı büyük teknolojik hasar veya arıza yollarını göstermek amaçlanmıştır.	İncelenecek sektör türleri için gerekli veriler belirlenerek toplanmıştır. Sonrasında hem doğal hem de teknolojik tehlikeye ilişkin varsayımlar formüle edilmiştir.	Mevcut veriler analiz edilip değerlendirilmiş ve analiz sonuçlarını tablo halinde toplayan geçici bir hasar ölçeği oluşturulmuştur. Natech olayları hakkında standart raporlama ve kayıt tutma eksikliğine bağlı bilgi yetersizliği olduğu görülmüştür.

3.2. Doğal Afetlerin Tetiklediği Teknolojik Kazaların Risk Değerlendirilmesi/Analizi

Wang vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada atmosferik depolama tanklarının Natech olaylarındaki çoklu doğal afetlere karşı savunmasızlığını hızlı ve esnek bir şekilde değerlendirmek için sağlam ancak basitleştirilmiş bir metodoloji sunmak amaçlanmıştır. Önerilen metodoloji basitleştirilmiş fiziksel modeller ve limit durum denklemleri olmak üzere 8 adımdan oluşmaktadır. Mevcut sel hasarı modelleri ve rüzgar kaynaklı tank burkulma modeline dayalı olarak rüzgarda devrilme ve dolu kaynaklı burkulmanın fiziksel modelleri oluşturulmuştur. Ek olarak tank savunmasızlığının değerlendirme süreci deterministik analiz ve olasılıksal analiz olarak iki açıdan gösterilmektedir. Metodolojide ve Monte Carlo simülasyon yönteminde belirsiz parametre setinin, çeşitli parametrelerin etkisinin analiz edilmesine yardımcı olabileceği belirtilmiştir. Metodoloji, geliştirilen yeni fiziksel modeller ile diğer doğal afetler veya diğer endüstriyel tesisler dahil olmak üzere Natech olaylarına da uygulanabileceği sonucuna varılmıştır (Wang, 2021).

Misuri vd. (2020), yaptıkları çalışmada yıldırımla tetiklenen Natech olaylarının artmasına neden olan domino senaryolarının kapsamlı QRA' sı için bir metodoloji geliştirmek amaçlamıştır. Yıldırım riski değerlendirmesini, probit yaklaşımına ve kombinatoryal analize dayalı domino tırmanışı için olasılık modellerini içerecek şekilde uyarlayan kapsamlı bir prosedür elde edilmiştir. Geliştirilen metodoloji, domino etkisi nedeniyle risk rakamlarındaki değişimi ve ikincil domino senaryolarının güvenilirliğini kanıtlamak için bir vaka çalışmasına uygulanmıştır. Yıldırım kaynaklı Natech birincil senaryoları ve bunların tırmanması göz önüne alındığında, geleneksel senaryolar için hesaplanan riske göre iki büyüklük mertebesine kadar bir artışın mümkün olduğu sonucuna varılmıştır (Misuri, 2020).

Mayorga vd. (2019), tarafından yapılan çalışmada depolama tanklarının performans analizi ve tasarımında kullanılabilecek kırılganlık eğrilerinin geliştirilmesi; çok çeşitli tank konfigürasyonları ve çeşitli depolama parkı / alan kurulumları için Natech tabanlı bir yaklaşım sunmak amaçlanmıştır. Tank dizileri için kırılganlık eğrileri türetilmiştir. Depolama tanklarının kırılganlık eğrileri için elde edilen sonuçların, girdi tasarımı ve işletme parametrelerinin etkisi açısından mevcut literatürle tutarlı olduğu görülmüştür (Mayorga, 2019).

Girgin vd. (2019), tarafından yapılan çalışmada Natech risklerinin NRA' larda nasıl ve hangi ortamda değerlendirilmesi gerektiği konusunda fikir vererek NRA' da ki Natech boşluğunu doldurmak amaçlanmıştır. NRA' da Natech değerlendirmesini engelleyen sorunlar tartışılmıştır. NRA' da Natech değerlendirmesini engelleyen sorunlar tartışılmış ve varılan sonuçlar;

- NRA çoklu tehlike riski terminolojisindeki belirsizlikler,
- Ekipmanın doğal tehlikelere karşı savunmasızlıkları hakkında ayrıntılı bilgi eksikliği,
- Sınırlı sayıda ekipmanı ve doğal tehlikeleri kapsayan yetersiz Natech senaryoları,
- İyi tanımlanmış ve konsolide edilmiş bir Natech risk değerlendirme metodolojisinin bulunmaması,
- Analiz için veri ve araçların sınırlı olması,
- Natech risk değerlendirme sürecinin her aşamasında önemli belirsizlikler şekilde sıralanmıştır.

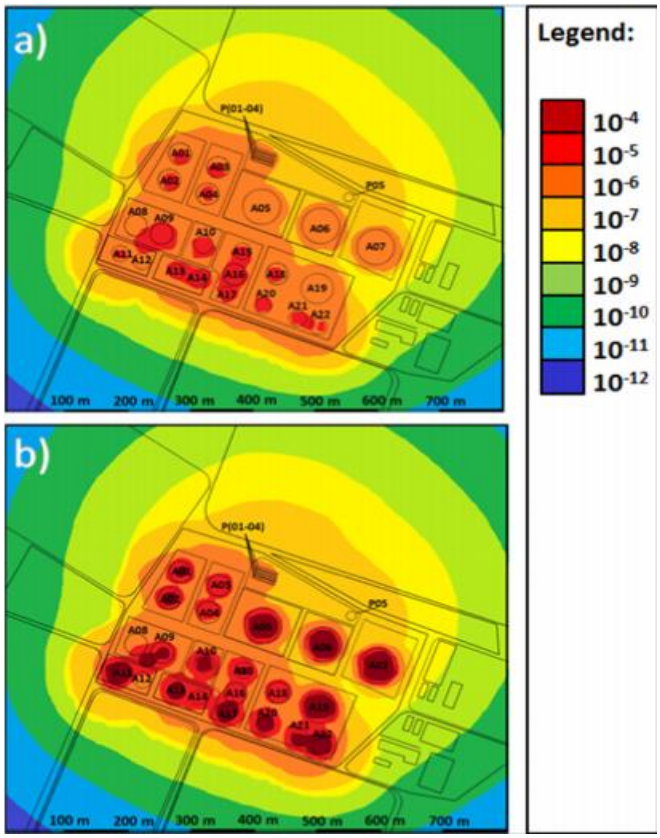
Çalışma sonucunda NRA Natech değerlendirmelerinde tutarlılığının geliştirilebileceği ve ulusal olmasına rağmen bölgesel olarak daha küçük ölçüde de uygulanabileceği sonucuna varılmıştır (Girgin vd., 2019).

Naderpour vd. (2019), yapılan çalışmada iklim ve bitki örtüsü türlerine ilişkin olarak ulusal düzeyde yanan ormanın hava nem miktarını yangın olasılığına göre tahmin etmenin farklı yöntemlerini değerlendirmek, son on yılda geliştirilen son teknoloji yöntemlerin gözden geçirilmesi amaçlanmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemi ve Uzaktan Algılama Sistemleri gibi jeo-uzamsal teknolojiler kullanılarak orman yangını ve ilgili Natech alanlarında kullanılan mevcut yöntemler hakkında sistematik bir literatür taraması yapılmıştır. Orman yangınları ve potansiyel Natech durumlarını modellemek amacıyla Coğrafi Bilgi Sistemine (CBS) dayalı yöntemleri analiz edilmiştir. Veriye dayalı yaklaşımların en sık uygulanan yöntemler olduğunu, topluluk yaklaşımlarının ise daha doğru olduğu sonucuna varılmıştır (Naderpour, 2019).

Olivar (2018), yaptığı çalışmada doğal tehlikelerin neden olduğu Natech olaylarına maruz kalabilecek endüstriyel depolama ekipmanlarının kırılganlığını değerlendirmek amaçlanmıştır. Hem depolama tankı parametrelendirmesini hem de doğal tehlike karakterizasyonunu entegre etmeyi sağlayan NaTech Tank Analyzer (NaTanks) adlı bir

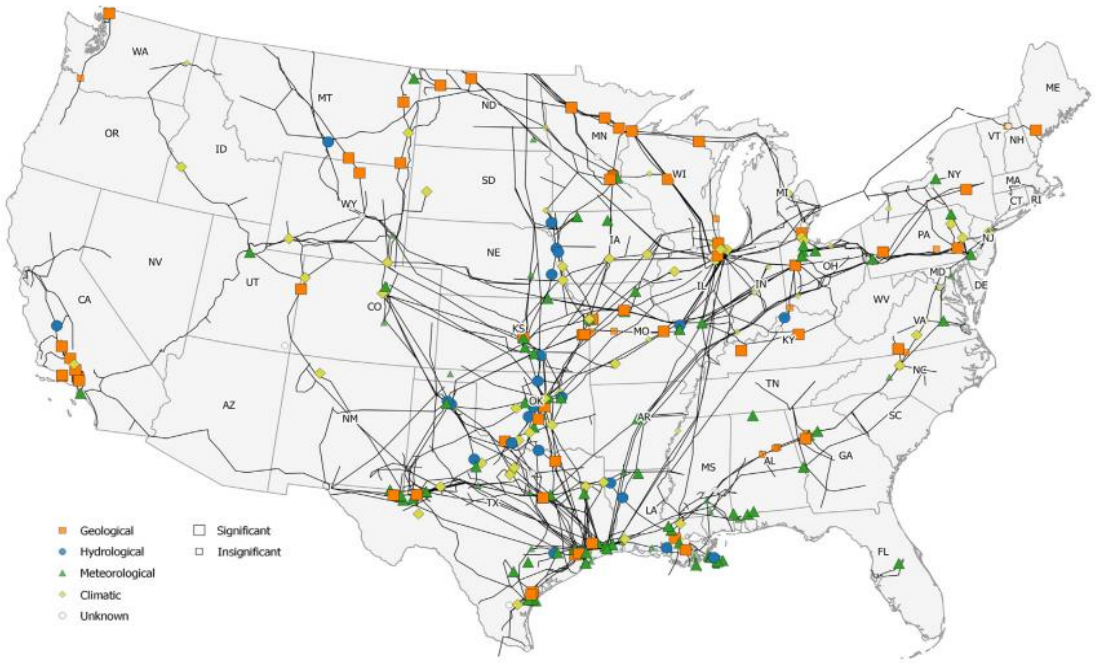
bilgisayar aracı tasarlanmıştır. NaTanks aracıyla kırılganlık analizi uygulanmıştır. Analiz sonucunda tankın fiziksel özelliklerinin ve çalışma seviyesinin, elde edilen kırılganlık eğrilerine yansıyan doğal tehlikeden etkilendiğinde ekipmanın stabilitesini önemli ölçüde etkilediği görülmüştür (Olivar, 2018).

Necci vd. (2016), yıldırımın tetiklediği kazaların Kantitatif Risk Değerlendirmesine (QRA) dahil edilmesi için bir metodoloji geliştirilme amacıyla yaptıkları çalışmada proses ekipmanı ve belirli ekipman güvenlik açığı modelleri üzerindeki yıldırım çarpması olasılığının değerlendirilmesi için bir model oluşturmuş, risk endekslerinin ölçülmesine izin veren özel olay ağaçlarına birleştirmişlerdir. Metodoloji geliştirilmiş ve yıldırım çarpmasının etkileri analiz edilmiştir. Endüstriyel ilgi alanlarına ilişkin birkaç vaka çalışmasına uygulanmış (Şekil 3.3) ve sonucunda atmosferik tanklarda etkili olduğu ortaya koyulmuştur. Geliştirilen metodolojinin yıldırım direklerinin kurulumuna dayalı olarak farklı yıldırımdan korunma stratejilerinin uygulanmasından sonra mevcut olan artık riskin değerlendirilmesine de izin verdiği belirtilmiştir (Necci, 2016).



Şekil 3.3. Vaka çalışması için 2 yerel risk haritasında; a) Yalnızca geleneksel kaza senaryoları ile b) Yıldırımla tetiklenen senaryoları ile hazırlanmıştır (Necci, 2016)

Girgin vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada Boru Hattı ve Tehlikeli Madde Güvenliği İdaresine (PHMSA) bildirilen karadaki tehlikeli sıvı boru hattı sistemi olayları, doğal tehlike tetikleyicileri vurgulayarak analiz etmek amaçlanmıştır. Veri madenciliği kullanılarak 1986-2012 yılları arasında 7000 vaka incelenmiştir. İncelenen vakalar sonucunda tüm önemli kazaların %5,5'inin (387 vaka) Natech olayı olduğu, %36'sının meteorolojik kaynaklı olduğu ve hidrolojik tehlikelerin en yüksek salınım miktarına neden olduğu, meteorolojik olayların ise %20'sinin şiddetli yağışlardan kaynaklandığı ve ardından %7'lik katkı payıyla fırtınalar ve tropikal kasırgalar izlediği görülmüştür. Salınımların %50'sinin toprağa verildiği ve olayların %20'sinden fazlasının yangınla sonuçlandığı tespit edilmiştir. 1994 Northridge Depremi (Mw 6.7) meteorolojik tehlikelerin %80'i yerüstünde salınımlara neden olduğu, Teksas' ın bu depremde tüm önemli Natechlerin %27'sine denk gelen hasarı aldığı belirtilmiştir. Boru hatlarını içeren Natechlerin yaklaşık %55'i boru rüptürü, kalan %35 sızıntı ve %10 valf bölgelerinde bileşen arızaları şeklinde olduğu saptanmıştır (Girgin, 2016).



Şekil 3.4. Natech olaylarının coğrafi dağılımı 1986-2012 yılları arası (Girgin, 2016)

Hajj vd. (2015), yaptığı çalışmada Natech olaylarına karşı hazırlıksız olan sanayi sektöründe boşlukları doldurmak ve operatörlere Natech risk değerlendirmesi konusunda rehberlik sağlamak için sistematik bir risk analizi metodolojisi geliştirmek amaçlanmıştır. Bu amaç

doğrultusunda bir endüstriyel tesisin kavramsal modellemesi yapılmıştır. Ardından MADS analizi ile tehlike kaynakları, tehlike akışları, hedefler ve başlatıcı olaylar kavramları kullanılarak Natech kazaları ve endüstride ardışık olaylara neden olan doğal bir tehlike ile karakterize edilen kaza senaryolarının detaylandırılmış; potansiyel tehlikeler tanımlanmış ve papyon diyagramıyla kaza senaryoları geliştirilmiştir. Papyon diyagramının endüstriyel kazaların dinamiklerini anlamaya yardımcı olduğu görülmüştür (Hajj, 2015).

Piccinelli ve Krausmann (2013), JRC' nin RAPID-N çerçevesini daha da geliştirmeyi ve doğrudan çerçeveye dahil edilebilecek mevcut taşkın Natech risk analizi metodolojilerini belirleyerek desteklemeyi amaçlamıştır. Bu amaçla Natech riskine odaklanarak literatürde mevcut olan risk analizi metodolojileri taranmıştır. Literatür taraması sonucu büyük ölçüde verilerin ekipman güvenlik açığı modellerinin oluşturulmasına izin vermek için yetersiz olması nedeniyle nicel sel Natech risk analizi metodolojilerinin yetersiz olduğu saptanmıştır (Piccinelli, 2013).

Çizelge 3.2. Doğal afetlerin tetiklediği teknolojik kazaların risk değerlendirilmesi/analizi literatür özet çizelgesi

Referans	**Çalışmanın başlığı**	**Çalışmanın amacı**	**Çalışmada kullanılan yöntemler**	**Çalışmada elde edilen sonuçlar**
Wang J., Weng W., Research Square (2021)	Çoklu Tehlike Senaryosunun Atmosferik Depolama Tankları Üzerindeki Etkisini Hızla Analiz Etmek İçin Basitleştirilmiş Bir Metodoloji	Atmosferik depolama tanklarının Natech olaylarındaki çoklu doğal afetlere karşı savunmasızlığını hızlı ve esnek bir şekilde değerlendirmek için sağlam ancak basitleştirilmiş bir metodoloji sunmak amaçlanmıştır.	Deterministik analiz ve olasılıksal analiz uygulanmıştır. Belirsiz Parametre Seti (UPS) ve Monte Carlo Simülasyonu yöntemi kullanılmıştır.	Yöntem, geliştirilen yeni fiziksel modeller ile diğer doğal afetler veya diğer endüstriyel tesisler dahil olmak üzere Natech olaylarına da uygulanabileceği sonucuna varılmıştır.

Çizelge 3.2. (devamı) Doğal afetlerin tetiklediği teknolojik kazaların risk değerlendirilmesi/analizi literatür özet çizelgesi

Referans	**Çalışmanın başlığı**	**Çalışmanın amacı**	**Çalışmada kullanılan yöntemler**	**Çalışmada elde edilen sonuçlar**
Misuri A., Antonioni G., Cozzani V. Journal of Loss Prevention in the Process Industries (2020)	Yıldırım Tarafından Tetiklenen Natech Senaryolarında Domino Etkisinin Nicel Risk Değerlendirmesi	Yıldırımla tetiklenen Natech olaylarının artmasına neden olan domino senaryolarının kapsamlı QRA' sı için bir metodoloji geliştirmek amaçlanmıştır.	Metodoloji, domino etkisi nedeniyle risk rakamlarındaki değişimi ve ikincil domino senaryolarının güvenilirliğini kanıtlamak için bir vaka çalışmasına uygulanmıştır.	Yıldırım riski değerlendirmesini, probit yaklaşımına ve kombinatoryal analize dayalı domino tırmanışı için olasılık modellerini içerecek şekilde uyarlayan kapsamlı bir prosedür elde edilerek metodoloji geliştirilmiştir. Yıldırım kaynaklı Natech birincil senaryoları ve bunların tırmanması göz önüne alındığında, geleneksel senaryolar için hesaplanan riske göre iki büyüklük mertebesine kadar bir artışın mümkün olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 3.2. (devamı) Doğal afetlerin tetiklediği teknolojik kazaların risk değerlendirilmesi/analizi literatür özet çizelgesi

Referans	**Çalışmanın başlığı**	**Çalışmanın amacı**	**Çalışmada kullanılan yöntemler**	**Çalışmada elde edilen sonuçlar**
Mayorga S.Z., Sánchez-Silva M., Ramírez Olivar O.J., Giraldo F.M. Reliability Engineering and System Safety (2019)	Depolama Tankları İçin Parametrik Kırılganlık Eğrilerinin Geliştirilmesi: Bir Natech Yaklaşımı	Depolama tanklarının performans analizi ve tasarımında kullanılabilecek kırılganlık eğrilerinin geliştirilmesi; çok çeşitli tank konfigürasyonları ve çeşitli depolama parkı / alan kurulumları için Natech tabanlı bir yaklaşım sunmak amaçlanmıştır.	Tank dizileri için kırılganlık eğrileri türetilmiştir.	Depolama tanklarının kırılganlık eğrileri için elde edilen sonuçların, girdi tasarımı ve işletme parametrelerinin etkisi açısından mevcut literatürle tutarlı olduğu görülmüştür.
Girgin S., Necci A., Krausmann E. International Journal of Disaster Risk Reduction (2019)	Ulusal Risk Değerlendirmesinde Basamaklı Çoklu Tehlike Riskleriyle Başa Çıkmak: Natech Kazaları Örneği	Natech risklerinin NRA' larda nasıl ve hangi ortamda değerlendirilmesi gerektiği konusunda fikir vererek NRA' da ki Natech boşluğunu doldurmak amaçlanmıştır.	NRA' da Natech değerlendirmesini engelleyen sorunlar tartışılmıştır.	NRA Natech değerlendirmelerinde tutarlılığının geliştirilebileceği ve ulusal olmasına rağmen bölgesel olarak daha küçük ölçüde de uygulanabileceği sonucuna varılmıştır.

Çizelge 3.2. (devamı) Doğal afetlerin tetiklediği teknolojik kazaların risk değerlendirilmesi/analizi literatür özet çizelgesi

Referans	**Çalışmanın başlığı**	**Çalışmanın amacı**	**Çalışmada kullanılan yöntemler**	**Çalışmada elde edilen sonuçlar**
Naderpoura M., Rizeeib H.M., Khakzadc N., Pradhan B. Reliability Engineering and System Safety (2019)	Orman Yangını Kaynaklı Natech Risk Değerlendirmesi: Jeo-uzamsal Teknolojiler Üzerine Bir İnceleme	İklim ve bitki örtüsü türlerine ilişkin olarak ulusal düzeyde yanan ormanın hava nem miktarını yangın olasılığına göre tahmin etmenin farklı yöntemlerini değerlendirmek amaçlanmıştır.	Orman yangınları ve potansiyel Natech durumlarını modellemek amacıyla Coğrafi Bilgi Sistemine (CBS) dayalı yöntemleri analiz edilmiştir.	Veriye dayalı yaklaşımların en sık uygulanan yöntemler olduğunu, topluluk yaklaşımlarının ise daha doğru olduğu sonucuna varılmıştır.
Olivar O.J.R. Universidad de los Andes Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü Bogota (2018)	NaTech Olaylarında Depolama Tanklarının Kırılganlık Değerlendirme Metodolojisi	Doğal tehlikelerin neden olduğu NaTech olaylarına maruz kalabilecek endüstriyel depolama ekipmanlarının kırılganlığını değerlendirmek amaçlanmıştır.	NaTech Tank Analyzer (NaTanks) adlı bir bilgisayar aracı ile kırılganlık analizi uygulanmıştır.	Tankın fiziksel özelliklerinin ve çalışma seviyesinin, elde edilen kırılganlık eğrilerine yansıyan doğal tehlikeden etkilendiğinde ekipmanın stabilitesini önemli ölçüde etkilediği görülmüştür.

Çizelge 3.2. (devamı) Doğal afetlerin tetiklediği teknolojik kazaların risk değerlendirilmesi/analizi literatür özet çizelgesi

Referans	**Çalışmanın başlığı**	**Çalışmanın amacı**	**Çalışmada kullanılan yöntemler**	**Çalışmada elde edilen sonuçlar**
Necci A., Antonioni G., Bonvicini S., Cozzani V. Reliability Engineering and System Safety (2016)	Yıldırımın Tetiklediği Büyük Kazalardan Kaynaklanan Riskin Niceliksel Değerlendirmesi	Yıldırımın tetiklediği kazaların Kantitatif Risk Değerlendirmesine (QRA) dahil edilmesi için bir metodoloji geliştirilmesi amaçlanmıştır.	Proses ekipmanı ve belirli ekipman güvenlik açığı modelleri üzerindeki yıldırım çarpması olasılığının değerlendirilmesi için bir model oluşturulmuş, risk endekslerinin ölçülmesine izin veren özel olay ağaçlarına birleştirilmiştir.	Metodoloji geliştirilmiş ve yıldırım çarpmasının etkileri analiz edilmiştir. Analiz sonucunda atmosferik tanklarda etkili olduğu ortaya koyulmuştur. Yıldırım kaynaklı risk artışının sınırlı olduğu ortaya konmuştur.
Girgin S., Krausmann E. Journal of Loss Prevention in the Process Industries (2016)	Doğal Tehlikelerin Tetiklediği ABD Kara Tehlikeli Sıvı Boru Hattı Kazalarının Tarihsel Analizi	PHMSA'ya bildirilen karadaki tehlikeli sıvı boru hattı sistemi olayları, doğal tehlike tetikleyicileri vurgulanarak analiz edilmesi amaçlanmıştır.	Veri madenciliği kullanılarak 1986-2012 yılları arasında 7000 vaka incelenmiştir.	Tüm önemli kazaların %5,5' inin Natech olayı olduğu, %36' sının meteorolojik kaynaklı olduğu ve hidrolojik tehlikelerin en yüksek salınım miktarına neden olduğu belirtilmiştir. Salınımların %50' sinin toprağa verildiği ve olayların %20' sinden fazlasının yangınla sonuçlandığı tespit edilmiştir.

Çizelge 3.2. (devamı) Doğal afetlerin tetiklediği teknolojik kazaların risk değerlendirilmesi/analizi literatür özet çizelgesi

Referans	**Çalışmanın başlığı**	**Çalışmanın amacı**	**Çalışmada kullanılan yöntemler**	**Çalışmada elde edilen sonuçlar**
Hajj C.E., Piatyszek E., Tardy A., Laforest V. Journal of Loss Prevention in the Process Industries (2015)	Endüstriyel tesislerin su basması ile tetiklenen kaza senaryolarının genel papyon diyagramlarının geliştirilmesi (Natech)	Natech olaylarına karşı hazırlıksız olan sanayi sektöründe boşlukları doldurmak ve operatörlere Natech risk değerlendirmesi konusunda rehberlik sağlamak için sistematik bir risk analizi metodolojisi geliştirmek amaçlanmıştır.	Bir endüstriyel tesisin kavramsal modellemesi yapılmıştır. Ardından MADS analizi ile potansiyel tehlikeler tanımlanmış ve papyon diyagramıyla kaza senaryoları geliştirilmiştir.	Papyon diyagramının endüstriyel kazaların dinamiklerini anlamaya yardımcı olduğu görülmüştür.
Piccinelli R., Krausmann E. JRC Technical Report (2013)	Seller için Natech risk analizi metodolojileri	JRC' nin RAPID-N çerçevesi daha da geliştirmeyi ve doğrudan çerçeveye dahil edilebilecek mevcut taşkın Natech risk analizi metodolojilerini belirleyerek desteklemek amaçlanmıştır.	Natech riskine odaklanarak literatürde mevcut olan risk analizi metodolojileri taranmıştır.	Büyük ölçüde verilerin ekipman güvenlik açığı modellerinin oluşturulmasına izin vermek için yetersiz olması nedeniyle nicel sel Natech risk analizi metodolojilerinin yetersiz olduğu gözlemlenmiştir.

Literatür araştırması sonucunda, Natech kazalarının farklı doğal afet türü tetikleyicisi olduğu, bu kazaların analizinde farklı risk analiz/değerlendirme yöntemlerinin kullanıldığı, tek bir risk analiz/değerlendirme yöntemi kullanımı yerine birden fazla yöntemi birleştiren metodolojilerin önemli olduğu görülmüştür. Ayrıca, Natech kazalarının risk analizine

yönelik mevzuatta yer almasına rağmen ülkemizde yapılmış herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

4. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Tez çalışmasında, öncelikle son 15 yılda meydana gelen Natech kazaları çeşitli veri tabanları üzerinden analiz edilmiş ve hakim doğal afet türleri ve bunların etkilediği proses ekipmanları değerlendirilmiştir. Ardından, öne çıkan doğal afet türleri ve proses ekipmanlarını barındıran, risk analizi çalışmaları yürütülecek il ve kuruluş seçimleri yapılmıştır. Son aşamada ise farklı risk analiz yöntemleri kullanılarak seçilen kuruluşlarda Natech kazalarının risk analizi çalışmaları yürütülmüştür.

4.1. Natech Kaza Verilerinin İstatistiksel Değerlendirmesi

Natech kazalarının istatistiksel değerlendirmesi amacıyla eMARS, EM-DAT ve eNatech veri tabanları analiz edilmiş ve 2006-2021 yılları arasında, son 15 yıl içerisinde meydana gelen Natech kazaları belirlenmiştir.

4.2. Risk Analizi Yapılacak İl ve Kuruluş Seçimi

Natech kazalarında öne çıkan doğal afet tipleri ve bu kazalardan etkilenen ekipman türleri değerlendirilmiştir. Türkiye' de bu afet türlerini içeren il ve bu ilde ilgili Yönetmelik kapsamında söz konusu ekipman türlerini barındıran kuruluşlar seçilmiştir (Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik, 2019).

4.3. Kuruluşlarda Yıldırımın Tetiklediği Natech Kazalarının Risk Analizi

Literatürde dünyadaki Natech kazalarının %85 oranla meteorolojik afetlerin tetiklemesi ile meydana geldiği ve bu sürecin en fazla etkilediği ekipmanın depolama tankları olduğu belirtilmiştir (Ricci ve ark., 2021; Renni ve ark., 2010). Yıldırım çarpması sonucu zehirli salınımlar ve tank yangınları meydana gelmektedir (Renni ve ark., 2010).

Ham petrolün rafinerizasyonu yanında bir dizi fiziksel ve kimyasal işleme tabi tutularak elde edilen LPG; taşıma esnasında basınç uygulanarak sıvı faza geçmekte ve tüketme aşamasında basınç kaldırılarak tekrar gaz haline geri dönmektedir. LPG' nin ortamda yüksek oranlarda bulunması merkezi sinir sistemi depresyonuna; gözlerde, mukoza zarında ve solunum

yollarında tahrişe neden olmaktadır. Sağlık açısından olumsuz etkilerinin yanında LPG havadan daha ağır olduğu için herhangi bir kaza ya da sızıntı halinde zeminde birikerek yanıcı ve patlayıcı bir ortam oluşturmaktadır. Aşırı gerilim ve yıldırımlardan en fazla zararı gören riskli tesislerden biri de LPG istasyonlarıdır (Açıkgöz, 2012). Bu durum LPG tesislerinin analiz edilmesi ve değerlendirilmesini önemli hale getirmektedir. Kuruluş seçiminde bu kimyasal envanterin varlığı da dikkate alınmıştır.

Yıldırım risk hesabı yapılırken insanlar için tehlike yapısı, orajlı gün sayısı, yapının meslek katsayısı, tesisin göreli konumu, yangın riski, hizmet tipi, elektrik hatları, yıldırımdan korunma düzeyi, montaj boyutları gibi unsurların göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Yılkomer, 2021).

Yıldırımın tetiklediği Natech kazaları seçilen kuruluşlarda, Yılkomer ve Radsan programları ve kantitatif risk analiz yöntemi kullanımı ile ayrı ayrı analiz edilmiştir.

4.3.1. Yılkomer ve Radsan Programları kullanımı ile risk analizi

Yıldırımın muhtemel etkilerinin belirlenen kuruluşlar özelinde değerlendirilmesi amacıyla metodolojiler araştırılmış, Yılkomer ve Radsan risk analiz programlarına ulaşılmıştır (EK 1-EK 2). Yılkomer risk analiz programının faraday kafesi, Radsan risk analiz programının ise paratoner sistem için uygulamaya koyulduğu görülmüştür. İki programın da varsayımı yıldırım çarpması durumda sistemlerin tesis üzerindeki etkinlik seviyesine ulaşmaktır. Yıldırım risk hesabında yapının; çevresel durumu, doluluğu, yapısal özellikleri, kullanımı parametreleri göz önünde bulundurulmaktadır. Yapının boy, uzunluk, en ve çalışılacak bölgenin yıldırımlı gün sayısının işlenmesi ile programa tanımlanmış formüller üzerinden analiz gerçekleştirilmektedir. Program üzerinde her şey tanımlanmış ve açık olarak belirtilmiştir. Bu durum kullanım kolaylığı sağlamaktadır.

Program içerisindeki parametreler tanımlanacak olursa;

- C1 Çevresel Katsayı: Yapıya yakın yapılar ve ağaçlara göre yapının çevredeki konumunun parametresidir. 0,25’ ten başlayıp 2’ ye kadar değerlendirilmektedir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Çevresel katsayı (C1)

Çevresel Katsayı (C1)		
C1	0,25	Yapı aynı& Daha yüksek ağaç ve yapılar arasında ise
	0,5	Yüksekliği az olan yapılarla çevrili ise
	1	En yakın yapıya uzaklık 3h mesafede ise
	2	Bölgede en yüksekte ise

- C2 Yapısal Katsayı: İnşa aşamasında kullanılan malzemenin türü ve çatı tipine göre yapının katsayı parametresidir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Yapısal katsayı (C2)

Yapısal Katsayı(C2)				
C2	Yapı/Çatı	Metal	Kiremit	Tutuşabilir/Yanıcı
	Metal	0,5	1	2
	Tuğla/Beton	1	1,5	2,5
	Tutuşabilir/Yanıcı	2	2,5	3

- C3 Yapısal Katsayı: Yapının yangın riskinin belirlendiği parametredir. 0,5’ ten başlayıp 3’ e kadar değerlendirilmektedir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Yapısal katsayı (C3)

Yapısal Katsayı (C3)		
C3	0,5	Değersiz yanıcı olmayan
	1	Normal, yanıcı
	2	Değerli, yanıcı
	3	Parlayıcı, yanıcı

- C4 Yapı Doluluğu: Yapının insanlar için tehlike durumunun parametresidir. 0,5’ ten 3’ e kadar değerlendirilmektedir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Yapı doluluğu (C4)

Yapı Doluluğu (C4)		
C4	0,5	Personelsiz bina
	1	Normal kalabalık
	3	Panik rizikolu, tahliye zorluğu

- C5 Yapı Doluluğu/ Yıldırım Sonucu: Bu parametre paratoner için kullanılan programda yıldırım sonucu, faraday kafesi için kullanılan programda yapı doluluğu olarak adlandırılmaktadır. Bu parametre yapının çevredeki önemini 1' den 5'e kadar değerlendiren parametredir (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. Yapı doluluğu/Yıldırım sonucu(C5)

Yapı Doluluğu/Yıldırım Sonucu (C5)		
C5	1	Sürekli kullanımı yok, çevrede değersiz
	5	Sürekli kullanımda, çevrede değersiz
	10	Çevrede değerli

- Etkinlik ve Koruma parametresi dahilinde etkinlik seviyesi maksimum 0,98 üstü ve minimum sıfır altı şeklinde kullanılan sistemin koruma seviyesi ve etki alanı sınıflandırılmaktadır. Koruma seviyeleri açıklanacak olursa;

  - Seviye 1: 200 kA' lik akım değerine sahip en güçlü yıldırım darbelerinin olduğu senaryo ele alınmaktadır. Ülkemizde bu kadar güçlü yıldırım darbeleri nadiren yaşanmaktadır. Güçlü yıldırım darbeleri alan bölgelerde yer alan petrokimya tesisleri yüksek tehlike sınıfında yer almaktadır.
  - Seviye 2: 150 kA' lik akım değerine sahip yıldırım düşmelerini kapsamaktadır. Ülkemizde Mersin, Burdur, Antalya, Aydın gibi güney illerimizde görülmektedir. Gelen güçlü darbeler hastanelerden fabrikalara kadar bu bölgede bulunan tesisler için yüksek risk içermektedir.
  - Seviye 3 ve 4: 100 kA' lik akım değerine sahip yıldırım düşmelerini kapsamaktadır. Ülkemizin birçok bölgesi bu güçlükte yıldırım darbelerini sıklıkla almakta; bu bölgelerde yer alan endüstriyel işletmeler ve fabrikalar ciddi risk taşımaktadırlar (Yılkomer, 2021).

Yıldırımdan Korunma Yönetmeliği kapsamında koruma seviyelerine göre yıldırım akım parametreleri Çizelge 4.6' da verilmiştir. Akımın tepe değeri I(kA) parametresi yıldırım akımının en yüksek değerini, toplam elektrik yükü Q_{top} (C) parametresi zıt elektrik yüklü bulut ile yer arasında gerçekleşen yıldırımdaki elektron yükünü, darbe elektrik yükü Q_{darbe} (C) parametresi yıldırım çarpması sonucu oluşan etkinin elektron yükünü, özgül enerji parametresi yıldırım akımının karesinin yıldırım boşalma süresi boyunca zamana göre

integralini ve ortalama diklik parametresi yıldırım akımının cepheye dikliğini ifade etmektedir. İndüklenen gerilim sebebi ile oluşan hasarlar cephe dikliğine bağlı olmakta ve tasarım amacı ile ortalama diklik parametresinde akım tepe değerinin %30-%90' ı arası ortalama eğim kullanılmıştır.

Çizelge 4.6. Koruma seviyelerine göre yıldırım akımı parametreleri (Yıldırımdan Korunma Yönetmeliği, 2021)

Yıldırım parametresi		Koruma seviyesi		
		1	2	3-4
Akımın tepe değeri	I (kA)	200	150	100
Toplam elektrik yükü	Q_{top} (C)	300	225	150
Darbe elektrik yükü	Q_{darbe} (C)	100	75	50
Özgül enerji	W/R (kJ/Ω)	10000	5600	2500
Ortalama diklik	$di/dt_{\%30-90}$(kA/μs)	200	150	100

- Programın hesaplar bölümünde yapının boyu, eni ve yüksekliği; C1, C2, C3, C4, C5 için yukarıda belirlenen sayısal değerler işlenerek bir sonraki aşama formüller kısmına geçilir. Program üzerinde tanımlı formüller ve tanımlar Çizelge 4.7' de verilmiştir.

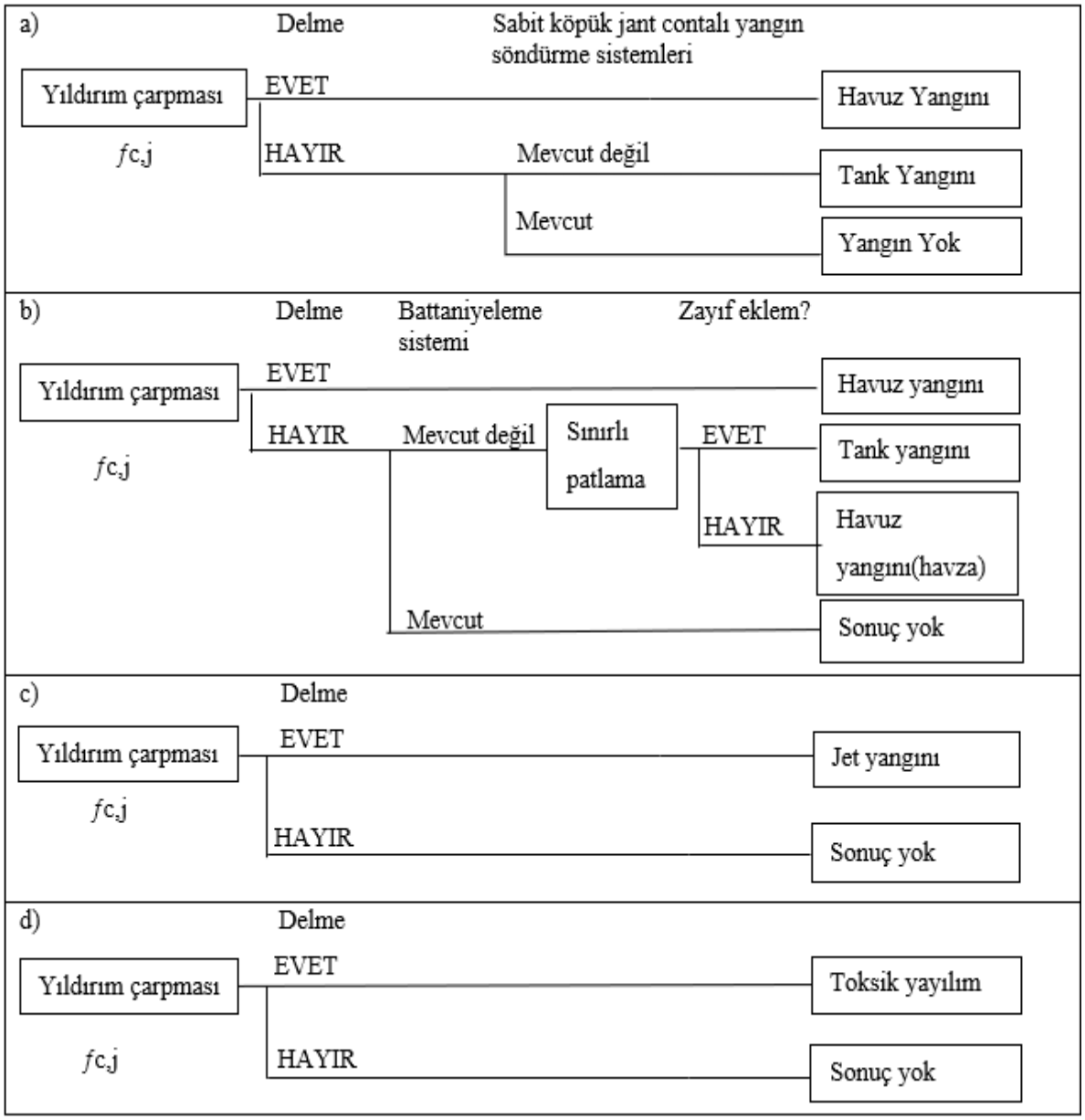
Çizelge 4.7. Formüller ve tanımlar

	Formüller	Tanımlar
FORMÜLLER	Ae=LxW+6xHx(L+W)+9xπxH²	Etkili eşdeğer alan
	Ng=0,04xNk^1,25	Yıldırım yoğunluğu
	Nd=NgxAexC1x10^ -6	Tesis için beklenen yıldırım sayısı
	Nk=17,8	Erzurum için yıldırımlı gün sayısı
	C=C2xC3xC4xC5	
	Nc=5,5x10^ -3/C	Onaylı yıldırım darbe sayısı
	E=1-(Nc/Nd)	Etkinlik

- Formüller kısmında Nk ifade edilen ortalama yıldırımlı gün sayısı kısmı için program içerisinde verilen Türkiye Oraj Haritası' na göre çalışılacak bölgenin değeri tanımlanır (EK 5). Bu tanımlanmanın ardından analiz gerçekleşir, etkinlik değeri ve koruma seviyesi elde edilir.

4.3.2. Kantitatif risk analizi

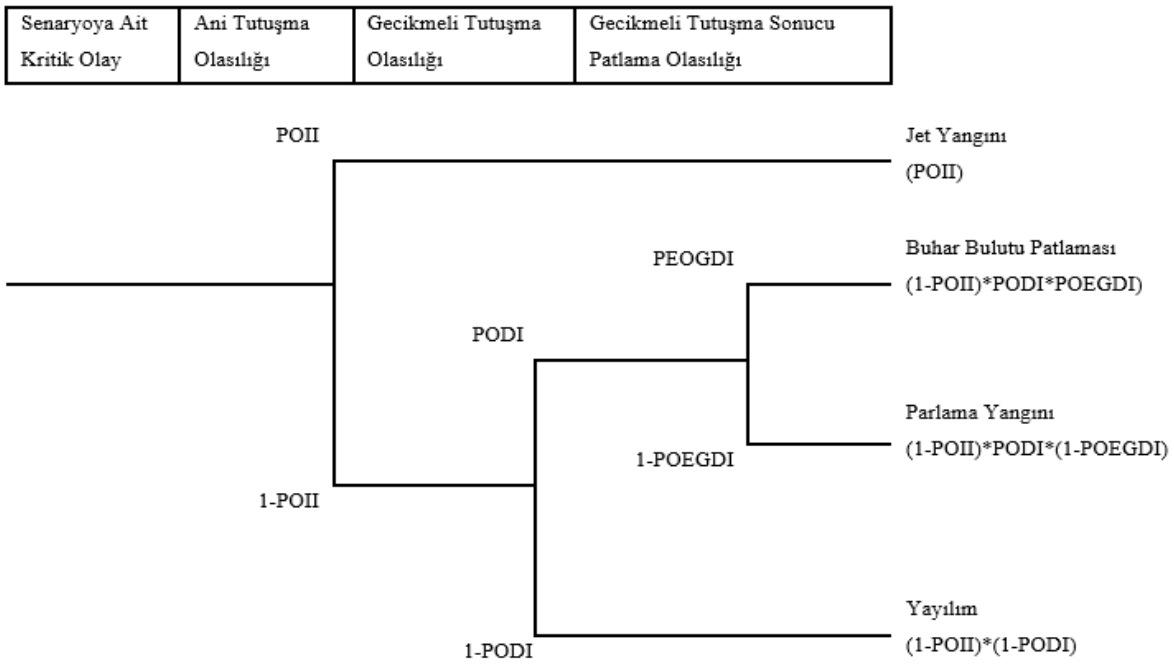
Endüstriyel kuruluşlarda yıldırım çarpması sonucu muhtemel olay ağaçları farklı tank tipleri için Şekil 4.1' de sunulmuştur.



Şekil 4.1. Yıldırım çarpmasıyla tetiklenen kaza senaryoları için olay ağaçları (ETs): a) yanıcı maddelerin depolandığı dış yüzer çatılar (EFRT), b) yanıcı maddelerin depolandığı konik çatı tankları (CRT) ve iç yüzer çatılar (IFRT), c) yanıcı maddelerin depolandığı basınçlı depolama tankları, d) CRT ve toksik maddelerin depolandığı basınçlı depolama tankları (Misuri, 2020)

Risk analizi çalışmalarının yürütüleceği her iki kuruluşta da yanıcı maddelerin depolandığı basınçlı depolama tankları yer almaktadır. Bu nedenle, bu tanklara yıldırım çarpması sonucu tankta bir delinme yaşanır ise jet yangını meydana gelme durumu söz konusudur.

Jet yangını senaryosu, Koruma Katmanları Analizi (LOPA) ile kantitatif hale getirilmiştir. Koruma Katmanları Analizi, istenmeyen bir kaza senaryosunun frekans değerine ulaşmak için kullanılmaktadır (TSE, 2010). Bu yöntemde, tetikleyici olaya ait frekans değerinin bilinmesi gereklidir. Tetikleyici olay frekansı 10mm' lik küçük bir delikten sızıntı varsayımı için $1x10^{-5}$/yıl; katastropik bir durum varsayımı için $5x10^{-7}$/yıl olarak belirtilmektedir (Misuri, 2020). Bağımsız koruma katmanlarının analiz edilerek hata frekanslarının bulunması da bu yöntemde önemlidir. Muhtemel kaza çıktılarına ait olay ağacı Şekil 4.2' de verilmiştir. Tümevarım yaklaşımına dayanan olay ağacı analizi, tetikleyici olayı izleyen farklı kaza senaryolarının frekans değerini hesaplamak için kullanılır. Olay ağacında üst ağaç dalı o olayın gerçekleştiğini, alttaki ise gerçekleşmediğini ifade eder.



Şekil 4.2. Örnek olay ağacı analizi

Olay ağacı analizinde değerlendirilecek yanıcı/patlayıcı gazlar/sıvıların tutuşma olasılıklarını bulmak için Tutuşma Olasılığı Hesaplama Modülü kullanılmıştır. Şekil 4.2' deki örnek Olay Ağacı Analizi' nde kullanılacak olan olasılıklar aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır (CCPS, 2014):

- Ani Tutuşma Olasılığı (Probability of Immediate Ignition – POII),
- Gecikmeli Tutuşma Olasılığı (Probability of Delayed Ignition – PODI),
- Gecikmeli Tutuşma Sonucu Patlama Olasılığı (Probability of Explosion Given Delayed İgnition – POEGDI)

Modülde, üç farklı seviyede analiz yapan algoritmalar bulunmaktadır. Bunlar arasında en ileri seviye olan ve çeşitli parametre girişine imkan sunan Seviye 3 Analiz Algoritması kullanılmıştır. Muhtemel Natech senaryo için proses basıncı, proses sıcaklığı, sızıntı süresi, sızıntı çapı ve sızıntının kapalı alan/açık alanda olması gibi sızıntı koşulları ile tutuşturucu kaynağa alansal seçimi yapılarak modüle veriler tanımlanmıştır. Ardından, kuruluşun aldığı önlemler de dikkate alınarak ilgili kimyasal için ani tutuşma olasılığı hesaplanmıştır.

Şekil 4.2' deki olay ağacında yalnızca jet yangınına götüren kaza senaryosu (POII) dikkate alınarak yıldırımın tetiklediği kaza frekansı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$kaza\ frekansı = tetikleyici\ olay\ frekansıxani\ tutuşma\ olasılığı(POII)x\ operatör\ müdahalesi$$

Operatör müdahalesi, mevcut bağımsız koruma katmanı olarak varsayılmış ve ilgili yönetmelik gereği 0,1 olasılıkta temel alınmıştır (Büyük Endüstriyel Kazalar Yönetmeliği, 2019).

4.4. Kuruluşlarda Selin/Taşkının Tetiklediği Natech Kazalarının Risk Analizi

İnsan faaliyetlerinin tarihsel olarak dere yataklarında gelişmesi ve buralara endüstriyel tesislerinde inşa edilmiş olması endüstriyel tesisleri sele maruz bırakmaktadır. Sel sularının derinliği ve hızının Natech kazalarının tetikleyicisi olduğu belirtilmiştir (Mayorga, 2019). Selin oluşturduğu zarar derecesi sel özellikleri, konum özellikleri ve nüfus özelliklerine göre belirlenmektedir. Bina standartları, sistem tasarımı, uyarı sistemlerinin varlığı, toksik ve reaksiyona giren madde varlığı, yapısal direnç, drenaj kapasitesi ve zemine sabitleme, selin tetiklediği Natech kazaları sonucu oluşabilecek zararı etkileyen faktörler içerisinde yer almaktadır (Rota, 2008).

Sel endüstriyel tesisler üzerinde burkulma, 30 metreye kadar flotasyon, devrilme, sert sürtme, kayma, yer değiştirme, hidrolik basınç, flanş ve bağlantıların bozulması gibi doğrudan ve dolaylı sonuçlar doğurmaktadır (Olivar, 2018). Hasarlar endüstriyel tesislerde büyük kazalara neden olabilmekte; yangın, patlama, toksik yayılım ve çevre kirliliği gibi durumlar oluşmaktadır (Vallee, 2012).

Endüstriyel tesis yöneticilerinin, taşkınların tesislerine olası etkileri konusundaki anlayışlarını geliştirmeleri ve böyle bir doğal olayın neden olabileceği büyük kazaları veya tehlikeli madde salınımını analiz etmeleri, bunları önlemek için gereklidir.

Seçilen kuruluşlarda ön tehlike listesi ve Fine Kinney ile kantitatif risk analizi metotları kullanılarak analizler yürütülmüştür.

4.4.1. Ön tehlike listesi ve Fine Kinney Metodu ile risk analizi

Erzurum ilinde iki farklı konumda bulunan LPG depolama ve dolum tesislerini içeren kuruluşlar değerlendirilmiştir. Belirlenen kuruluşlar önce konum, çalışanlar, depolama tanklarının ekipmanları ve bağlantıları, depolama tankları içerisinde bulunan kimyasallar, kullanılan araçlar özelinde incelenmiştir. Ardından analizler sırasıyla ön tehlike listesi ve Fine Kinney metodu ile yürütülmüştür.

-Ön tehlike listesi

Elde edilen bilgilerle öncelikle sistemde olabilecek potansiyel tehlike ve aksiliklerin belirlenmesi için ön tehlike listesi hazırlanmıştır. Tehlikelerin belirlenmesi aşamasında potansiyel tehlikeli elemanlar, alt sistemler ve tehlikeli durumlar veri olarak kullanılmıştır. Tehlikelerin etkileri de göz önünde bulundurulmuştur (Demirdöğen, 2021).

-Fine Kinney Metodu

Fine- Kinney Metodu ile risklerin derecelendirilmesi; risklerin ortaya çıkma olasılığının, tehlikenin oluşturduğu şiddetin ve tehlikeye maruz kalma frekansının sayısal değerlerinin çarpımı ile yapılmaktadır. Risk değerinin hesaplanması ile risklerin sınıflandırılması için olasılık, frekans, şiddet skalaları (Çizelge 4.8) ve risk derecelendirme tablosu (Çizelge 4.9)

kullanılmaktadır. Olasılık, frekans ve şiddet değerleri ile ulaşılan risk değerine göre alınacak önlemlerin önceliği belirlenmektedir. Fine Kinney metodu ile risk analizi yaparken riske maruz kalan kişiler, riske maruz kalma ilişkileri, önlemlerin alınma imkanları, güvenlik önlemlerinin sürekli olması ve güvenlik önlemlerinin güvenilirliği çok önemlidir.

Çizelge 4.8. Fine-Kinney metodu olasılık, frekans ve şiddet skalaları (Demirdöğen, 2021)

OLASILIK	
Değer	Tanımlama
0,2	Beklenmez
0,5	Beklenmez ama mümkün
1	Mümkün ama düşük ihtimal
3	Olası
6	Yüksek/oldukça mümkün
10	Kesin beklenir
FREKANS	
Değer	Tanımlama
0,5	Çok seyrek (yılda bir veya daha seyrek)
1	Seyrek (yılda birkaç defa)
2	Sık değil (ayda bir veya birkaç defa)
3	Ara sıra (haftada bir veya birkaç defa)
6	Sıklıkla (günde bir veya birkaç defa)
10	Hemen hemen sürekli (bir saatte birkaç defa)
ŞİDDET	
Değer	Tanımlama
1	Ramak kala, iş saati kaybı yok, ilkyardım gerektirmez, çevresel zarar yok
3	Hafif yaralanma, küçük hasar, iş günü kaybı yok, ilk yardım gerektirir, sınırlı çevresel zarar
7	Yaralanma, önemli hasar, ayakta tedavi, harici ilk yardım, iş günü kaybı, düşük çevre zararı
15	Kalıcı hasar, ciddi yaralanma, uzun süreli tedavi, meslek hastalığı, iş gücü/ iş günü kaybı, çevreye orta düzey zarar
40	Ölümlü kaza/çevresel zarar
100	Birden fazla ölümlü kaza/ çevresel felaket

Çizelge 4.9. Fine-Kinney metodu risk düzeyi değerleri ve risk düzeyine göre yapılacak eylemler (Demirdöğen, 2021)

RİSK İNDEKSİ		YAPILMASI GEREKENLER
Değer	Risk Sınıfı	
R<20	Kabul Edilebilir Risk	Belirlenen riskleri ortadan kaldırmak için ilave kontrol proseslerin ihtiyaç duyulmayabilir.
20<R<70	Olası Risk	Mevcut kontroller sürdürülmeli ve bu kontroller denetlenmelidir
70<R<200	Önemli Risk	Belirlenen riskleri düşürmek için uzun vadede düzeltici/önleyici faaliyetler başlatılmalıdır
200<R<400	Yüksek Risk	Bu riskler için kısa vadede önlem alınmalı düzeltici/önleyici faaliyet başlatılmalıdır
R>400	Çok Yüksek Risk	Belirlenen risk kabul edilebilir seviyeye düşürülünceye kadar iş başlatılmamalı, devam eden bir faaliyet varsa durdurulmalıdır. Gerçekleşen faaliyetlere rağmen riski düşürmek mümkün olmuyorsa faaliyet engellenmelidir.

Sel/taşkın afetinin LPG depolama ve dağıtım tesislerinde Natech kazalarını tetiklemesi sonucu tesis ve çevresinde oluşabilecek muhtemel hasarlar ise Çizelge 4.10' da sunulmuştur.

Çizelge 4.10. LPG depolama ve dağıtım tesisleri için Natech olaylarını tetikleyen selin niteliksel bir hasar ölçeği (Krausmann, 2008)

Sel şiddeti düzeyi	Düşük	Orta	Yüksek
Toptan ve perakende depolama ve dağıtım (LPG, yakıt vb. dahil)	• Operasyonların durdurulması yok. • Uygulanan sel koruma önlemleri yok. • Depo binalarında, depoların etrafındaki setler yok. • Tankların yer değiştirmesi yok.	• Depo binalarının zarar görmesi var. • Sel sularının taşıdığı tehlikeli maddeler var. • Küçük depolama tanklarının yüzdürülmesi ve yer değiştirmesi var.	• Depo binalarında ciddi hasar var. • Tankların yüzdürülmesi ve yer değiştirmesi var. • Ekipmana zarar verme var.

Çizelge 4.10. (devamı) LPG depolama ve dağıtım tesisleri için Natech olaylarını tetikleyen selin niteliksel bir hasar ölçeği (Krausmann, 2008)

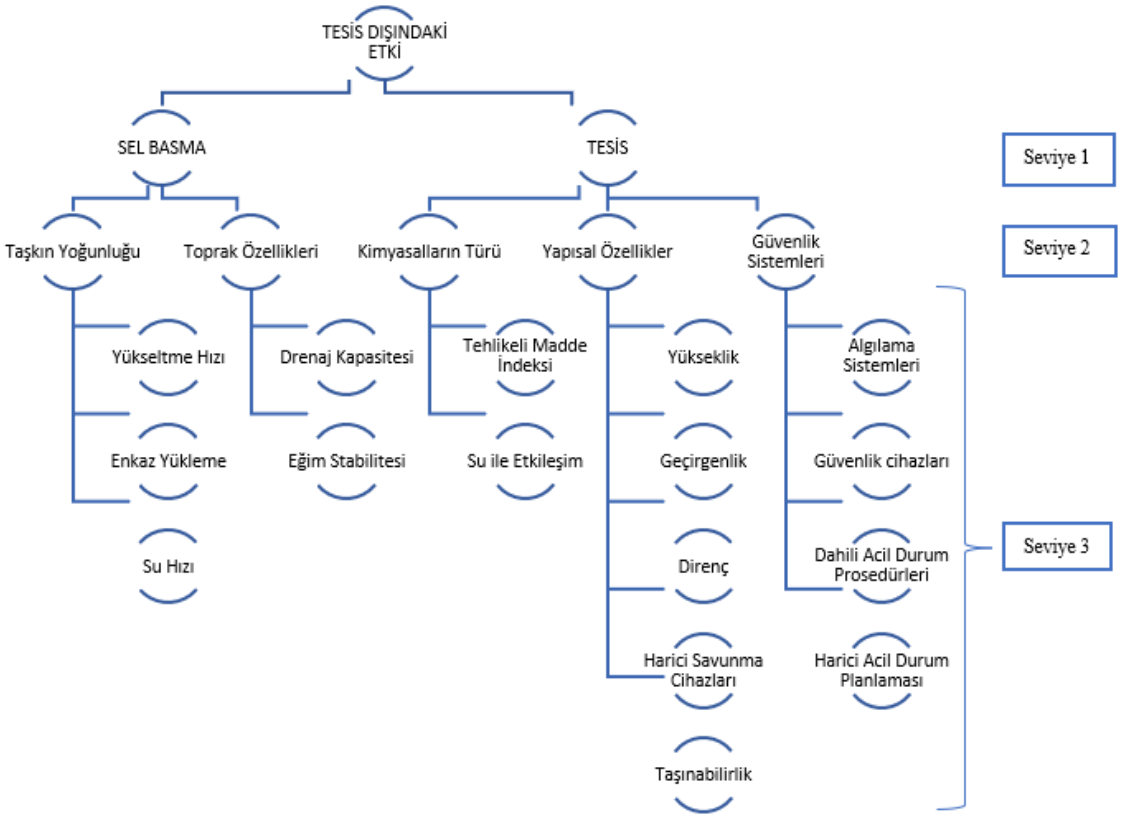
Sel şiddeti düzeyi	Düşük	Orta	Yüksek
Toptan ve perakende depolama ve dağıtım (LPG, yakıt vb. dahil)	• Küçük silindirik tankların düşük yer değiştirme riski var.	• Sahada tehlikeli maddelerin potansiyel salınımı var. • Küçük saha dışı kirlilik potansiyeli var. • Bir tutuşturma kaynağının varlığında yangın ve patlamalar var.	• Arızalı tanklardan veya yırtılmış boru bağlantılarından suya veya havaya potansiyel olarak büyük miktarda toksik madde salınımı var. • Ciddi saha dışı kirlilik potansiyeli var. • Bir tutuşturma kaynağının varlığında yanıcı ve/veya patlayıcı maddelerin salınması halinde yangın ve patlama riski var. • Tanklar ve kaplar arasında ve enkazla çarpışma nedeniyle artan salınım, yangın ve/veya patlama riski var. • Mevcut çok çeşitli maddeler nedeniyle beklenmeyen yan reaksiyon riski var.

Taşkınları, doğası gereği kontrol altına almak zordur ve büyük su hacmi engelleri aşarak endüstriyel tesislere ulaşarak olumsuz sonuçlara sebep olabilmektedir. Endüstriyel tesisler üretim süreçleri, kullanılan veya üretilen tehlikeli maddeler açısından kendine has özelliklere sahiptir. Sonuç olarak, LPG depolama ve dağıtım tesisleri de kullandıkları tehlikeli madde açısından belirli tehlike potansiyeli ve kırılganlığa sahiptir. Kuruluş 1, Çizelge 4.10' da verilen hasar ölçeği özelinde orta düzey sel şiddeti, Kuruluş 2 ise bulunduğu konum

itibariyle daha geniş alana tehlike arz etmesi sebebiyle yüksek sel şiddetine tekabül etmektedir.

4.4.2. Kantitatif risk analizi

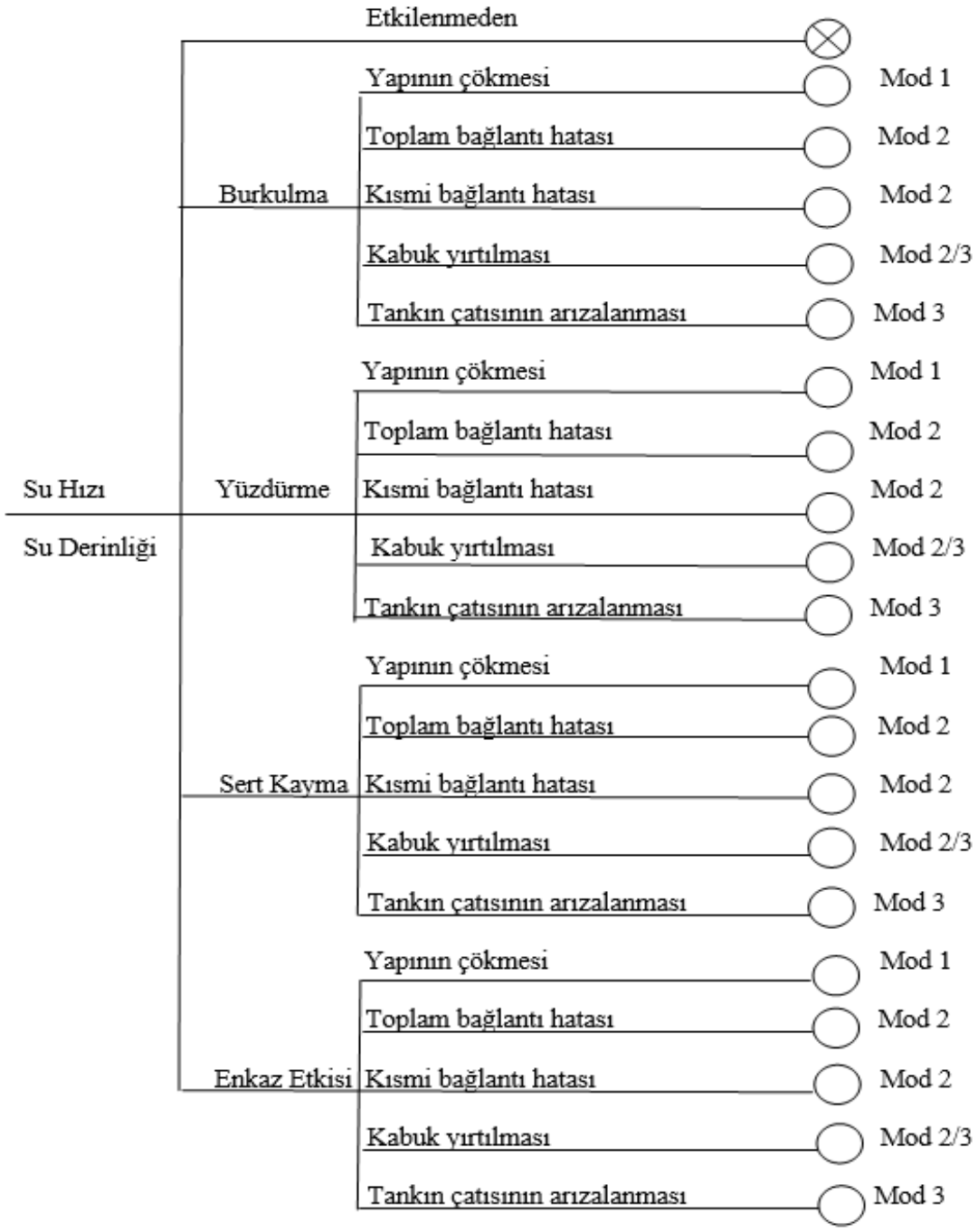
Büyük bir tehlike olasılığı hem tesis hem de taşkının karakteristiği ile ilişkili taşkın yoğunluğu, toprak özellikleri, kimyasalların türü, yapısal özellikler ve güvenlik sistemlerine ait diğer spesifik özelliklere bağlıdır. Natech kazasının etkisini değerlendirmede etkin kriterler Şekil 4.3' te verilmiştir.



Şekil 4.3. Bir Natech etkinliğinin etkisini değerlendirmek için kriterlerin hiyerarşisi (Rota, 2008)

Sel afetinin tetiklediği Natech kazasının etkisinin değerlendirmek için belirlenen kriterler, 3 seviyeye ayrılmıştır. Büyük bir tehlike olasılığının hem tesis hem de taşkının karakteristiğiyle ilişkili olduğu, her birinin diğer bazı belirli özelliklere (örneğin, taşkın yoğunluğu, toprak özellikleri, kimyasalların türü, yapısal özellikler ve güvenlik sistemleri) ve sırayla farklı alternatiflere bağlılığı ortaya çıkmaktadır.

Sel suyu hızına ve derinliğine bağlı olarak bir depolama tankı için olay ağacı Şekil 4.4' te verilmiştir.



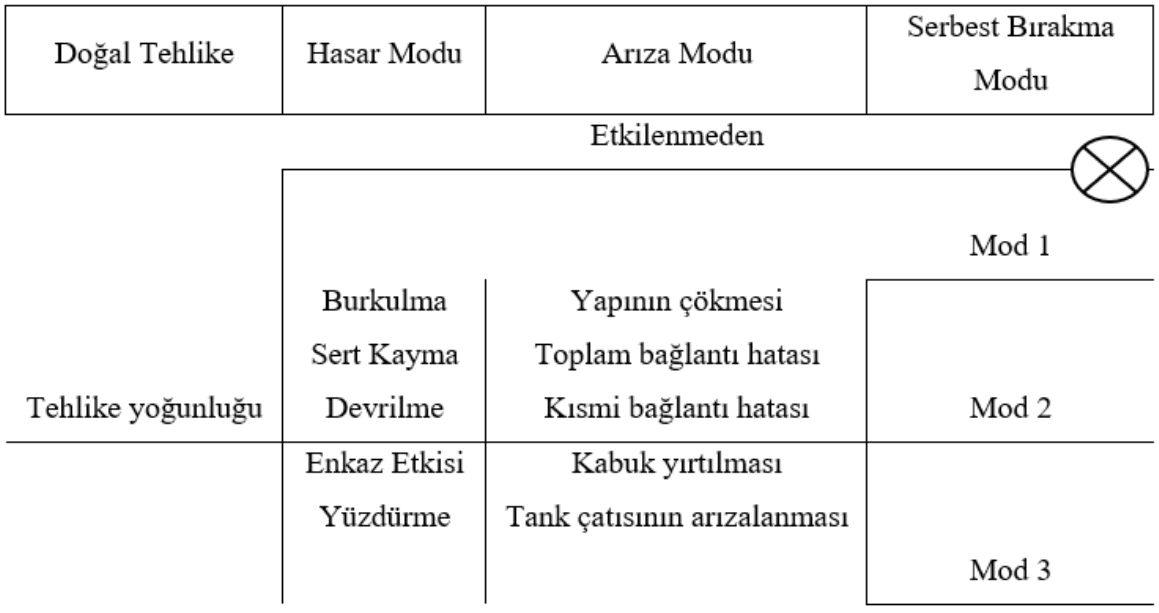
Şekil 4.4. Su hızına ve derinliğine bağlı olarak bir selden etkilenen bir depolama tankının olay sırasını tanımlayan olay ağacı (Olivar, 2018)

Şekil 4.4. üzerinde hasar modları göz önüne alındığında, bir depolama tankı kabuk burkulması, yer değiştirme veya kayma, yüzdürme, devrilme ve enkaz etkisinden zarar görebilmektedir. Tüm hasar modları, tüm doğal tehlikeler için geçerli olmamakla birlikte

muhtemel hasarın sonucu beş farklı arıza modu üzerinden sunulmuştur. Bunlar: yapının çökmesi, bağlantının tamamen arızalanması, bağlantının kısmen arızalanması, tank çatısının arızalanması ve kabuk yırtılması olarak sıralanabilir. Olası arıza modlarından biri gerçekleştiğinde, bütünlük kaybı meydana gelir. Bu ikincil kritik olay için, dökülme hacmi ve arıza tipolojisine bağlı olarak serbest bırakma/salınım modu oluşturulmuştur. Oluşturulan modlar;

- Serbest Bırakma Modu 1: Tüm içeriğin anında serbest bırakılması,
- Serbest Bırakma Modu 2: Sürekli ve sabit bir akışta tüm içeriğin 10 dakikada serbest bırakılması,
- Serbest Bırakma Modu 3: Etkin çapı 10 mm olan bir delikten sürekli serbest bırakılması olarak tanımlanmıştır.

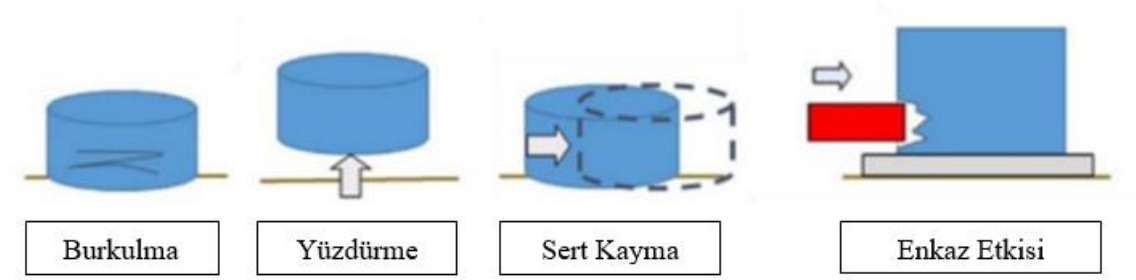
Depolama tanklarındaki bir Natech olayının sonuçlarını tanımlayan genel bir olay ağacı ise Şekil 4.5' te verilmiştir.



Şekil 4.5. Depolama tanklarındaki bir Natech olayının sonuçlarını tanımlayan genel bir olay ağacı (Olivar, 2018)

Şekil 4.5' ten burkulma, sert kayma, devrilme, enkaz etkisi ve yüzdürme olmak üzere 5 hasar modu görülmektedir. Kuruluş 1' de muhtemel sel/taşkın afetinin tetiklediği Natech kazasının yaşanması depolama tankının burkulma ve kayma arıza modları; Kuruluş 2' de ise burkulma,

kayma ve komşu tesislerden sel suyuna kapılarak gelebilecek enkaz etkisi arıza modları öne çıkmaktadır. Muhtemel hasar türleri görseli Şekil 4.6' da verilmiştir.



Şekil 4.6. Selden etkilenen bir depolama tankında oluşabilecek hasar türleri (Olivar, 2018)

Depolama tankı ve sıvı ile ilgili parametrelerin depolama tankının hasar direnci üzerindeki etkisi ise Çizelge 4.11' de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Depolama tankı ve sıvı ile ilgili parametrelerin depolama tankının hasar direnci üzerindeki etkisi (Wang ve Weng, 2021)

	Sel kaynaklı çarpma	Sel kaynaklı yüzme	Sel kaynaklı yer değiştirme	Rüzgar kaynaklı çarpma	Rüzgar kaynaklı devrilme	Dolu kaynaklı akış
Young' s modülü ***E***	+	\	\	+	\	-
Tank çapı ***D***	-	+	+	-	+	\
Tank yüksekliği ***H***	-	+	+	-	-	\
Tank kabuğu kalınlığı ***t***	+	+	+	+	+	+
Sıvı yoğunluğu ρ_l	+	+	+	+	+	\
Dolgu faktörü η	+	+	+	+	+	\

("+" pozitif korelasyonu, "-" negatif korelasyonu ve "\" parametrenin hasara karşı direnci etkilemediğini temsil eder)

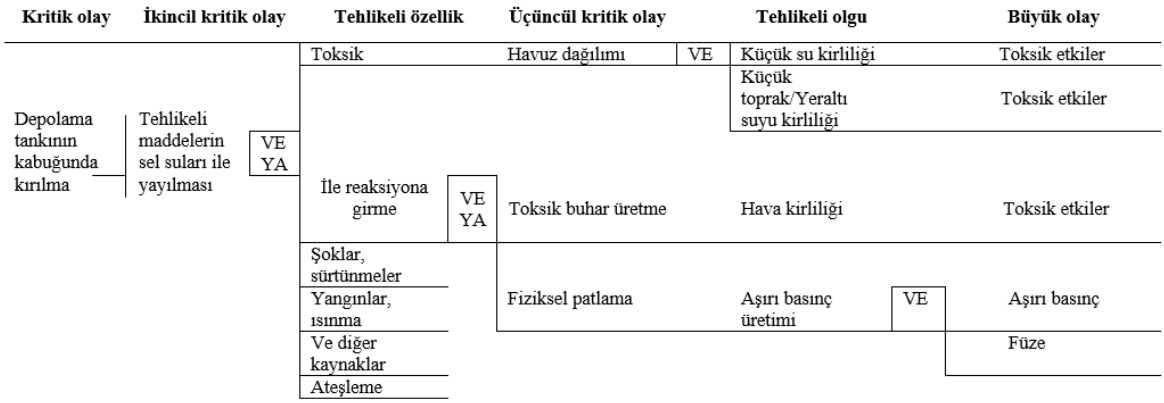
Bir malzemenin Young modülü, malzemenin bir kuvvete maruz kaldığında davranışını tahmin etmek için bilinmesi yararlı bir özellik olup malzemenin ne kadar kolay esnediğini ve deforme olduğunu gösteren bir ölçüdür. Young modülü (E), çekme geriliminin (*σ)* birim şekil değiştirmesine (*ε*) oranı olarak tanımlanır. Burada gerilim, birim alana uygulanan kuvvet miktarıdır (*σ* = F/*A*) ve şekil değiştirme birim uzunluk başına uzamadır (ε = dl/*l*).

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F/A}{dl/l}$$

Dolgu faktörü; sıvının fiziksel özelliklerine ve depolama tankının geometrik özelliklerine göre sıvı yüksekliğinin depolama tankı yüksekliğine oranını ve aynı zamanda sıvı depolama kapasitesinin depolama tankı kapasitesine oranını da ifade etmektedir.

Çizelge 4.11 incelendiğinde sel kaynaklı yüzme ve yer değiştirme parametrelerinin diğer parametrelere göre depolama tankının hasar direnci üzerinde daha fazla pozitif korelasyon içerdiği gözlemlenmiştir. Kuruluşlar için sel/taşkın afetinin depolama tankları üzerinde yüzdürme/kayma ve yer değiştirme parametrelerinin değerlendirilmesi önemlidir.

Bir depolama tankının kabuğunda kırılma sonucu muhtemel olay ağacı Şekil 4.7' de sunulmuştur.



Şekil 4.7. "Bir depolama tankının kabuğunda kırılma" kritik olayına karşılık gelen olay ağacı (Hajj, 2015)

Depolama tankı kabuğundaki kırılma tehlikeli maddelerin sel suyuna karışarak yayılması ikincil kritik olay; havuz dağılımı, toksik buhar üretme ve fiziksel patlama üçüncü kritik olay

olarak tanımlanmıştır. Kuruluşlar için depolanan kimyasal türü/depolama koşulları ve meteorolojik koşullar gibi birçok parametre dikkate alınarak muhtemel yangın, patlama ve toksik yayılım etkilerinin modellenmesi gerçekleştirilmiştir.

Atmosferik ve basınçlı depolama tankları için sel kaynaklı hasar durumları ilgili serbest bırakma kategorileri ile birlikte Çizelge 4.12' de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Atmosferik ve basınçlı depolama tankları için hasar durumları ve ilgili serbest bırakma kategorileri (Piccinelli, 2013)

Hasar Durumu	**Serbest Bırakma/salınım Durumu**
Flanşların ve bağlantıların arızası	Eşdeğer çapı 10 mm olan bir delikten sürekli serbest bırakma
Çatı arızası ve kabuk kırılması	Tüm envanterin sürekli serbest bırakılması (10 dakikadan fazla)
Bitişik tanklar veya sürüklenen nesnelerin etkisi	Tüm envanterin anında serbest bırakılması (2 dakikadan kısa sürede)
Felaket çöküş	Tüm envanterin anında serbest bırakılması (2 dakikadan kısa sürede)
Kabuk kırılması (sadece basınçlı tanklar için)	Tüm envanterin sürekli serbest bırakılması (10 dakikadan fazla)

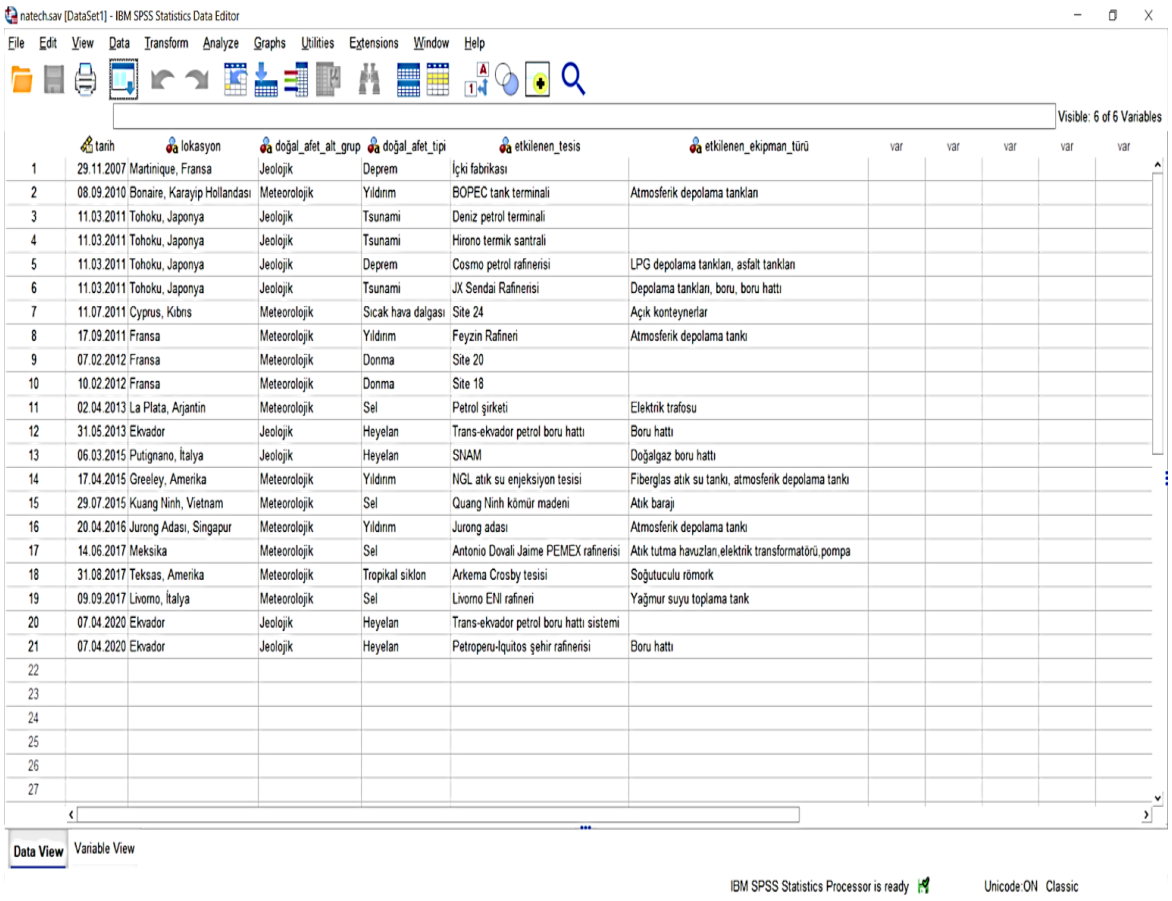
Çizelge 4.12' deki tüm hasar durumları dikkate alınarak Kuruluş 1 için Mod 1 ve Mod 2 kapsamında(çatı arızası/kabuk kırılması, felaket çöküş) anlık ve sürekli salınımlar, Kuruluş 2 için Mod 1-3 kapsamında(çatı arızası/kabuk kırılması, felaket çöküş, bitişik tank veya sürüklenen nesnelerin etkisi, flanşların ve bağlantıların arızası, kabuk kırılması) anlık, sürekli salınımlar ile enkaz etkisi sonucu küçük bir sızıntı çapı ile büyük bir sızıntı çapı oluşması durumlarının ayrı ayrı modellenmesinin yapılmasına karar verilmiştir.

5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Doğal afetlerin tetiklediği teknolojik kazaların risk analizi amacıyla yürütülen istatistiksel çalışmalar, örnek olarak seçilen kuruluşlarda sel/taşkın ve yıldırım kaynaklı Natech kazalarının farklı metodolojiler üzerinden risk analizi çalışmalarına ait detaylar aşağıdaki bölümlerde sunulmuştur.

5.1. Natech Kaza Verilerinin İstatistiksel Değerlendirmesi

Son 15 yıl için 21 Natech kazası saptanmıştır. Veri tabanlarından elde edilen veriler, tarih, lokasyon, doğal afet alt grup, doğal afet tipi, etkilenen tesis ve etkilenen ekipman türü başlıkları esas alınarak SPSS programına işlenmiştir (Şekil 5.1).



	tarih	lokasyon	doğal_afet_alt_grup	doğal_afet_tipi	etkilenen_tesis	etkilenen_ekipman_türü
1	29.11.2007	Martinique, Fransa	Jeolojik	Deprem	İçki fabrikası	
2	08.09.2010	Bonaire, Karayip Hollandası	Meteorolojik	Yıldırım	BOPEC tank terminali	Atmosferik depolama tankları
3	11.03.2011	Tohoku, Japonya	Jeolojik	Tsunami	Deniz petrol terminali	
4	11.03.2011	Tohoku, Japonya	Jeolojik	Tsunami	Hirono termik santrali	
5	11.03.2011	Tohoku, Japonya	Jeolojik	Deprem	Cosmo petrol rafinerisi	LPG depolama tankları, asfalt tankları
6	11.03.2011	Tohoku, Japonya	Jeolojik	Tsunami	JX Sendai Rafinerisi	Depolama tankları, boru, boru hattı
7	11.07.2011	Cyprus, Kıbrıs	Meteorolojik	Sıcak hava dalgası	Site 24	Açık konteynerlar
8	17.09.2011	Fransa	Meteorolojik	Yıldırım	Feyzin Rafineri	Atmosferik depolama tankı
9	07.02.2012	Fransa	Meteorolojik	Donma	Site 20	
10	10.02.2012	Fransa	Meteorolojik	Donma	Site 18	
11	02.04.2013	La Plata, Arjantin	Meteorolojik	Sel	Petrol şirketi	Elektrik trafosu
12	31.05.2013	Ekvador	Jeolojik	Heyelan	Trans-ekvador petrol boru hattı	Boru hattı
13	06.03.2015	Putignano, İtalya	Jeolojik	Heyelan	SNAM	Doğalgaz boru hattı
14	17.04.2015	Greeley, Amerika	Meteorolojik	Yıldırım	NGL atık su enjeksiyon tesisi	Fiberglas atık su tankı, atmosferik depolama tankı
15	29.07.2015	Kuang Ninh, Vietnam	Meteorolojik	Sel	Quang Ninh kömür madeni	Atık barajı
16	20.04.2016	Jurong Adası, Singapur	Meteorolojik	Yıldırım	Jurong adası	Atmosferik depolama tankı
17	14.06.2017	Meksika	Meteorolojik	Sel	Antonio Dovali Jaime PEMEX rafinerisi	Atık tutma havuzları,elektrik transformatörü,pompa
18	31.08.2017	Teksas, Amerika	Meteorolojik	Tropikal siklon	Arkema Crosby tesisi	Soğutuculu römork
19	09.09.2017	Livorno, İtalya	Meteorolojik	Sel	Livorno ENI rafineri	Yağmur suyu toplama tank
20	07.04.2020	Ekvador	Jeolojik	Heyelan	Trans-ekvador petrol boru hattı sistemi	
21	07.04.2020	Ekvador	Jeolojik	Heyelan	Petroperu-Iquitos şehir rafinerisi	Boru hattı

Şekil 5.1. SPSS programına işlenen verilerin görüntüsü

Programa işlenen verilerin istatistikleri değerlendirildiğinde doğal afet alt grubu açısından meteorolojik afetlerin %57,1 oranla jeolojik afetlere kıyasla önem arz ettiği görülmüştür

(Çizelge 5.1). Meydana gelen doğal afet tipleri dikkate alındığında ise meteorolojik afetler içerisinde %19,0 oranıyla sel ve yıldırımın öne çıktığı, jeolojik afetler içerisinde ise %19,0 oranıyla heyelan ve %14,3 ile tsunaminin öne çıktığı görülmüştür (Çizelge 5.2).

Çizelge 5.1. Natech' e neden olan doğal afet alt grup dağılımı

Doğal Afet Alt Grubu	Veri Seti	Yüzde (%)
Jeolojik	9	42,9%
Meteorolojik	12	57,1%

Çizelge 5.2. Natech' e neden olan doğal afetlerin tiplerinin dağılımı

Doğal Afet Tipi	Veri Seti	Yüzde (%)
Deprem	2	9,5%
Donma	2	9,5%
Heyelan	4	19,0%
Sel	4	19,0%
Sıcak hava dalgası	1	4,8%
Tropikal siklon	1	4,8%
Tsunami	3	14,3%
Yıldırım	4	19,0%

Doğal afetlerin tetiklemesi sonucu teknolojik kazaya neden olan bütünlük kaybının yaşandığı ekipmanlar da değerlendirilmiştir. Natech kazalarında etkilenen ekipmanların istatistiksel değerleri Çizelge 5.3' te sunulmuştur.

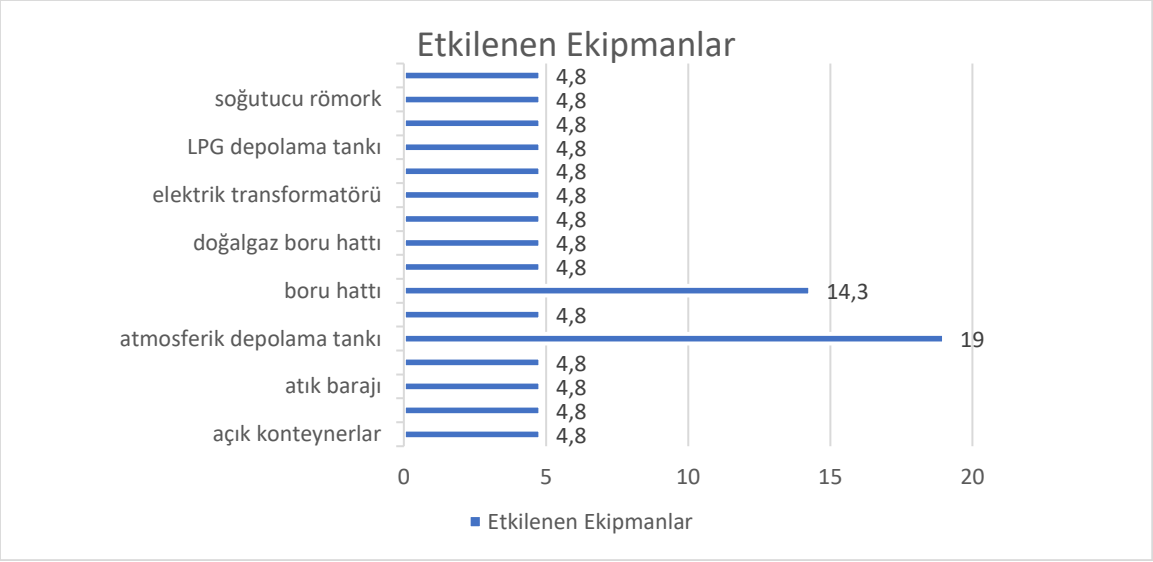
Çizelge 5.3. Natech kazalarında etkilenen ekipmanların dağılımı

Ekipman	Veri Seti	Yüzde (%)
Açık konteynerler	1	4,8%
Asfalt tankları	1	4,8%
Atık barajı	1	4,8%
Atık tutma havuzları	1	4,8%
Atmosferik depolama tankı	4	19,0%

Çizelge 5.3. (devamı) Natech kazalarında etkilenen ekipmanların dağılımı

Ekipman	Veri Seti	Yüzde (%)
Boru	1	4,8%
Boru hattı	3	14,3%
Depolama tankları	1	4,8%
Doğalgaz boru hattı	1	4,8%
Elektrik trafosu	1	4,8%
Elektrik transformatörü	1	4,8%
Fiberglas atık su tankı	1	4,8%
LPG depolama tankları	1	4,8%
Pompa	1	4,8%
Soğutuculu römork	1	4,8%
Yağmur suyu depolama tankı	1	4,8%

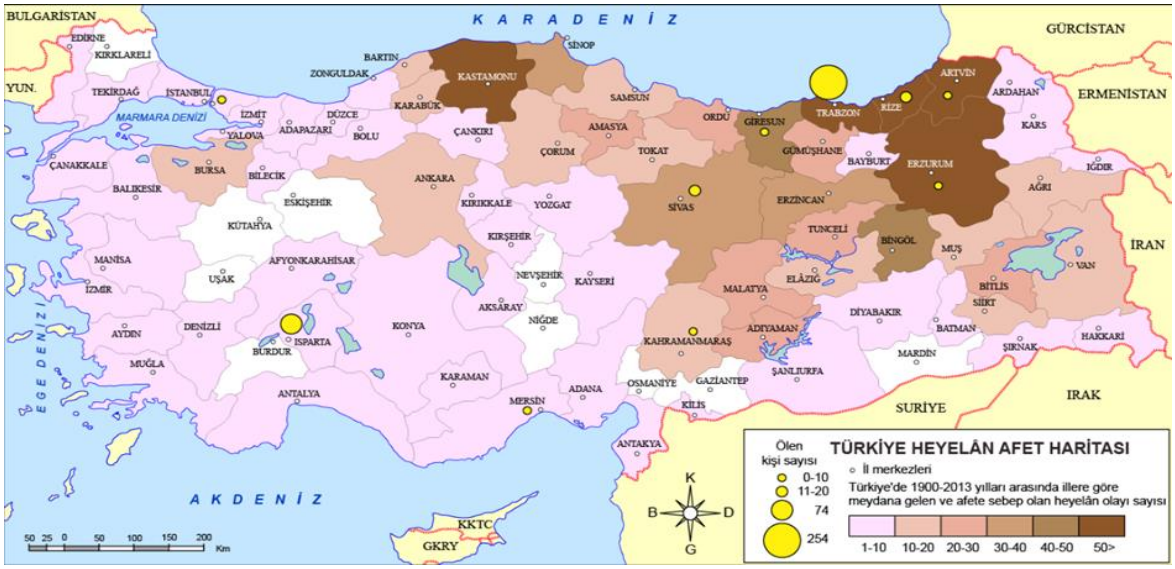
Çizelge 5.3' ten atmosferik depolama tanklarının doğal afet etkilerinden en fazla etkilenen ve bütünlük kaybı yaşanan ekipman türü olduğu (%19) görülmektedir. Bunu, boru hattı (%14,3) izlemektedir. Natech kazalarında etkilenen ekipmanların dağılım grafiği Şekil 5.2' de verilmiştir.



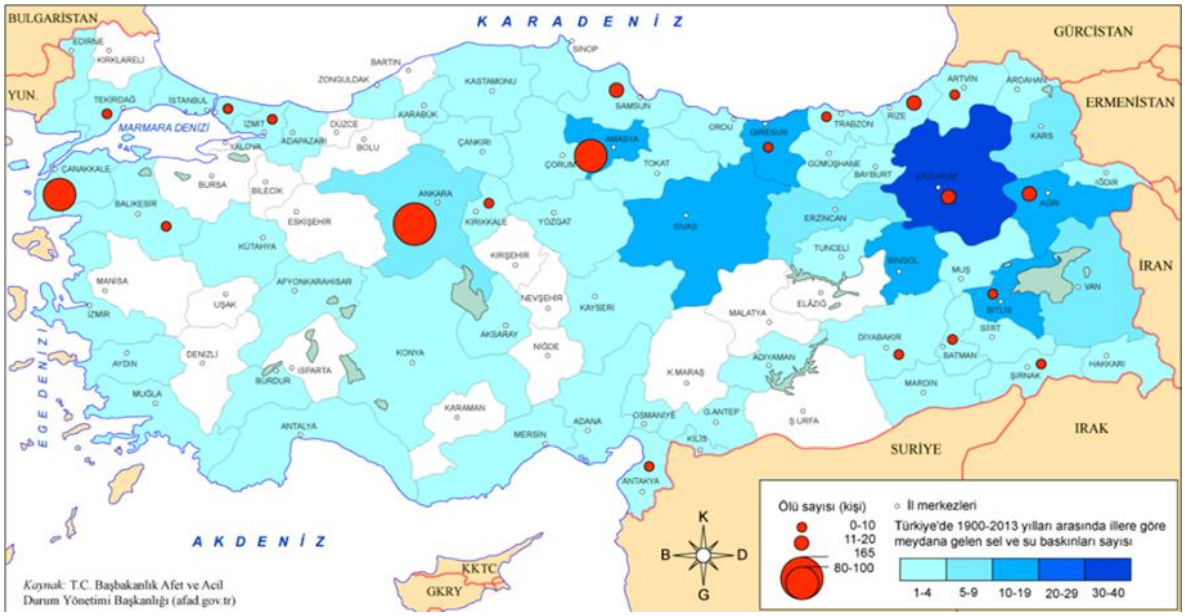
Şekil 5.2. Natech kazalarında etkilenen ekipmanların dağılım grafiği

5.2. Risk Analizi Yapılacak İl ve Kuruluş Seçimi

Yapılan istatistiksel değerlendirme, doğal afet tiplerinden heyelan, sel ve yıldırımın Natech kazaları özelinde öne çıktığını göstermiştir. Bu sebeple Türkiye' de meydana gelen heyelan, sel ve yıldırımın iller bazında yoğunlukları incelenip öne çıkan afetlerin hepsini içeren bir il belirlenmek istenmiştir. Türkiye heyelan afet haritası ve Türkiye sel ve su baskınları haritası sırasıyla Şekil 5.3 ve Şekil 5.4' te verilmiştir.



Şekil 5.3. Türkiye heyelan afet haritası (Coğrafya Harita, 2021)



Şekil 5.4. Türkiye sel ve su baskınları haritası (Coğrafya Harita, 2021)

Haritalar incelendiğinde heyelan ve sel yoğunluğu bakımından Erzurum'un en riskli il olduğu belirlenmiştir. Yıldırım için herhangi bir bilgiye ulaşılamamıştır, ancak sel ve heyelan verileri ile uyumlu olacağı ön görülmüştür. Erzurum ilinde doğal afetlerin tetiklediği teknolojik kazaların risk analizi çalışmasını yürütmek üzere iki farklı konumda "Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik" kapsamına giren örnek kuruluşlar seçilmiştir (Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik, 2019). Seçilen kuruluşlar gaz depolama ve dolum tesisi işlemlerini gerçekleştirmektedir. İlgili yönetmelik kapsamında üst seviyeli kuruluş olarak belirlenmiştir. Üst seviyeli kuruluş ilgili yönetmelik Madde 5/1 p bendinde "Ek-1'in Notlar bölümünün 4'üncü maddesinde tanımlanan toplama kuralı dikkate alınmak şartıyla Ek-1 Bölüm 1 ve Bölüm 2'de verilen tehlikeli madde listelerinde, Sütun 3'teki eşik değerlere eşit veya üzerindeki miktarlarda tehlikeli madde bulunduran veya bulundurması muhtemel kuruluş" şeklinde tanımlanmaktadır. Seçilen örnek kuruluşlara ait Google Earth görüntüleri sırasıyla Şekil 5.5 ve Şekil 5.6' da gösterilmektedir.



Şekil 5.5. Kuruluş 1 Google Earth görüntüsü (Google Earth Pro, 2021)



Şekil 5.6. Kuruluş 2 Google Earth görüntüsü (Google Earth Pro, 2021)

Belirlenen bu kuruluşlar üzerinden, öne çıkan sel/taşkın ve yıldırımın tetiklediği Natech kazalarının risk analiz çalışmaları yürütülmüştür (Bkz Başlık 4).

5.3. Kuruluşlarda Yıldırımın Tetiklediği Natech Kazalarının Risk Analizi

Kuruluşlarda, Bölüm 4.3' te açıklanan Yılkomer ve Radsan programı ve kantitatif risk analiz metodolojisi kullanılarak analizler yürütülmüştür.

5.3.1. Yılkomer ve Radsan Programları kullanımı ile risk analizi

Erzurum ilindeki örnek kuruluşlar için ilgili programlar üzerinden yapılan analizler iki alt başlıkta sunulmuştur.

Kuruluş 1

Kuruluş 1' de %85 doluluğa sahip 115 m^3 hacimli 5 depolama tankı bulunmaktadır. Bunlar içerisinden üç tank, %70 Bütan-%30 Propan, geriye kalan iki tanktan biri %50 Bütan-%50 Propan diğeri %100 Propan içermektedir. Tankların hepsinin içerisinde bulunan kimyasal hariç özellikleri aynıdır ve program içerisinde kimyasala ait veri istenmemektedir. Bu

nedenle herhangi bir tankın bilgilerinin programa işlenmesi yeterli bulunmuştur. Kuruluşun koruma sistemi faraday kafesi olduğu için Yılkomer üzerinden alınan faraday kafesine ait risk analiz programı uygulanmıştır. Kuruluş 1' in;

- ✓ Çevresel konumu incelendiğinde en yakınında damızlık sığır işletmesi yer almakta ve 3H mesafede olması sebebiyle C1 değeri 1 olarak alınmıştır.
- ✓ C2 değeri yapının tank olması sebebiyle metal ve yanıcı seçenekleri seçilerek 2 olarak belirlenmiştir.
- ✓ Tanklarda parlayıcı yanıcı madde bulunması sebebiyle yapının yangın riski C3 değeri 3 olarak seçilmiştir.
- ✓ Yapının parlayıcı ve yanıcı madde bulundurması sebebiyle insanlar üzerinde panik ve tahliye zorluğu oluşturabileceğinden C4 değeri 3 olarak seçilmiştir.
- ✓ Yapı tehlikeli madde bulundurması ve yıldırım çarpması neticesinde yangına ve patlamaya neden olması sebebiyle C5 değeri 10 olarak alınmıştır.

Yapının boyu ve eni tank bilgilerinden alınarak işlenmiş, Nk değeri Erzurum için 17,8 olarak belirtilmiş ardından etkinlik değeri 0,882537 olarak elde edilmiştir. Etkinlik değerine göre koruma seviyesi 3, kafes aralığı 15m*15m, iniş aralığı 20m olarak tespit edilmiştir. Hesaplamaların program üzerindeki gösterimi Şekil 5.7' de sunulmuştur.

HESAPLAR				
YAPININ	BOYU - L	15,40		
	ENİ - W	3,15		
	YÜKSEKLİĞİ - H			
			AÇIKLAMALAR	
FAKTÖR	YAPININ KONUMU C1:	1	EN YAKIN YAPIYA UZAKLIK 3H MESAFEDE	
	YAPI-ÇATI KONUMU C2:	2	METAL, YANICI	
	YAPININ DEĞERİ C3:	3	PARLAYICI, YANICI	
	YAPI DOLULUĞU C4:	3	PANİK RİZİKOLU, TAHLİYE ZORLUĞU	
	YILDIRIM SONUCU C5:	10	ÇEVREDE DEĞERLİ	
			FORMÜLLER	TANIMLAR
FORMÜLLER	Ae=	48,510000	Ae=LxW+6xHx(L+W)+9xπxH²	Etkili Eşdeğer Alan
	Ng=	1,462463	Ng=0,04xNk^1,25	Yıldırım Yoğunluğu
	Nd=	0,000071	Nd=NgxAexC1x10^ -6	Tesis için beklenen yıldırım sayısı
	Nk=	17,800000	Nk=17,8	Erzurum için Yıldırımlı Gün Sayısı
	C=	180,000000	C=C2xC3xC4xC5	
	Nc=	0,000008	Nc=5,5x10^ -3/C	Onaylı Yıldırım Darbe Sayısı
	E=	0,882537	E=1-(Nc/Nd)	Etkinlik

SONUÇ				
ETKİNLİK	DEĞER	KORUMA SEVİYESİ	KAFES ARALIĞI	İNİŞ ARALIĞI
E=	0,882537	SEVİYE3	15x15	20

Şekil 5.7. Kuruluş 1 için gerçekleştirilen analizin program üzerindeki gösterimi

Yakalama ucundan alınan yıldırım akımını topraklama sistemine geçirmek amacıyla kullanılan bölüm olan iniş aralığı 20m, faraday kafesinin koruma aralığı 15m*15m olarak neticelenmiştir. Şekil 5.7' de görüldüğü üzere koruma seviyesi 3'tür. Bu durum, 100 kA' lik akım değerine sahip yıldırım düşmelerini kapsamaktadır. Bu bölgedeki endüstriyel işletmeler ve fabrikalar ciddi risk taşımaktadırlar.

Kuruluş çevresinde yeni yapıların inşa edilmesi durumunda ilgili tesise uzaklık ve tesis uzunluğuna dikkat edilmeli, çalışanların bu konuda bilinçlendirilmesi sağlanmalı ve korunma sistemi olan faraday kafesinin periyodik olarak kontrolleri yapılmalıdır.

Kuruluş 2

Kuruluş 2 içerisinde, 3000 m^3 hacme sahip küre, 115 m^3 hacimli 4 yatay silindirik tank bulunmaktadır. Küre tank %70 Bütan-%30 Propan içermekte olup %40 doluluk oranına sahiptir. Yatay silindirik tanklardan üçü Otogaz LPG, biri ticari propan depolamaktadır. Otogaz LPG tankları %60 Bütan-%40 Propan içermektedir ve ikisi %50, biri %70 doluluk oranına sahiptir. Analiz için en yüksek doluluk oranına sahip Otogaz LPG tankı (%70 doluluk) esas alınmıştır. Kuruluşun koruma sistemi paratoner olması sebebiyle Radsan üzerinden edinilen paratoner sisteme ait risk analiz programı uygulanmıştır. Kuruluş 2' nin;

- ✓ Çevresel konum olarak kuruluşun benzer yapılar arasında yer alması sebebiyle C1 değeri 0,25 olarak alınmıştır.
- ✓ C2 değeri yapının tank olması sebebiyle metal ve yanıcı seçenekleri seçilerek 2 olarak seçilmiştir.
- ✓ Tanklarda yanıcı-parlayıcı madde bulunması sebebiyle yapının yangın riski C3 değeri 3 olarak alınmıştır.
- ✓ Yapının yanıcı-parlayıcı madde bulundurmasının yanında sıkışık ortam sebebiyle insanlar üzerinde panik ve tahliye zorluğu oluşturabileceğinden C4 değeri 3 olarak seçilmiştir.
- ✓ Yapı tehlikeli madde bulundurması ve yıldırım çarpması neticesinde yangına ve patlamaya neden olması sebebiyle C5 değeri 10 olarak alınmıştır.

Yapının boyu ve eni tank bilgilerinden alınarak işlenip, Nk değeri Erzurum için 17,8 olarak belirtilmiş ardından etkinlik değeri 0,605682 olarak hesaplanmıştır. Etkinlik değerine göre

koruma seviyesi 4, paratoner koruma alanı yarıçapı 107m olarak elde edilmiştir. Hesaplamaların program üzerindeki gösterimi Şekil 5.8' de verilmiştir. Görüldüğü üzere koruma seviyesi 4'tür. Ülkemizin birçok yerinde bu değere karşılık gelen 100 kA' lik yıldırım darbeleri sıklıkla yaşanmaktadır ve Kuruluş 1' e benzer olarak bu bölgedeki endüstriyel işletmeler ve fabrikalar ciddi risk taşımaktadırlar.

HESAPLAR

YAPININ	BOYU - L	15,75		
	ENİ - W	3,67		
	YÜKSEKLİĞİ - H			
			AÇIKLAMALAR	
FAKTÖR	YAPININ KONUMU C1:	0,25	YAPI AYNI & DAHA YÜKSEK AĞAÇ VE YAPILAR ARASINDA	
	YAPI-ÇATI KONUMU C2:	2	METAL, YANICI	
	YAPININ DEĞERİ C3:	3	PARLAYICI, YANICI	
	YAPI DOLULUĞU C4:	3	PANİK RİZİKOLU, TAHLİYE ZORLUĞU	
	YILDIRIM SONUCU C5:	10	ÇEVREDE DEĞERLİ	
			FORMÜLLER	**TANIMLAR**
FORMÜLLER	Ae=	57,802500	Ng=0.04xNk^1,25	Etkili Eşdeğer Alan
	Ng=	1,462463	Ng=0,04xNk^1,25	Yıldırım Yoğunluğu
	Nd=	0,000021	Nd=NgxAexC1x10^ -6	Tesis için beklenen yıldırım sayısı
	Nk=	17,800000	Nk=17,8	Erzurum için Yıldırımlı Gün Sayısı
	C=	180,000000	C=C2xC3xC4xC5	
	Nc=	0,000008	Nc=5,5x10^ -3/C	Onaylı Yıldırım Darbe Sayısı
	E=	**0,605682**	E=1-(Nc/Nd)	Etkinlik

SONUÇ

ETKİNLİK	DEĞER	KORUMA SEVİYESİ	PARATONER KORUMA ALANI YARIÇAPI
E=	**0,605682**	**SEVİYE4**	**r: 107m**

Şekil 5.8. Kuruluş 2 için gerçekleştirilen analizin program üzerindeki gösterimi

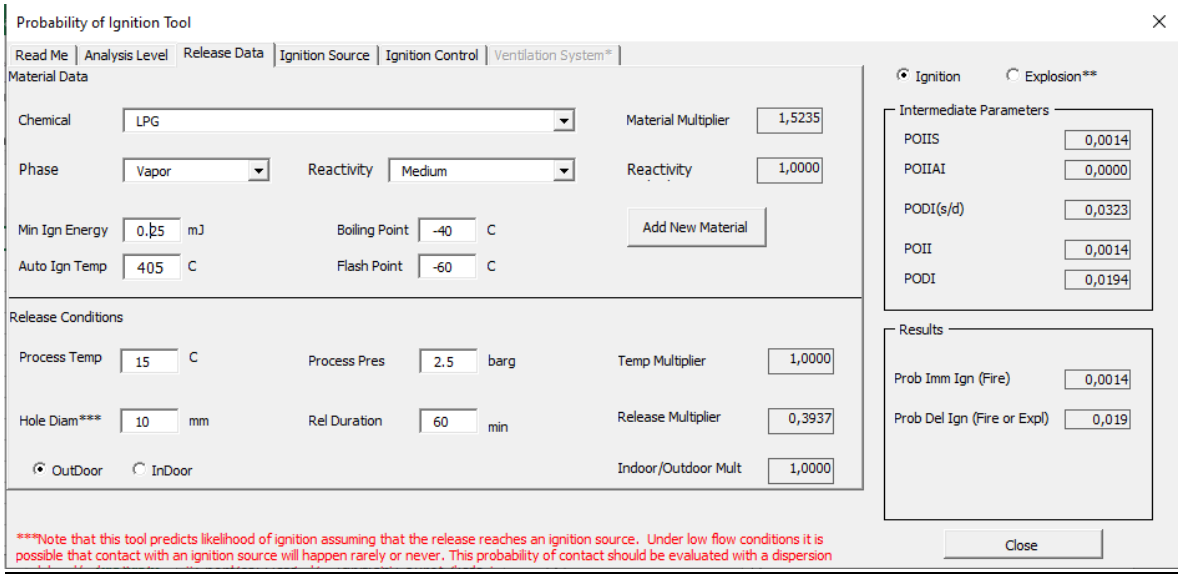
Binaların en yüksek noktasında ucuna bağlı metal çubukla yıldırımı üzerine çekip, yıldırım akımını toprağa akıtan paratoner yıldırımın binalar üzerine direkt düşmesine engel olarak olası yangın riskini önlemektedir. Ancak, elektrik tesisatı ve elektrik tesisatına bağlı cihazları yıldırım düşmesine bağlı aşırı gerilim ve aşırı akımlara karşı korumamaktadır. Bu nedenle paratoner sistem tek başına yüksek koruyuculuk sağlamayacağından parafudr gibi sisteme ek önlemler alınması gerekmektedir (Aksoy, 2020). Kuruluş 2' nin OSB içerisinde ve daha kalabalık bölgede yer alması, Kuruluş 1' e kıyasla daha hacimli tanka sahip olması hasar riskini arttırmaktadır. Organize sanayi bölgesinde yer alan kuruluş çevre halkı ve muhtemel domino etkisine sahip tüm kurum ve kuruluşların bilinçlendirilmesi gerekmektedir.

5.3.2. Kantitatif risk analizi

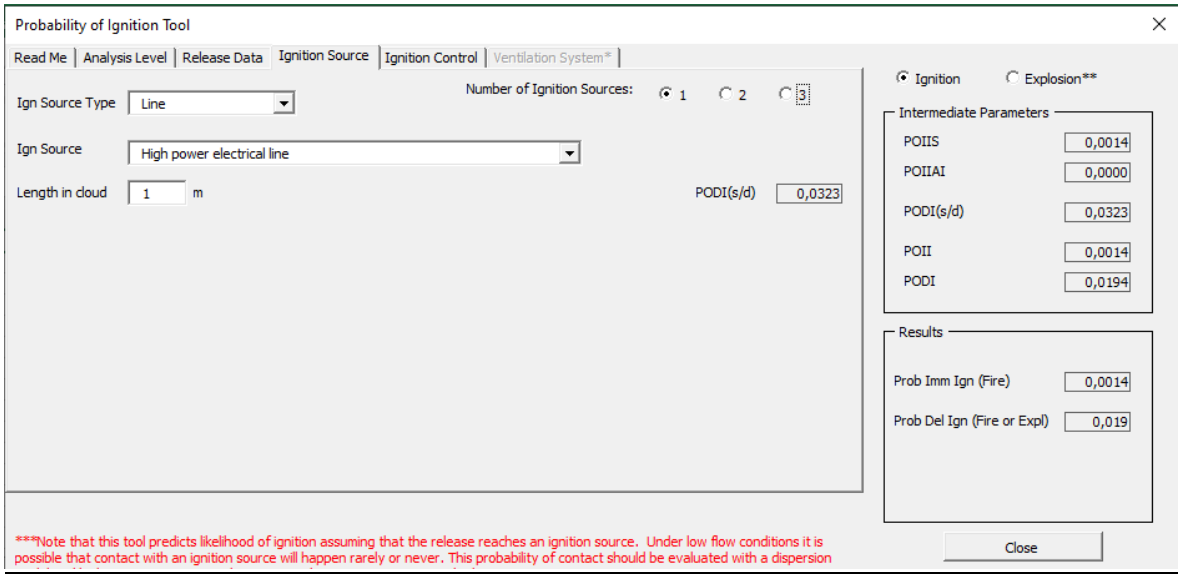
Kantitatif risk analizi Bölüm 4.3.2' de açıklanan olay ağaçları, koruma katmanları ve sonuç analizi kullanılarak gerçekleştirilmiş, iki alt başlıkta aşağıda sunulmuştur.

Kuruluş 1

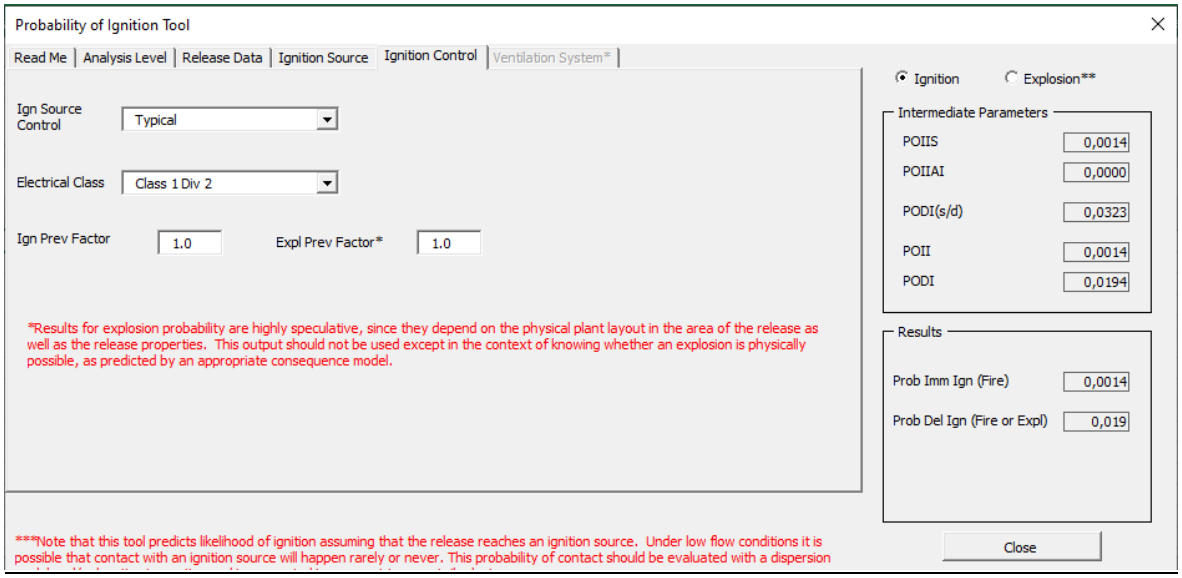
Kuruluş 1' için Tutuşma Olasılığı Hesaplama Modülü' ne işlenen parametre girişi ekran görüntüleri Şekil 5.9' da verilmiştir.



Şekil 5.9. Kuruluş 1 için Tutuşma Olasılığı Hesaplama Modülü' ne işlenen parametre girişi ekran görüntüleri



Şekil 5.10. (devamı) Kuruluş 1 için Tutuşma Olasılığı Hesaplama Modülü' ne işlenen parametre girişi ekran görüntüleri



Şekil 5.11. (devamı) Kuruluş 1 için Tutuşma Olasılığı Hesaplama Modülü' ne işlenen parametre girişi ekran görüntüleri

60 dakikalık sızıntı süresi temel alınmıştır. Yıldırım düşünülerek çizgisel yüksek gerilim hattı alev tutuşturucu kaynak seçimi yapılmıştır. Kuruluş 1'de tipik koruma önlemlerinin olduğu varsayılmıştır. İlgili parametre girişi ardından 10mm' lik küçük bir delikten sızıntı için ani tutuşma olasılığı (POII) $1{,}4x10^{-3}$ olarak belirlenmiştir. Katastropik durum varsayımı için sızıntı delik çapı 1000mm yapılmış, modülde aynı ani tutuşma olasılığı belirlenmiştir.

10mm' lik küçük bir delikten sızıntı sonucu jet yangını meydana getiren yıldırımın tetiklediği kaza frekansı,

$$kaza\ frekansı = 1x10^{-5}x1{,}4x10^{-3}x0{,}1 = 1{,}4x10^{-9}/yıl$$

Katastropik bir sızıntı sonucu jet yangını meydana getiren yıldırımın tetiklediği kaza frekansı,

$$kaza\ frekansı = 5x10^{-7}x1{,}4x10^{-3}x0{,}1 = 7x10^{-11}/yıl$$

olarak hesaplanmıştır. Her iki frekans değeri de ilgili Yönetmelik eşik frekans değerinden (10^{-4}/yıl) düşüktür.

Küçük bir delikten sızıntı sonucu jet yangını kaza frekansının yüksek olduğu görülmüştür.

İlgili kaza senaryoları için ALOHA yazılımı ile sonuç analizleri yapılmıştır. ALOHA, Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA) ve ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından ortaklaşa geliştirilen CAMEO® yazılım paketinin bir parçasıdır. Acil müdahale ekipleri ve planlamacılar için kimyasal salınımları modellemek üzere tasarlanmış bir bilgisayar programı olup çeşitli yangın ve patlama senaryolarının yanı sıra bir kimyasal salınımın ardından zehirli bir bulutun nasıl dağılabileceğini tahmin edebilmektedir. Yazılım, kimyasal seçimi, atmosferik seçimler ve kaynak seçimine bağlı kaza senaryosu üzerinden modelleme gerçekleştirmektedir (NOAA, 2020).

Erzurum iline ait çeşitli kaynaklardan elde edilen meteorolojik bilgiler incelediğinde toplam orajlı gün ortalamasının mayıs ve haziran aylarında; toplam yağış ortalamasının nisan ve mayıs aylarında önemli değere ulaştığı belirlenmiştir. Yağışlı dönemde yıldırım potansiyelinin artacağı öngörüsü ile Erzurum ilinde mayıs ayına ait atmosferik koşullar dikkate alınmış ve Çizelge 5.4' te sunulmuştur.

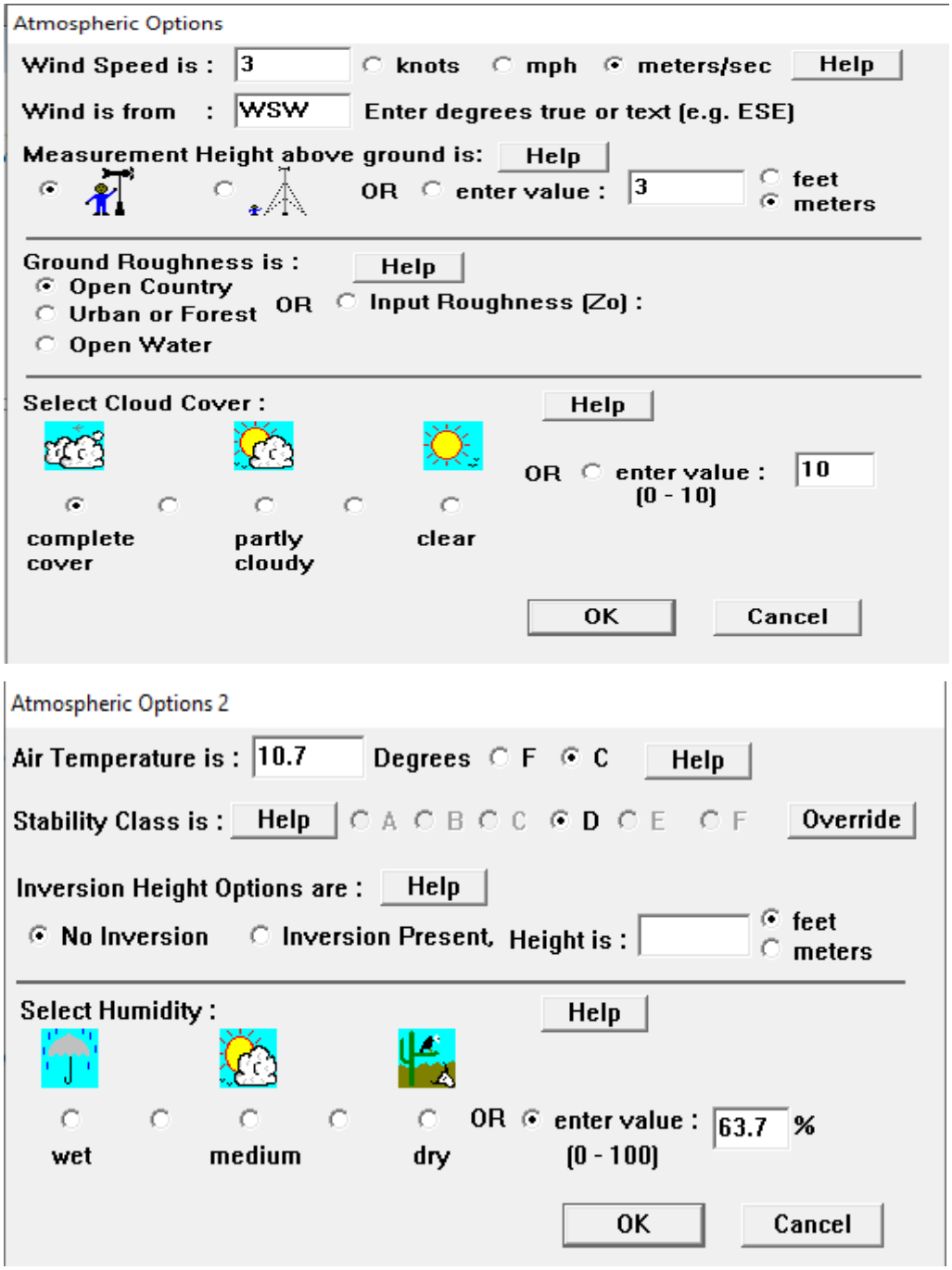
Çizelge 5.4. Erzurum ilindeki kuruluşlar için atmosferik koşullar (MGM, 2022; Karaca, 2013)

Hava sıcaklığı (℃)	10.7
Rüzgar hızı (m/s)	3.0
Bulutluluk	Kapalı
Nemlilik (%)	63,7
Rüzgar yönü	WSW (Günbatısı Lodos)
Toplam orajlı günler sayısı ortalaması	10.7
Aylık toplam yağış miktarı ortalaması(mm)	72.4

Kuruluşlarda sadece yüzey pürüzlülüğü/ortam değişiklik göstermektedir. Kuruluş 1 kırsal alan, Kuruluş 2 daha pürüzlü/sıkışık alanda yer almaktadır.

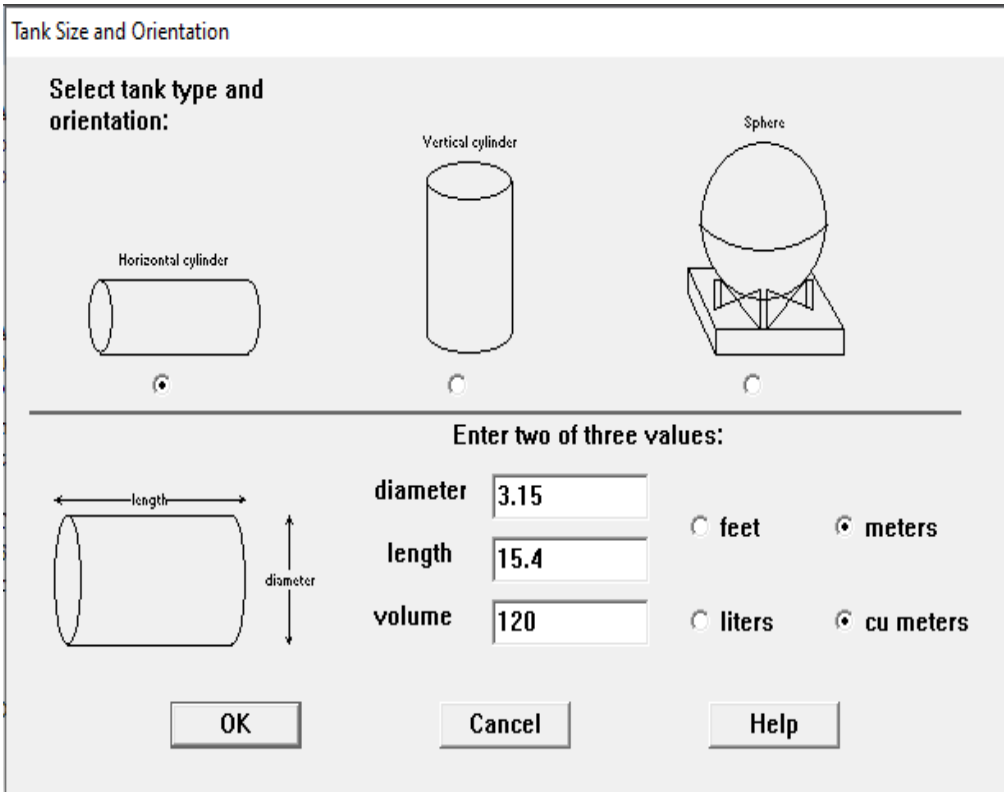
Kuruluş 1 için %85 dolulukta en tehlikeli görülen propan kimyasalını (Yanabilirlik:4, Sağlık:2, NFPA) içeren 115 m^3' lik yatay silindirik tank üzerinden modellemeler yapılmıştır. İlgili tank operasyon basıncı 2,5 bar, sıcaklık 15^oC olarak işlenmiştir.

Kuruluş 1 için atmosferik koşulların yazılıma işlendiği ekran görüntüleri Şekil 5.10' da verilmiştir.

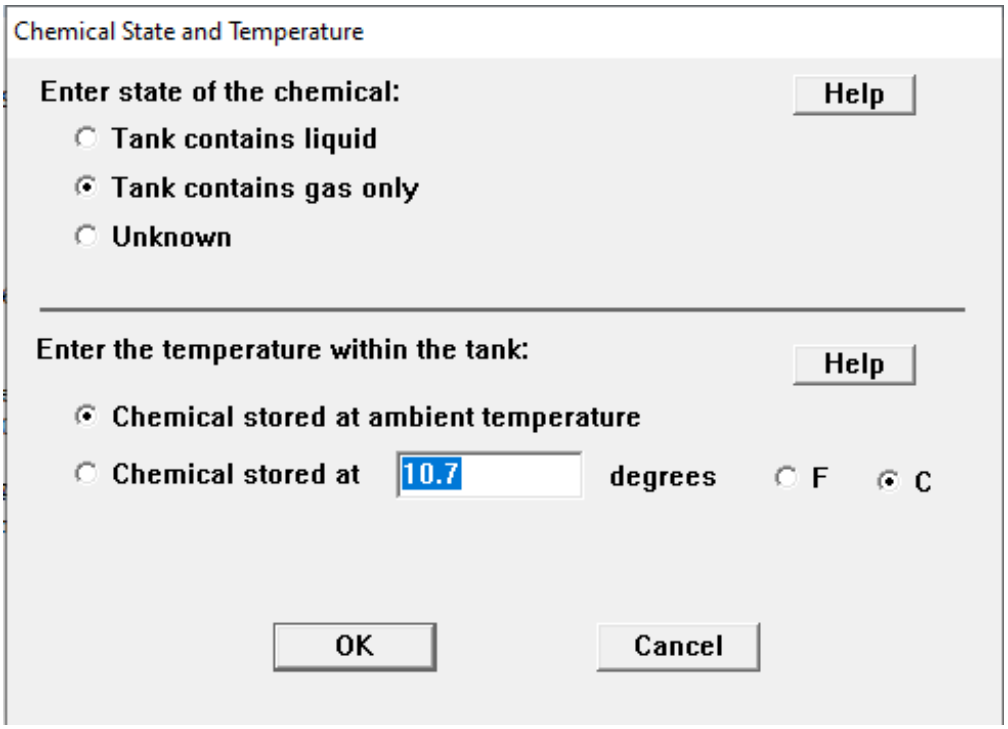


Şekil 5.12. Kuruluş 1 için yazılıma işlenen atmosferik koşulların ekran görüntüleri

Kuruluş 1 için kimyasal kaynak seçimine ait ekran görüntüleri ise Şekil 5.11’ de verilmiştir.

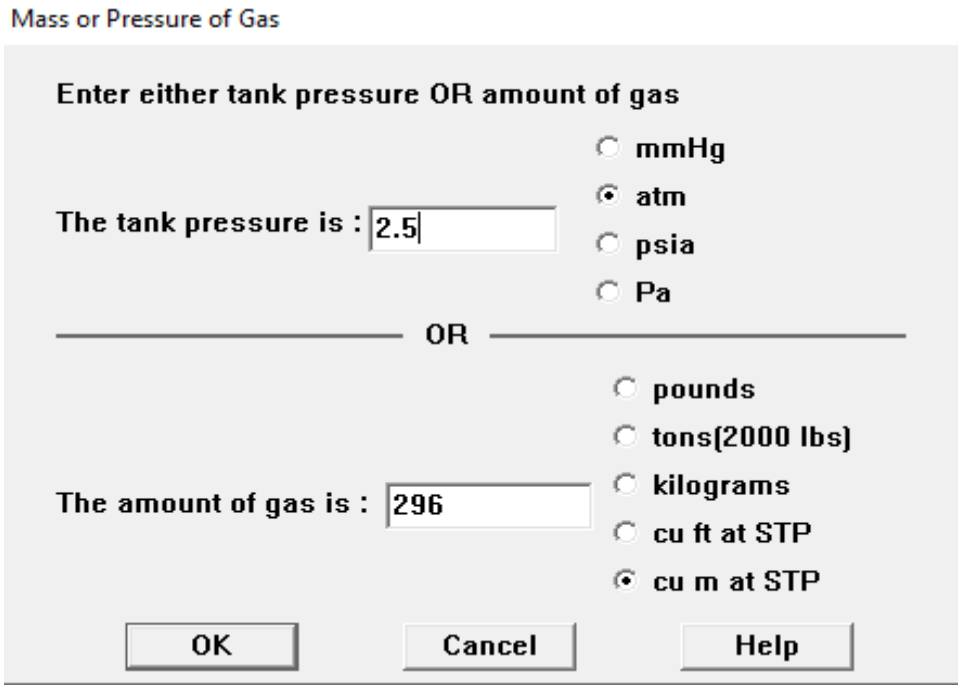


a) Tank boyutu ve yönelimi



b) Kimyasal durum/hal ve sıcaklık

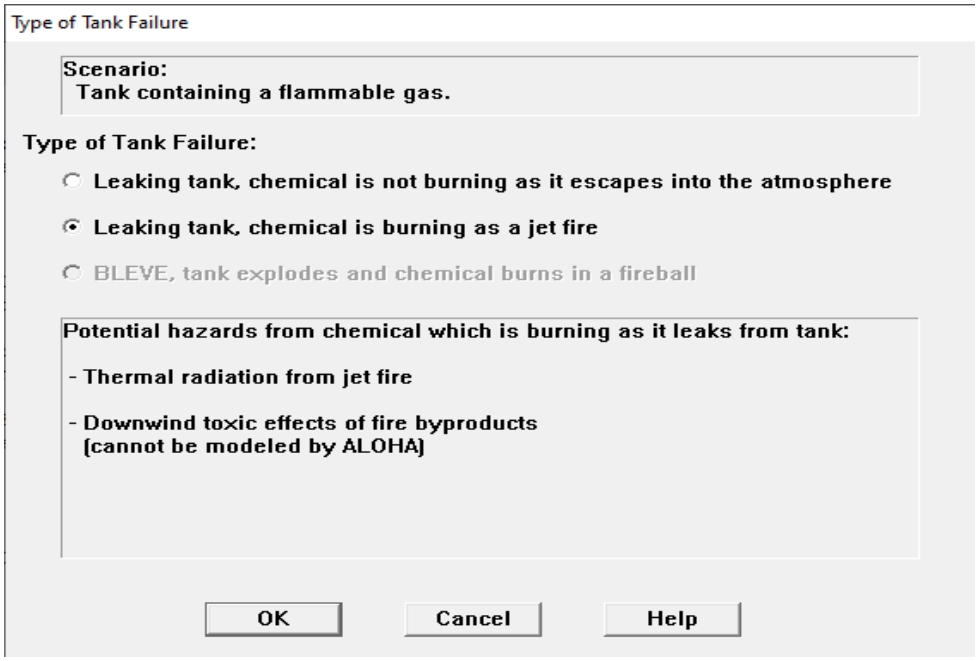
Şekil 5.13. Kuruluş 1 için kimyasal kaynak seçimine ait ekran görüntüleri



c) Gazın kütlesi veya basıncı

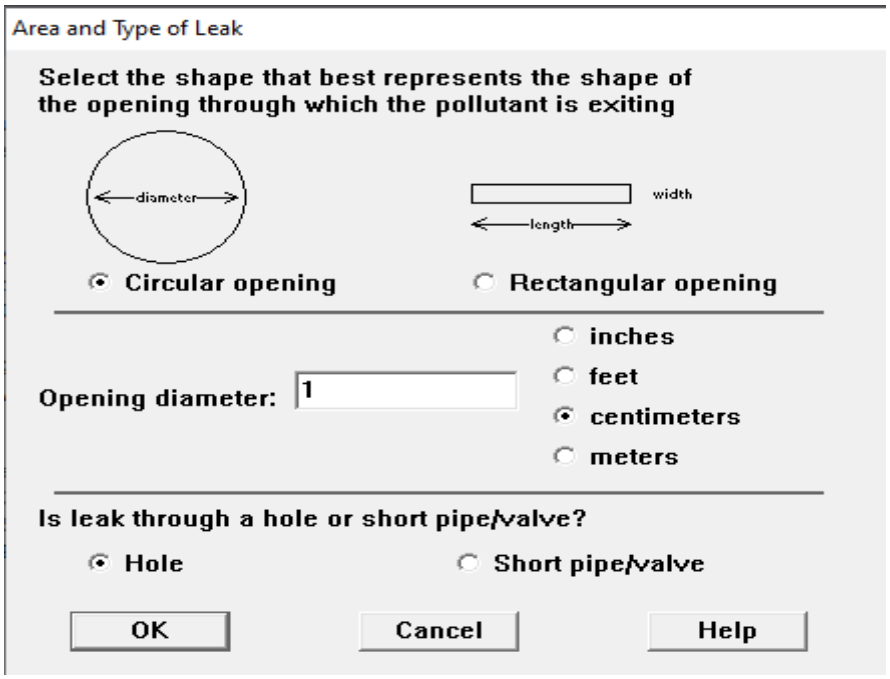
Şekil 5.14. (devamı) Kuruluş 1 için kimyasal kaynak seçimine ait ekran görüntüleri

Kuruluş 1 için, sızıntı sonucu kimyasalın yanarak bir jet yangını oluşturduğu tank başarısızlık/hata türü seçilmiştir (Şekil 5.12).



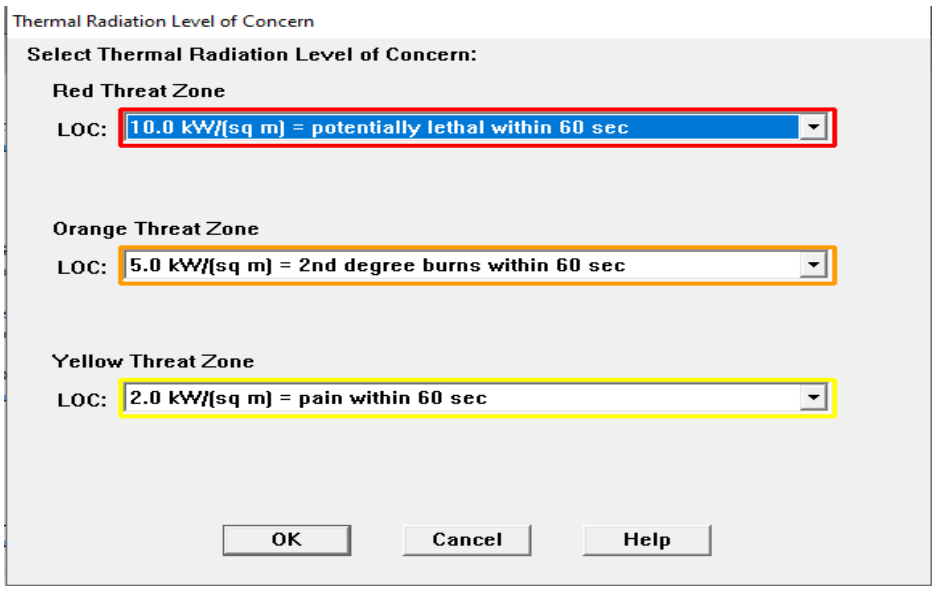
Şekil 5.15. Kuruluş 1 için tank başarısızlık/hata türü ekran görüntüsü

Kimyasal sızıntının küresel 10mm çaplı bir delikten gerçekleştiği varsayılmıştır (Şekil 5.13).



Şekil 5.16. Kuruluş 1 için sızıntı tipi ve alanı

ALOHA, model çıktılarını en son aşamada üç renk olarak verir ve zarara göre etkilenen bölgeyi renklere ayırır. ALOHA' da bu renkler kırmızı, turuncu ve sarıdır ve sırasıyla risk seviyesinin çoktan aza doğru sıralandığını gösterir. Yazılımda tüm kimyasallar için temel alınan termal radyasyon eşik değerler Şekil 5.14' te verilmiştir.



Şekil 5.17. Termal radyasyon eşik değerleri

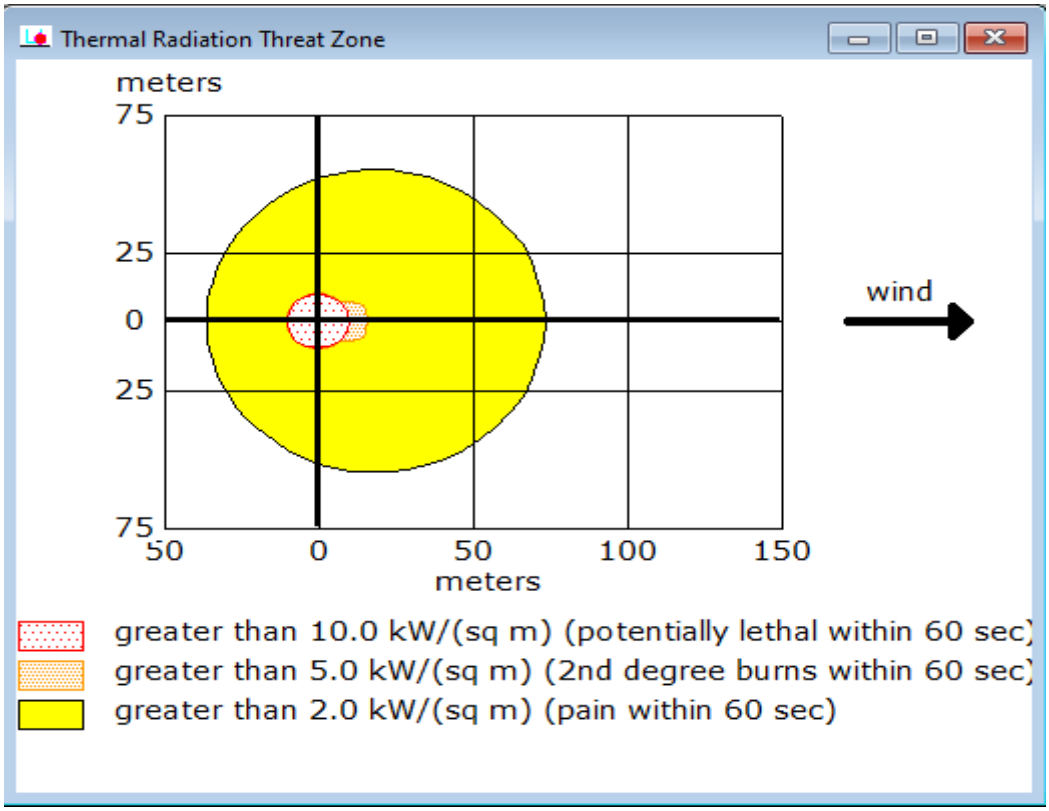
Termal radyasyonun etkileri, enerji akışının ve maruz kalma süresinin bir fonksiyonudur. Termal radyasyonun insanlar üzerindeki etkisi hem maruz kalma süresine hem de radyasyonun yoğunluğuna bağlıdır. ALOHA, radyasyonla ilişkili enerji akışını mesafenin ve yangının süresinin bir fonksiyonu olarak hesaplamaktadır. Doz değerleri hasarla ilişkili olsa da maruz kalma süresi hem yangın süresinin hem de bir miktar koruma arayan bireylerin hareketinin bir fonksiyonu olduğundan, ALOHA' da enerji akışı değerleri LOC (Levels of Concern)' ler olarak kullanılır. ALOHA' nın LOC' leri Ulusal Yangından Korunma Derneği'nce; 10kW/m^2: ölüm eşiği; 5kW/m^2: ciltte ikinci derece yanıklar ve 2kW/m^2: ağrı veya acı olarak tanımlanmaktadır.

10mm çaplı sızıntı sonucu jet yangını kaynaklı termal radyasyon etki mesafeleri kırmızı, turuncu ve sarı bölgelerde <10m olarak elde edilmiştir (Çizelge 5.5).

Çizelge 5.5. Kuruluş 1 için jet yangını kaynaklı termal radyasyon etki mesafeleri (10mm sızıntı çapı)

TEHLİKE ALANI:	
Tehlike modeli: Jet yangını kaynaklı termal radyasyon	
Kırmızı: <l0m	(10.0 kW/ (sq m) = 60 saniye içinde potansiyel ölüm
Turuncu: <10m	(5.0 kW/ (sq m) = 60 saniye içinde ikinci derece yanıklar
Sarı: <10m	(2.0 kW/ (sq m) = 60 saniye içinde acı/ağrı

Sızıntı çapı 1000mm olarak değiştirilip, diğer tüm parametreler sabit tutularak modelleme yapıldığında Kuruluş 1 için elde edilen jet yangını termal radyasyon tehlike alanları Şekil 5.15' da sunulmuştur.



Şekil 5.18. Kuruluş 1 için jet yangını kaynaklı termal radyasyon etki alanları (1000mm sızıntı çapı)

Kuruluş 1 için jet yangını kaynaklı termal radyasyon etki mesafeleri ise Çizelge 5.6' da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Kuruluş 1 için jet yangını kaynaklı termal radyasyon etki mesafeleri (1000mm sızıntı çapı)

TEHLİKE ALANI:	
Tehlike modeli: Jet yangını kaynaklı termal radyasyon	
Kırmızı: l0m	(10.0 kW/ (sq m) = 60 saniye içinde potansiyel ölüm
Turuncu: 16m	(5.0 kW/ (sq m) = 60 saniye içinde ikinci derece yanıklar
Sarı: 73m	(2.0 kW/ (sq m) = 60 saniye içinde acı/ağrı

Yıldırım sonucu basınçlı depolama tankında 1000mm sızıntı çapı oluşması ardından meydana gelebilecek jet yangını etki mesafeleri kırmızı, turuncu ve sarı bölgeler için sırası ile 10m, 16m ve 73 m olarak elde edilmiştir.

Modelleme sonucu elde edilen tehlike alanları, kuruluşta yer alan söz konusu tank üzerinden Google Earth' e aktarılmıştır (Şekil 5.16).



Şekil 5.19. Kuruluş 1 için belirlenen jet yangını termal radyasyon Google Earth görüntüsü (1000mm sızıntı çapı)

Şekil 5.16' dan jet yangını tehlike alanlarının kuruluş sınırı içinde kaldığı, paralelinde bulunan diğer tanklara domino etkisi olabileceği görülmektedir.

Kuruluş 2

Kuruluş 2 için ilgili parametre girişi ardından 10mm çaplı bir delikten sızıntı sonucu ani tutuşma olasılığı modül üzerinden $2{,}6x10^{-3}$ olarak belirlenmiştir. Katastropik durum varsayımı için sızıntı delik çapı 1000mm yapılmış, modülde aynı ani tutuşma olasılığı belirlenmiştir.

10mm' lik küçük bir delikten sızıntı sonucu jet yangını meydana getiren yıldırımın tetiklediği kaza frekansı,

$$kaza\ frekansı = 1x10^{-5}x2{,}6x10^{-3}x0{,}1 = 2{,}6x10^{-9}/yıl$$

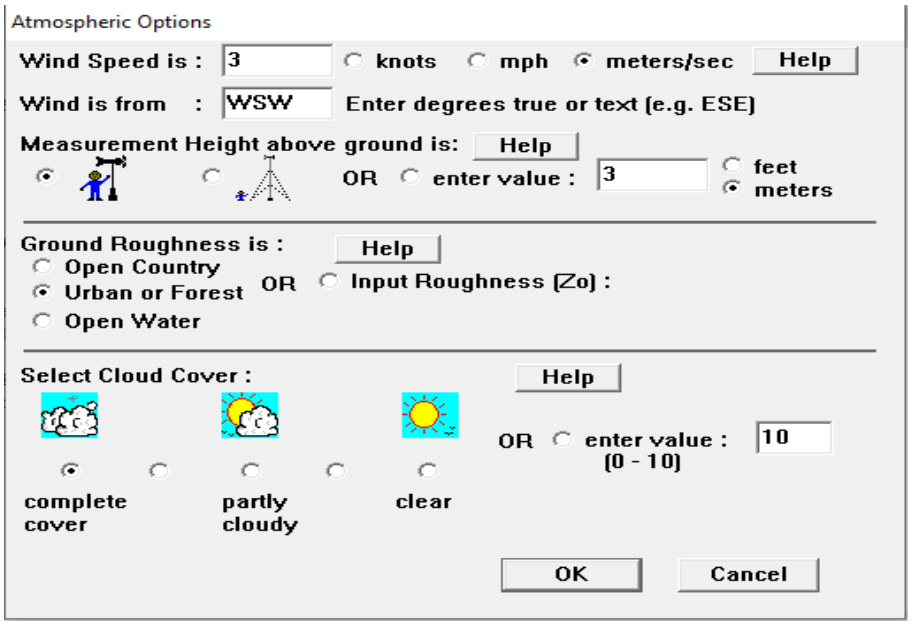
Katastropik bir sızıntı sonucu jet yangını meydana getiren yıldırımın tetiklediği kaza frekansı,

$$kaza\ frekansı = 5x10^{-7}x2{,}6x10^{-3}x0{,}1 = 1{,}3x10^{-10}/yıl$$

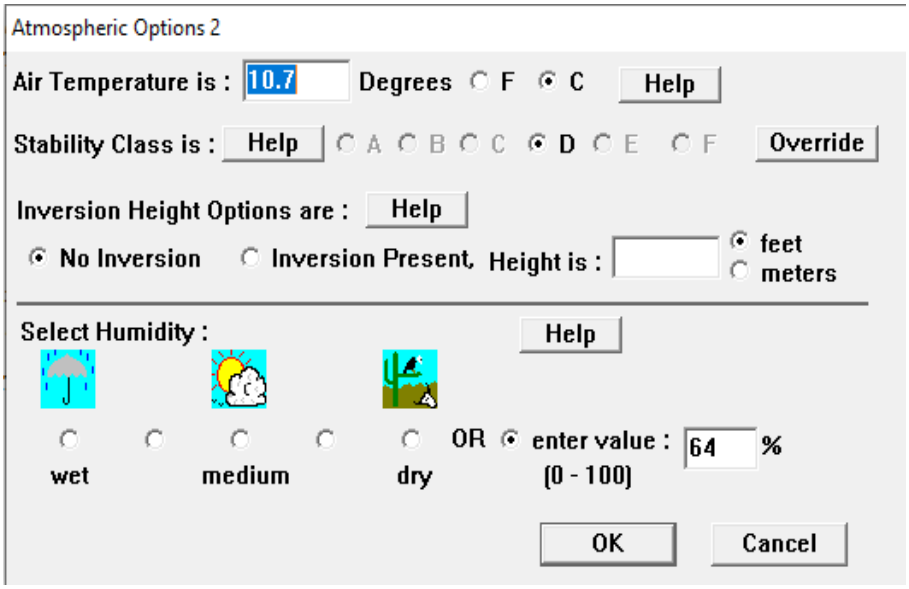
olarak hesaplanmıştır.

Her iki senaryo için hesaplanan kaza frekansları Kuruluş 1 için belirlenenden daha yüksek bulunmuştur. Bu durumun yanıcı kimyasalın depolandığı tank özellikleri ve koşullarına bağlı olduğu söylenebilir.

Kuruluş 2 için %70 dolulukta LPG içeren 115 m^3' lik yatay silindirik tank üzerinden modellemeler yapılmıştır. İlgili tank operasyon basıncı 16 bar, sıcaklık ortam sıcaklığı olarak alınmıştır (Şekil 5.17).

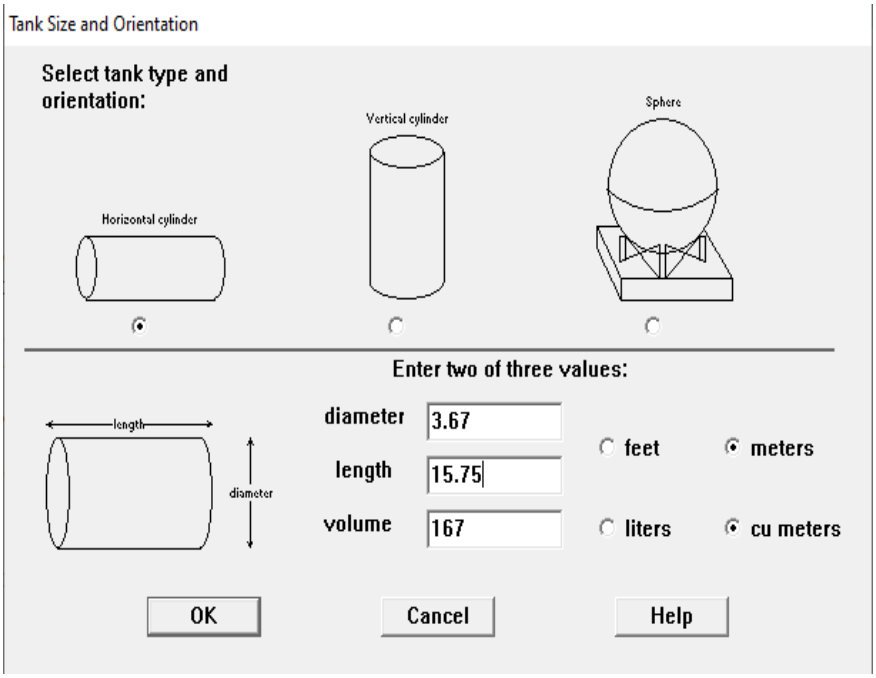


Şekil 5.20. Kuruluş 2 için yazılıma işlenen atmosferik koşulların ekran görüntüleri



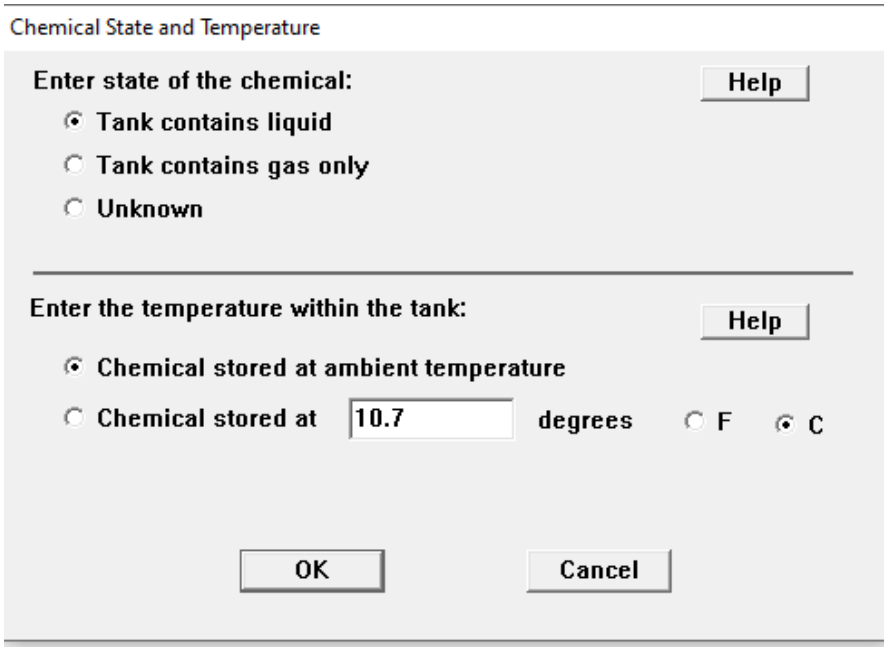
Şekil 5.21. Kuruluş 2 için yazılıma işlenen atmosferik koşulların ekran görüntüleri

Kuruluş 2 için kimyasal kaynak seçimine ait ekran görüntüleri ise Şekil 5.18' de verilmiştir.

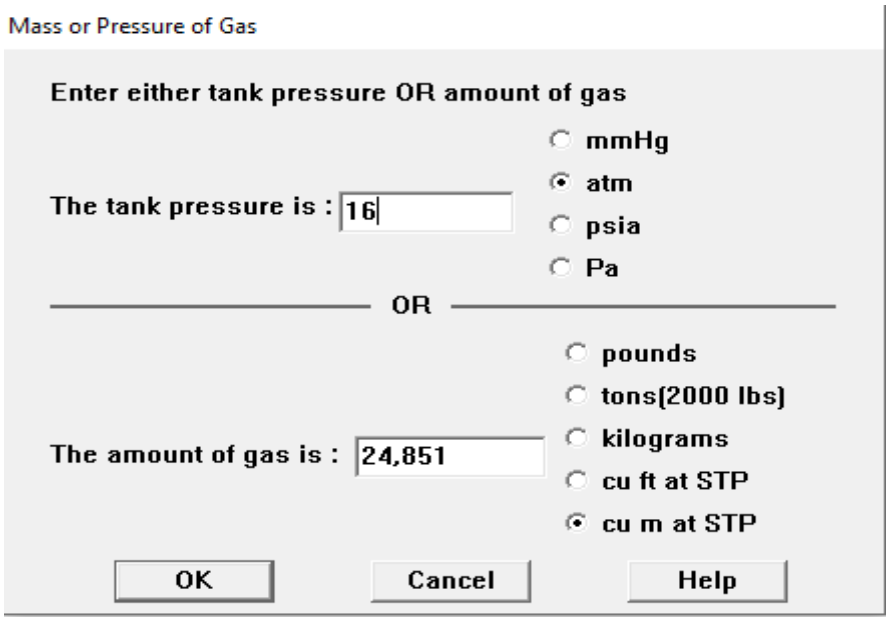


a) Tank boyutu ve yönelimi

Şekil 5.22. Kuruluş 2 için kimyasal kaynak seçimine ait ekran görüntüleri

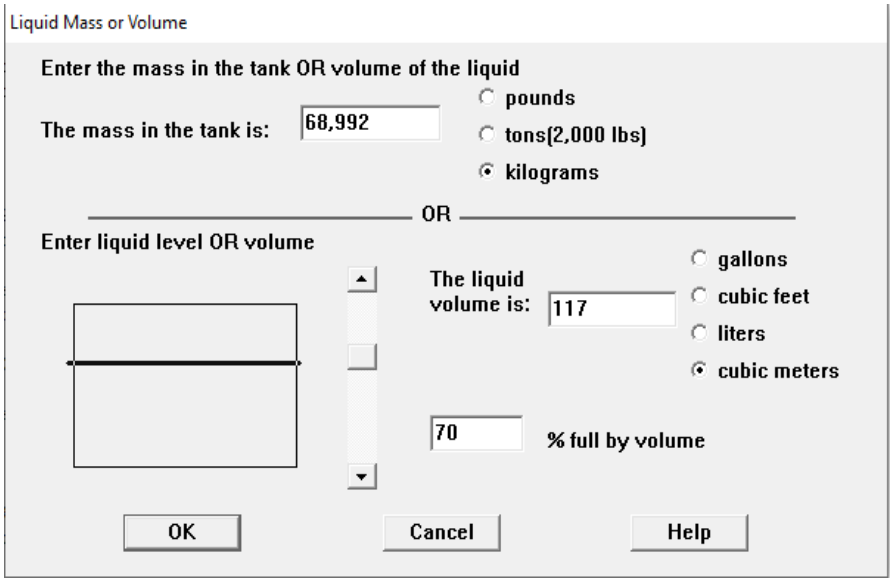


b) Kimyasal hal/durum ve sıcaklık



b) Gazın kütlesi veya basıncı

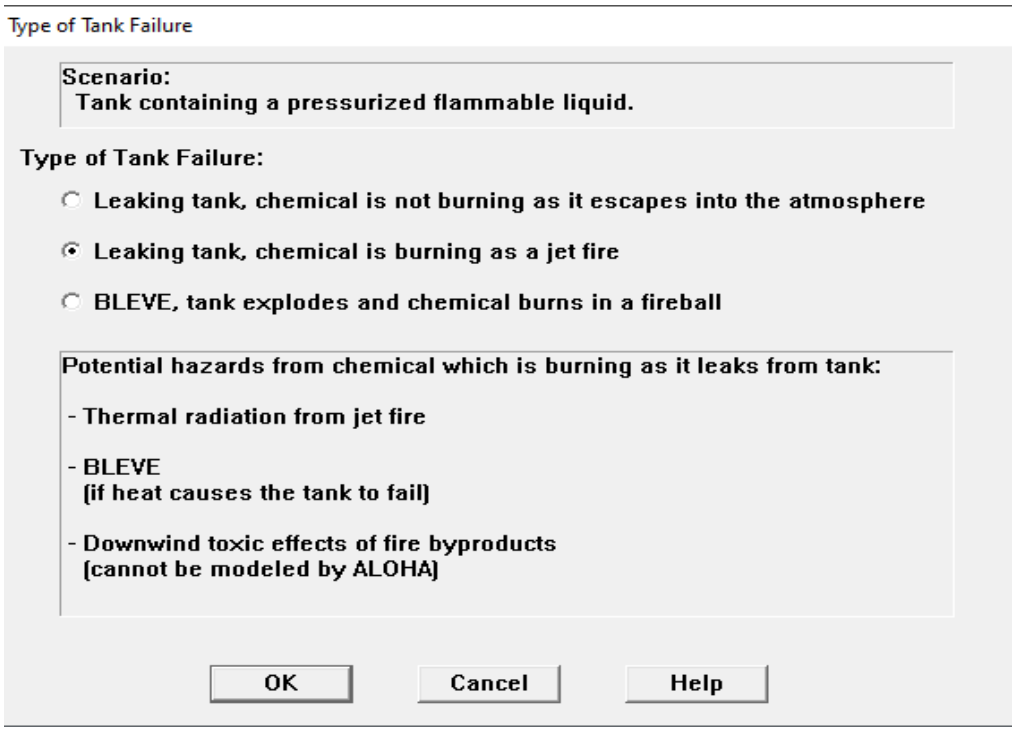
Şekil 5.23. (devamı) Kuruluş 2 için kimyasal kaynak seçimine ait ekran görüntüleri



d) Sıvı kütlesi veya hacmi

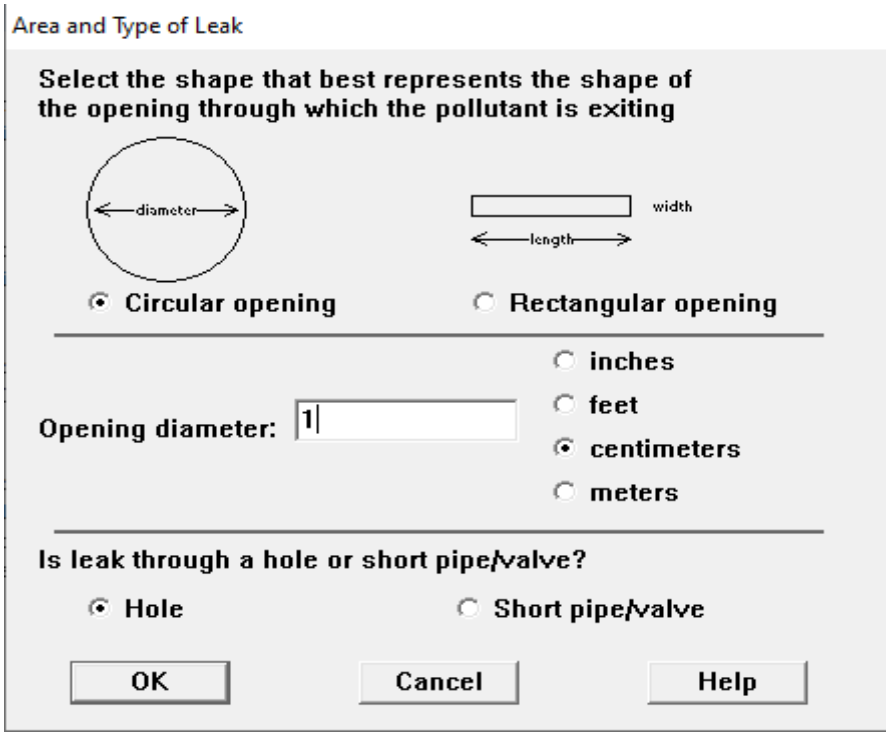
Şekil 5.24. (devamı) Kuruluş 2 için kimyasal kaynak seçimine ait ekran görüntüleri

Kuruluş 2 için sızıntı sonucu kimyasalın yanarak bir jet yangını oluşturduğu tank başarısızlık/hata türü seçilmiştir (Şekil 5.19).

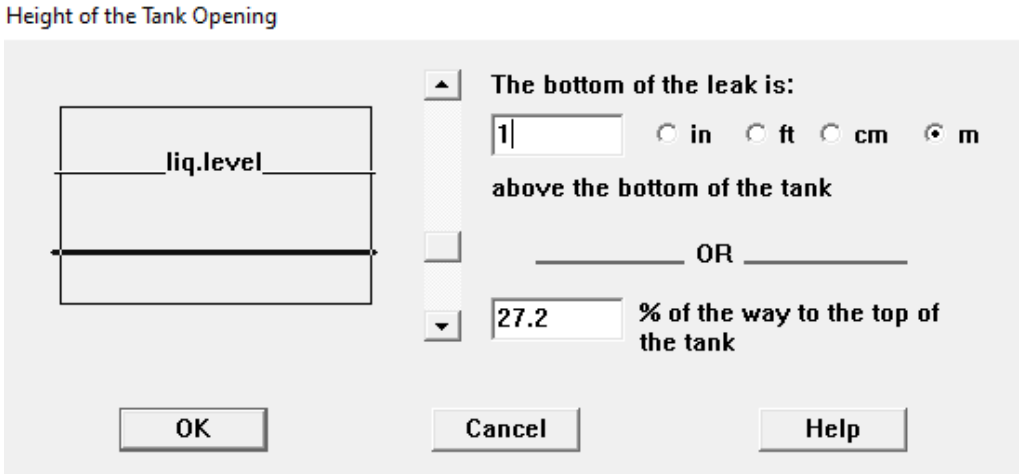


Şekil 5.25. Kuruluş 2 için tank başarısızlık/hata türü ekran görüntüsü

Kimyasal sızıntının tankın tabanından 1m yükseklikte küresel 10mm çaplı bir delikten gerçekleştiği varsayılmıştır (Şekil 5.20).



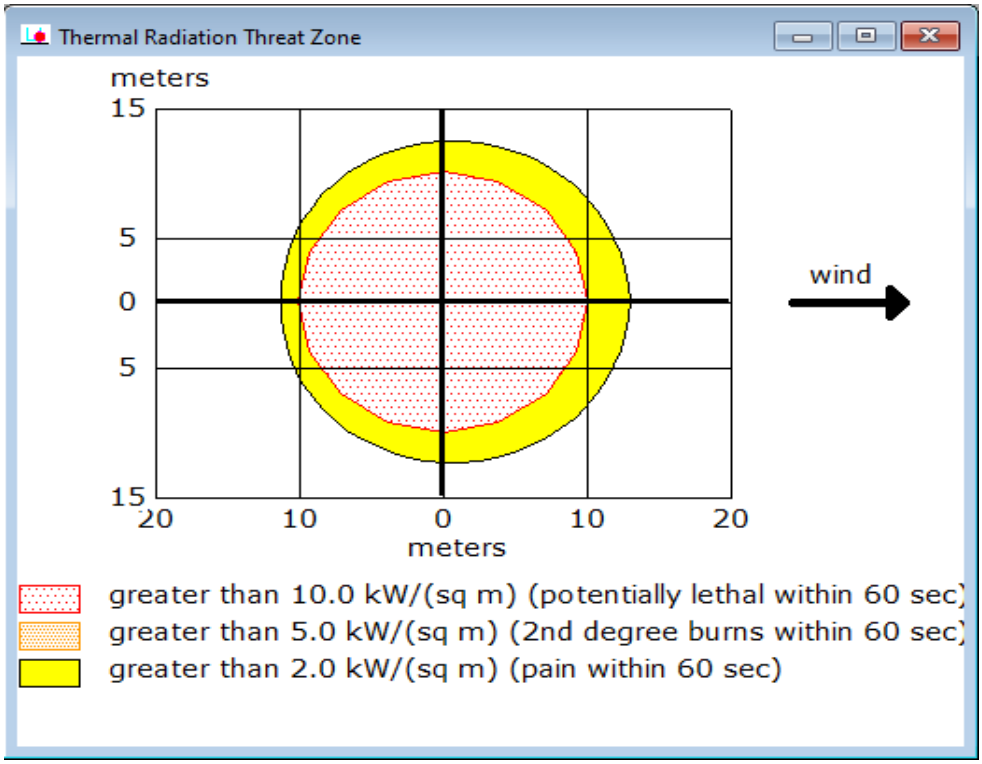
a) Sızıntı tipi ve alanı



b) Tanktaki açıklığın/deliğin yerden yüksekliği

Şekil 5.26. Kuruluş 2 için sızıntının tipi, alanı ve yüksekliği

İlgili parametre girişleri ardından Kuruluş 2 için belirlenen jet yangını kaynaklı termal radyasyon etki alanları Şekil 5.21' de sunulmuştur.



Şekil 5.27. Kuruluş 2 için jet yangını kaynaklı termal radyasyon etki alanları (10mm sızıntı çapı)

Kuruluş 2'de jet yangını kaynaklı elde edilen termal radyasyon etki mesafeleri Çizelge 5.7' de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Kuruluş 2 için jet yangını kaynaklı termal radyasyon etki mesafeleri (10mm sızıntı çapı)

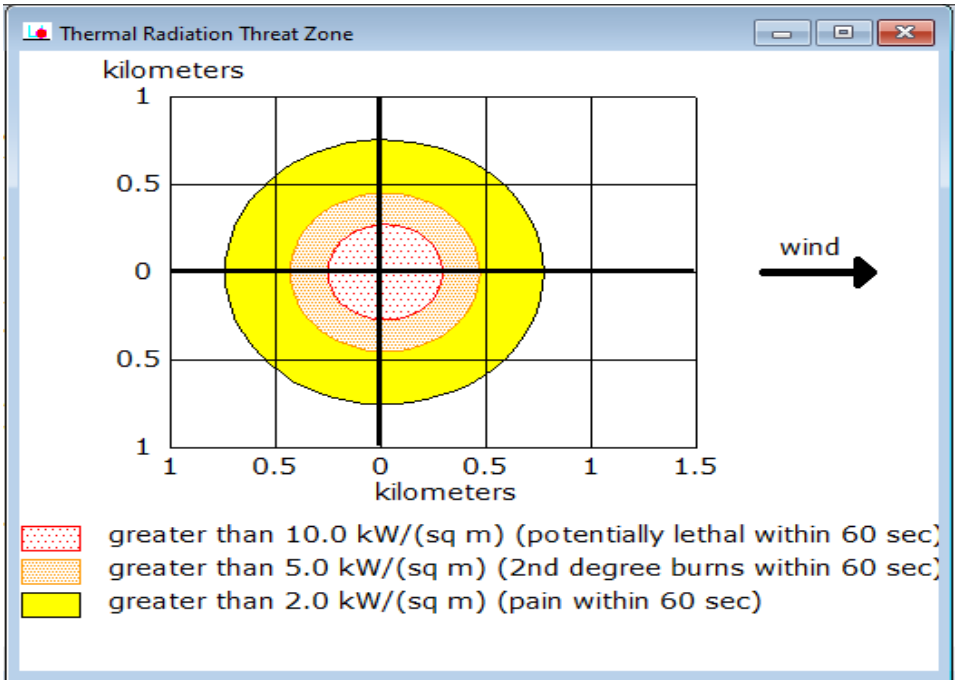
TEHLİKE ALANI:	
Tehlike modeli: Jet yangını kaynaklı termal radyasyon	
Kırmızı: l0m	(10.0 kW/ (sq m) = 60 saniye içinde potansiyel ölüm
Turuncu: 10m	(5.0 kW/ (sq m) = 60 saniye içinde ikinci derece yanıklar
Sarı: 13m	(2.0 kW/ (sq m) = 60 saniye içinde acı/ağrı

Çizelge 5.7' den tanktan 10m mesafede ölümcül etkilerin söz konusu olduğu görülmektedir.10mm sızıntı çapı ile oluşan termal radyasyon etki alanı Google Earth görüntüsü Şekil 5.23' te verilmiştir.



Şekil 5.28. Kuruluş 2 için jet yangını kaynaklı termal radyasyon etki alanı Google Earth görüntüsü (10mm sızıntı çapı)

Şekil 5.22’ den kuruluş içi domino etkilerinin olabileceği görülmektedir. Katastropik etkileri temsilen yıldırım çarpması sonucu tankta 1000mm çaplı bir sızıntı deliği oluşması ve jet yangını etkileri modellenmiştir. Elde edilen termal radyasyon tehlike alanları Şekil 5.23’ te verilmiştir.



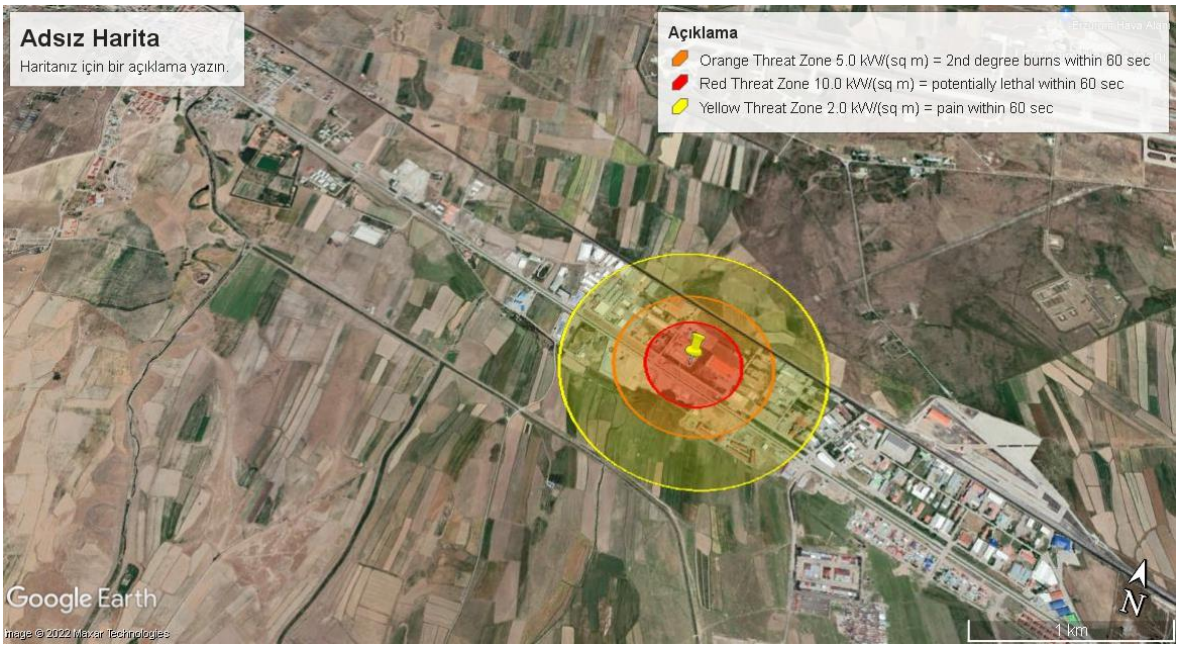
Şekil 5.29. Kuruluş 2 için jet yangını kaynaklı termal radyasyon etki alanları (1000mm sızıntı çapı)

Kuruluş 2 için jet yangını kaynaklı elde edilen termal radyasyon etki mesafeleri Çizelge 5.8' de sunulmuştur.

Çizelge 5.8. Kuruluş 2 için jet yangını kaynaklı termal radyasyon etki mesafeleri (1000mm sızıntı çapı)

TEHLİKE ALANI:	
Tehlike modeli: Jet yangını kaynaklı termal radyasyon	
Kırmızı: 296m	(10.0 kW/ (sq m) = 60 saniye içinde potansiyel ölüm
Turuncu: 473m	(5.0 kW/ (sq m) = 60 saniye içinde ikinci derece yanıklar
Sarı: 775m	(2.0 kW/ (sq m) = 60 saniye içinde acı/ağrı

Sızıntı kaynağı tanktan 296m mesafede, geniş bir etki alanında ölümcül etkilerin olacağı belirlenmiştir. 1000mm sızıntı çapı ile oluşan termal radyasyon etki alanı Google Earth görüntüsü ise Şekil 5.24' te verilmiştir.



Şekil 5.30. Kuruluş 2 için jet yangını kaynaklı termal radyasyon etki alanı Google Earth görüntüsü (1000mm sızıntı çapı)

Şekil 5.24'ten kuruluş içi ve dışı domino etkilerinin olabileceği görülmektedir. Yıldırımın tetiklediği teknolojik kazalar için Kuruluş 2' nin daha riskli olduğu ve geniş etki alanları sunduğu söylenebilir.

Kantitatif risk analizi sonucunda Kuruluş 2 daha riskli bulunurken, Yılkomer ve Radsan programı kullanılarak gerçekleştirilen risk analizinde kuruluşlarda benzer riskler elde edilmiş, hasar yönünden Kuruluş 2 daha riskli bulunmuştur.

5.4. Kuruluşlarda Selin/Taşkının Tetiklediği Natech Kazalarının Risk Analizi

Bölüm 4.4' de açıklanan iki farklı yöntem üzerinden selin/taşkının tetiklediği Natech kazaları analiz edilmiştir.

5.4.1. Ön tehlike listesi ve Fine Kinney Metodu ile risk analizi

Belirlenen kuruluşlar özelinde gerçekleştirilen analizler iki ayrı başlık altında sunulmuştur.

Kuruluş 1

Kuruluş 1' de %85 doluluğa sahip 115 m^3 hacimli 5 depolama tankı bulunmaktadır. Bunlar içerisinden üç tank, %70 Bütan-%30 Propan, geriye kalan iki tanktan biri %50 Bütan-%50 Propan diğeri %100 Propan içermektedir. Kuruluş 1 içerisinde 115 mm çapa sahip 3 adet pompa emme boru hattı, 80 mm çapa sahip 3 adet tank likit boru hattı, 50 mm çapa sahip gaz fazı emme ve gaz fazı basma boru hattı, 80 mm çapa sahip geri dönüş mix ve 50 mm çapa sahip 2 geri dönüş boru hattı, 80 mm çapa sahip tüplü dolum mix ve 50 mm çapa sahip tüplü dolum propan boru hattı yer almaktadır. Boru hattı basınçları 2,5 ve 6,5 bar olarak değişiklik göstermekte ve yerden yüksekliği 1 metredir. Bu veriler ışığında Kuruluş 1 için sel/taşkın afeti tetikleyici mekanizması özelinde uygulanan ön tehlike listesi Çizelge 5.9' da sunulmuştur.

Çizelge 5.9. Kuruluş 1 Ön Tehlike Listesi

Sıra	**Tehlike Kaynağı**	**Tehlikenin Etkileri**	**Öneriler**
D1	Depolama tankı	Tanklarda bulunan kimyasalların sel/taşkın sularına karışması sonucu çevre kirliliğinin yaşanması	Sel/taşkın sularına karşı muhafazalar inşa edilebilir. Güvenlik önlemleri afet öncesinde oluşturulmalıdır.

Çizelge 5.9. (devamı) Kuruluş 1 Ön Tehlike Listesi

Sıra	Tehlike Kaynağı	Tehlikenin Etkileri	Öneriler
D2	Depolama tankı	Tanklarda bulunan kimyasalların sel/taşkın sularına karışması sonucu kendiliğinden tutuşma ve patlama	Sel/taşkın afeti planlamalara dahil edilmelidir.
D3		Depolama tankının sel/taşkın suları ile taşınması sonucu yangına bağlı can ve mal kaybı	Depolama tankları için güçlendirme çalışmaları yapılabilir. Sabitleme işlemi yapılmalıdır.
D4		Depolama tankının sel/taşkın suları ile taşınması sonucu patlamaya bağlı can ve mal kaybı	
D5		Depolama tankının devrilmesi sonucu yangına bağlı can ve mal kaybı	Depolama tankları çevresine setler yapılabilir.
D6		Depolama tankının devrilmesi sonucu patlamaya bağlı can ve mal kaybı	
D7		Depolama tankının devrilmesi sonucu toksik yayılıma bağlı can ve mal kaybı	
D8	Atık su tankı	Sel/taşkın sularının atık su tankı muhafazalarını geçmesi sonucu atık taşması	Atık su tankları sele/taşkına karşı dayanıklı olmalıdır.
D9		Sel/taşkın sularının atık su tankı muhafazalarını geçmesi sonucu su arıtma ve bertaraf sistemlerinin bozulması toksik yayılım	Şiddetli yağmura hazırlık olarak atık su tank seviyesi düşük tutulmalı, mümkünse hemen bertaraf edilmelidir.

Çizelge 5.9. (devamı) Kuruluş 1 Ön Tehlike Listesi

Sıra	**Tehlike Kaynağı**	**Tehlikenin Etkileri**	**Öneriler**
D10	Atık su tankı	Sel/taşkın sularının atık su tankı muhafazalarını geçmesi sonucu toksik yayılım	
D11	Elektrik bağlantıları	Elektrik akımı/kıvılcım sonucu oluşabilecek yangına bağlı can ve mal kaybı	Elektrik tesisatı korunaklı mekanizmalar içerisine alınmalıdır.
D12		Elektrik akımı/kıvılcım sonucu oluşabilecek patlamaya bağlı can ve mal kaybı	
D13	Bağlantı ekipmanları	Bağlantı ekipmanlarında muhtemel deformasyona bağlı oluşabilecek sızıntı sonucu patlama	Flanş, vana, emniyet ventili, giriş-çıkış hattı gibi bağlantı ekipmanlarının periyodik kontrolleri yapılmalıdır.
D14		Bağlantı ekipmanlarında muhtemel deformasyona bağlı oluşabilecek sızıntı sonucu çevre kirliliği	
D15	Akaryakıt transfer pompası	Akaryakıt transfer pompası conta arızasına bağlı pompa içerisinden akaryakıt dökülmesi sonucu çevre kirliliği	Pompaların periyodik bakımları yapılmalıdır. Sel/taşkın suyu seviyesinden yüksek olacak şekilde konumlandırılabilir.
D16	Güvenlik bariyerleri	Sel/taşkın anında acil kapatma sisteminin çalışmamasına bağlı tesiste maddi hasar	Güvenlik bariyerlerinin periyodik bakımlarının takibi yapılmalı ve tatbikatlarda çalıştırılarak kontrolleri sağlanmalıdır.

Çizelge 5.9. (devamı) Kuruluş 1 Ön Tehlike Listesi

Sıra	Tehlike Kaynağı	Tehlikenin Etkileri	Öneriler
D17	Güvenlik bariyerleri	Elektrik akımının kesilmemesine bağlı olarak elektrik akımının sel/taşkın suyunda iletkenliği sonucu can kaybı	
D18	Boru hatları	Sel/taşkın sularına bağlı boru hatlarında kırılma sonucu yangın	Boru tesisatı çevresinde geliştirilmiş bariyer tasarlanabilir.
D19		Sel/taşkın sularına bağlı boru hatlarında kırılma sonucu çevre kirliliği	
D20		Sel/taşkın sularına bağlı boru hatlarının kopmasına bağlı toksik yayılım	
D21	Çalışanların afet eğitiminin olmaması	Sel/taşkın anında çalışanların bilinçsiz hareket etmesi sonucu can ve mal kaybı	Çalışanlara bulundukları bölge itibariyle maruz kalabilecekleri afetler öncelikli olacak şekilde afet eğitimleri verilmelidir.
D23	Araç ve iş makineleri	Sel/taşkın sularının araç ve iş makinelerini sürüklemesine bağlı sahada çalışanların can kaybı	Araç ve iş makinalarının çalışma alanları için çalışanlardan uzak korunaklı bir bölge belirlenebilir.
D24		Sel/taşkın sularının araç ve iş makineleri sürüklemesi sonucu maddi hasar	
D25	Tanker yükleme terminali	Sel/taşkın suyunun kuvvetine bağlı olarak terminalde hasar oluşması	Terminalde gerekli güçlendirmeler yapılmalı ve inşa aşamasında tehlikeye göre malzeme seçimi yapılabilir.

Çizelge 5.9. (devamı) Kuruluş 1 Ön Tehlike Listesi

D26	Tanker	Tankerin sel/taşkın suyu kuvvetine bağlı devrilmesi sonucu çevre kirliliği	
D27	Tesis bölgesinde ilkbahar aylarında yoğun kar erimesi	Yaşanan yoğun kar erimelerine bağlı sel/taşkın sularının sabitlenmemiş ekipmanları taşıması sonucu can ve mal kaybı	Ekipmanlar sabitlenmeli, kullanılacak ekipmanlar sel/taşkın riskine uygun seçilmelidir.
D28		Yaşanan yoğun kar erimelerine bağlı sel/taşkın sularının valf, reaktör ve sensör gibi ekipmanlara zarar vermesi	
D29	Basınç tahliye vanası	Sel/taşkın suları sonucu basınç tahliye vanasının fonksiyon kaybetmesine bağlı basıncın kontrol altına alınamaması sonucu maddi hasar	Basınç tahliye vanasının periyodik bakımları yapılmalıdır.
D30		Sel/taşkın suları sonucu basınç tahliye vanasının fonksiyon kaybetmesine bağlı basıncın kontrol altına alınamaması sonucu tanklarda yırtılma	
D31		Sel/taşkın suları sonucu basınç tahliye vanasının fonksiyon kaybetmesine bağlı basıncın kontrol altına alınamaması sonucu tanklarda patlama	

Çizelge 5.9. (devamı) Kuruluş 1 Ön Tehlike Listesi

D32	Drenaj sistemi	Drenaj sisteminin sel/taşkın sularını drene edememesine bağlı sel/taşkın sularının kontrol edilememesi sonucu maddi hasar	Drenaj sistemi tesis için sağlanmalı ve kontrolleri yapılmalıdır.
D33	LPG'nin hidrokarbon bileşiği içermesi	LPG'nin hidrokarbon bileşiği içermesine bağlı tankta meydana gelebilecek deformasyon sonucu yangın	Yanıcı madde olan hidrokarbonun tanklardan yayılımını engellemek için tankların yapısı güçlendirilebilir.
D34		LPG'nin hidrokarbon bileşiği içermesine bağlı tankta meydana gelebilecek deformasyon sonucu patlama	

Kuruluş 1' de ön tehlike listesi sonucu sel/taşkın afeti kaynaklı 34 tehlike etkisi belirlenmiştir. Depolama tankı, atık su tankı, boru hattı ve basınç tahliye vanası için birden fazla tehlike etkileri elde edilmiştir.

Belirlenen tehlike etkileri için risklerin ortaya çıkma olasılığı, tehlikeye maruz kalma sıklığı ve oluşturduğu etkinin sayısal değerlerinin çarpımı ile risk değeri elde edilmiştir. Erzurum ili bahar aylarında yoğun kar eriyişi olması sebebiyle sel/taşkın afetine açık hale gelmektedir. Tesisler konum itibariyle 1600-1750 m yükselti aralığında yer almaktadır (HGM, 2022). Kar erimesi ve yükselti faktörleri dikkate alınarak tehlikeye maruz kalma sıklığı sel/taşkın afetinin meydana gelme frekansına göre değerlendirilmiştir. Elde edilen risk değeri alınacak önlemlerin önceliğini belirlemiştir. Fine Kinney değerlendirme raporu Şekil 5.25' te sunulmuştur.

Şekil 5.25. Fine Kinney değerlendirme raporu

No	Tehlike	Risk	Etkilenecek Kişiler	Risk Derecelendirmesi				Alınacak Önlemler
				Olasılık	Frekans	Şiddet	Risk Değeri	
1	Depolama tankının kırılması sonucu kimyasalların sel/taşkın suyuna karışması	Çevre kirliliği, kendiliğinden tutuşma, patlama	Çalışanlar, canlılar, üçüncü kişiler	3	1	15	45 Olası risk	Sel sularına karşı muhafazalar inşa edilebilir. Sel afeti planlamalara dahil edilmelidir. Güvenlik önlemleri afet öncesinde oluşturulmalıdır.
2	Depolama tankının sel/taşkın suları ile taşınması sonucu yangın	Can ve mal kaybı	Çalışanlar ve üçüncü kişiler	1	1	7	7 Kabul edilebilir risk	Depolama tankları için güçlendirme çalışmaları yapılabilir. Sabitleme işlemi yapılmalıdır.
3	Depolama tankının sel/taşkın suları ile taşınması sonucu patlama	Can ve mal kaybı	Çalışanlar ve üçüncü kişiler	1	0,5	40	20 Olası risk	
4	Depolama tankının devrilmesi sonucu yangın	Can ve mal kaybı	Çalışanlar ve üçüncü kişiler	3	0,5	7	10,5 Kabul edilebilir risk	Depolama tankları çevresine setler yapılabilir.
5	Depolama tankının devrilmesi sonucu patlama	Can ve mal kaybı	Çalışanlar ve üçüncü kişiler	3	0,5	15	22,5 Olası risk	
6	Depolama tankının devrilmesi sonucu toksik yayılım	Can ve mal kaybı	Çalışanlar, üçüncü kişiler, canlılar	3	0,5	15	22,5 Olası risk	

No	Tehlike	Risk	Etkilenecek Kişiler	Risk Derecelendirmesi				Alınacak Önlemler
				Olasılık	Frekans	Şiddet	Risk Değeri	
7	Sel/taşkın sularının atık su tankı muhafazalarını geçmesi	Su arıtma ve bertaraf sistemlerinin bozulması, atık taşması, toksik yayılım, cilt ve göz hastalıkları	Çalışanlar, üçüncü kişiler, canlılar	6	1	15	90 Önemli risk	Atık su tankları sele karşı dayanıklı olmalıdır. Şiddetli yağmura hazırlık olarak atık su tank seviyesi düşük tutulmalı, mümkünse hemen bertaraf edilmelidir.
8	Elektrik akımı/kıvılcım sonucu yangın	Can ve mal kaybı	Çalışanlar	6	1	15	90 Önemli risk	Elektrik tesisatı korunaklı mekanizmalar içerisine alınmalıdır.
9	Elektrik akımı/kıvılcım sonucu patlama	Can ve mal kaybı	Çalışanlar, üçüncü kişiler	3	0,5	40	60 Olası risk	
10	Bağlantı ekipmanlarındaki deformasyona bağlı sızıntı	Patlama, çevre kirliliği	Çalışanlar, canlılar	3	0,5	15	22,5 Olası risk	Flanş, vana, emniyet ventili, giriş-çıkış hattı gibi bağlantı ekipmanlarının periyodik kontrolleri yapılmalıdır.

Şekil 5.25. (devamı) Fine Kinney değerlendirme raporu

Şekil 5.25. (devamı) Fine Kinney değerlendirme raporu

No	Tehlike	Risk	Etkilenecek Kişiler	Risk Derecelendirmesi				Alınacak Önlemler
				Olasılık	Frekans	Şiddet	Risk Değeri	
11	Akaryakıt transfer pompası conta arızasına bağlı akaryakıt dökülmesi	Çevre kirliliği	Canlılar	1	0,5	7	3,5 Kabul edilebilir risk	Pompaların periyodik bakımları yapılmalıdır. Sel suyu seviyesinden yüksek olacak şekilde konumlandırılabilir.
12	Sel/taşkın anında acil kapatma sisteminin çalışmaması	Maddi hasar	Çalışanlar	1	1	1	1 Kabul edilebilir risk	Güvenlik bariyerlerinin periyodik bakımlarının takibi yapılmalı ve tatbikatlarda çalıştırılarak kontrolleri sağlanmalıdır.
13	Sel/taşkın suyu ile elektrik akımının daha iletken hale gelmesi	Yaralanma, ölüm	Çalışanlar ve üçüncü kişiler	6	1	40	240 Yüksek risk	
14	Sel/taşkın sularına bağlı boru hatlarında kırılma	Yangın, çevre kirliliği	Çalışanlar, canlılar ve üçüncü kişiler	3	1	40	120 Önemli risk	Boru tesisatı çevresinde geliştirilmiş bariyer tasarlanabilir.
15	Sel/taşkın suları sonucu boru hatlarının kopması	Toksik yayılım	Çalışanlar, canlılar ve üçüncü kişiler	3	1	40	120 Önemli risk	

Şekil 5.25. (devamı) Fine Kinney değerlendirme raporu

No	Tehlike	Risk	Etkilenecek Kişiler	Risk Derecelendirmesi				Alınacak Önlemler
				Olasılık	Frekans	Şiddet	Risk Değeri	
16	Çalışanların afet eğitiminin olmaması	Can ve mal kaybı	Çalışanlar ve üçüncü kişiler	6	1	7	42 Olası risk	Çalışanlara bulundukları bölge itibariyle maruz kalabilecekleri afetler öncelikli olacak şekilde afet eğitimleri verilmelidir.
17	Sel/taşkın sularının araç ve iş makinelerini sürüklemesi	Can kaybı, maddi hasar	Çalışanlar	3	0,5	1	1,5 Kabul edilebilir risk	Araç ve iş makinalarının çalışma alanları için çalışanlardan uzak korunaklı bir bölge belirlenebilir.
18	Tankerin sel/taşkın suyu kuvvetine bağlı devrilmesi	Çevre kirliliği	Çalışanlar, şoför	3	0,5	7	10,5 Kabul edilebilir risk	
19	Yaşanan yoğun kar erimelerine bağlı sel/taşkın sularının sabitlenmemiş ekipmanları taşıması	Can ve mal kaybı	Çalışanlar ve üçüncü kişiler	3	1	7	21 Olası risk	Ekipmanlar sabitlenmeli, kullanılacak ekipmanlar sel riskine uygun seçilmelidir.
20	Sel/taşkın suları sonucu basınç tahliye vanasının fonksiyon kaybetmesi	Maddi hasar, tanklarda yırtılma ve patlama	Çalışanlar	1	0,5	15	7,5 Kabul edilebilir risk	Basınç tahliye vanasının periyodik bakımları yapılmalıdır.

Şekil 5.25. (devamı) Fine Kinney değerlendirme raporu

No	Tehlike	Risk	Etkilenecek Kişiler	Risk Derecelendirmesi				Alınacak Önlemler
				Olasılık	Frekans	Şiddet	Risk Değeri	
21	Drenaj sisteminin sel/taşkın sularını drene edememesi	Maddi hasar	Çalışanlar	3	0,5	3	4,5 Kabul edilebilir risk	Drenaj sistemi tesis için sağlanmalı ve kontrolleri yapılmalıdır.
22	LPG'nin hidrokarbon bileşiği içermesi	Yangın, patlama	Çalışanlar ve üçüncü kişiler	6	0,5	40	240 Yüksek risk	Yanıcı madde olan hidrokarbonun tanklardan yayılımını engellemek için tankların yapısı güçlendirilebilir.

Fine Kinney metodunda 22 tehlike etkisi derecelendirilmiştir. Risk derecelendirmesi sonucunda Kuruluş 1'de kabul edilebilir ve olası risklerin en fazla olduğu gözlemlenmiştir. LPG'nin hidrokarbon bileşiği içermesi ve sel/taşkın suyu ile elektrik akımının daha iletken hale gelmesi tehlikelerinin yüksek risk arz ettiği ortaya konulmuştur. Tehlike etkileri ve risklerin her biri için öneriler analizler içerisinde sunulmuştur.

Kuruluş 2

Kuruluş 2 içerisinde; 3000 m^3 hacme sahip küresel, 115 m^3 hacimli 4 yatay silindirik tank bulunmaktadır. Küresel tank %70 Bütan-%30 Propan içermekte olup %40 doluluk oranına sahiptir. Yatay silindirik tanklardan üçü Otogaz LPG, biri ticari propan depolamaktadır. Otogaz LPG tankları %60 Bütan-%40 Propan içermektedir ve ikisi %50, biri %70 doluluk oranına sahiptir. Kuruluş 2 içerisinde; 77,9 mm çapa sahip bir tank dolum hattı, bir tank boşaltma hattı, LPG tüp dolum hattı ve 52,5 mm çapa sahip LPG kompresör hattı olmak üzere 4 boru hattı bulunmaktadır. Boru hatları 16 bar basınca sahiptir. Kuruluş 2, Kuruluş 1' in aksine organize sanayi bölgesi içerisinde yer almaktadır (Bakınız Şekil 4.7). Bu veriler ışığında Kuruluş 2 sel/taşkın afeti tetikleyici mekanizması özelinde analiz edilmiş, uygulanan ön tehlike listesi analizi Çizelge 5.10' da sunulmuştur.

Çizelge 5.10. Kuruluş 2 ön tehlike listesi

Sıra	**Tehlike Kaynağı**	**Tehlikenin Etkileri**	**Öneriler**
D1	Depolama tankı	Tanklarda bulunan kimyasalların se/taşkın sularına karışması sonucu çevre kirliliğinin yaşanması	Sel/taşkın sularına karşı muhafazalar inşa edilmelidir. Sel/taşkın afeti planlamalara dahil edilmelidir.
D2		Tanklarda bulunan kimyasalların sel/taşkın sularına karışması sonucu kendiliğinden tutuşma ve patlama	Güvenlik önlemleri afet öncesinde oluşturulmalıdır.

Çizelge 5.10. (devamı) Kuruluş 2 ön tehlike listesi

D3	Depolama tankı	Depolama tankının sel/taşkın suları ile taşınması sonucu yangına bağlı can ve mal kaybı	Depolama tankları için güçlendirme çalışmaları yapılabilir.
D4		Depolama tankının sel/taşkın suları ile taşınması sonucu patlamaya bağlı can ve mal kaybı	Sabitleme işlemi yapılmalıdır.
D5		Depolama tankının devrilmesi sonucu yangına bağlı can ve mal kaybı	Depolama tankları çevresine setler yapılabilir.
D6		Depolama tankının devrilmesi sonucu patlamaya bağlı can ve mal kaybı	
D7		Depolama tankının devrilmesi sonucu toksik yayılıma bağlı can ve mal kaybı	
D8	Atık su tankı	Sel/taşkın sularının atık su tankı muhafazalarını geçmesi sonucu su arıtma ve bertaraf sistemlerinin bozulması	Atık su tankları sele/taşkına karşı dayanıklı olmalıdır.
D9		Sel/taşkın sularının atık su tankı muhafazalarını geçmesi sonucu atık taşması	Şiddetli yağmura hazırlık olarak atık su tank seviyesi düşük tutulmalı, mümkünse hemen bertaraf edilmelidir.
D10		Sel/taşkın sularının atık su tankı muhafazalarını geçmesi sonucu toksik yayılım	

Çizelge 5.10. (devamı) Kuruluş 2 ön tehlike listesi

D11	Elektrik bağlantıları	Elektrik akımı/kıvılcım sonucu oluşabilecek yangına bağlı can ve mal kaybı	Elektrik tesisatı korunaklı mekanizmalar içerisine alınmalıdır.
D12		Elektrik çarpması akımı/kıvılcım oluşabilecek patlamaya bağlı can ve mal kaybı	
D13	Bağlantı ekipmanları	Bağlantı ekipmanlarında oluşabilecek deformasyona bağlı oluşabilecek sızıntı sonucu patlama	Flanş, vana, emniyet ventili, giriş-çıkış hattı gibi bağlantı ekipmanlarının periyodik kontrolleri yapılmalıdır.
D14		Bağlantı ekipmanlarında oluşabilecek deformasyona bağlı oluşabilecek sızıntı sonucu çevre kirliliği	
D15	Akaryakıt transfer pompası	Akaryakıt transfer pompası conta arızasına bağlı pompa içerisinden akaryakıt dökülmesi sonucu çevre kirliliği	Pompaların periyodik bakımları yapılmalıdır. Sel/taşkın suyu seviyesinden yüksek olacak şekilde konumlandırılabilir.
D16	Güvenlik bariyerleri	Sel/taşkın anında acil kapatma sisteminin çalışmamasına bağlı tesiste maddi hasar	Güvenlik bariyerlerinin periyodik bakımlarının takibi yapılmalı ve tatbikatlarda çalıştırılarak kontrolleri sağlanmalıdır.
D17		Elektrik akımının kesilmemesine bağlı olarak elektrik akımının sel/taşkın suyunda iletkenliği sonucu can kaybı	

Çizelge 5.10. (devamı) Kuruluş 2 ön tehlike listesi

D18	Boru hatları	Sel/taşkın sularına bağlı boru hatlarında kırılma sonucu yangın	Boru tesisatı çevresinde geliştirilmiş bariyer tasarlanabilir.
D19		Sel/taşkın sularına bağlı boru hatlarında kırılma sonucu çevre kirliliği	
D20		Sel/taşkın sularına bağlı boru hatlarının kopması sonucu toksik yayılım	
D21	Çalışanların afet eğitiminin olmaması	Sel/taşkın anında çalışanların bilinçsiz hareket etmesi sonucu can ve mal kaybı	Çalışanlara bulundukları bölge itibariyle maruz kalabilecekleri afetler öncelikli olacak şekilde afet eğitimleri verilmelidir.
D22	Araç ve iş makineleri	Sel/taşkın sularının araç ve iş makinelerini sürüklemesine bağlı sahada çalışanların can kaybı	Araç ve iş makinalarının çalışma alanları için çalışanlardan uzak korunaklı bir bölge belirlenebilir.
D23		Sel/taşkın sularının araç ve iş makineleri sürüklemesi sonucu maddi hasar	
D24	Tanker yükleme terminali	Sel/taşkın suyunun kuvvetine bağlı olarak terminalde hasar oluşması	Terminalde gerekli güçlendirmeler yapılmalı ve inşa aşamasında tehlikeye göre malzeme seçimi yapılabilir.
D25	Kuruluşun organize sanayi bölgesi içerisinde yer alması	Sel/taşkın suyu ile taşınan kimyasallar sonucu hastalık, can kaybı	Halkın bilinçlendirilmesi sağlanmalıdır. Güvenlik önlemleri geliştirilebilir.

Çizelge 5.10. (devamı) Kuruluş 2 ön tehlike listesi

D26	Kuruluşun organize sanayi bölgesi içerisinde yer alması	Yangın ve patlamalar sonucu yaralanma, can ve mal kaybı yaşanması	Sel/taşkın afeti acil durum planlarında mutlak suretle göz önünde bulundurulmalıdır.
D27		Depolama tanklarının kırılması sonucu muhtemel çevre kirliliğinden çevre yapıların etkilenmesi	
D28		Kuruluş çevresinde bulunan kurum ve kuruluşların domino etkisi yaşaması	Kurum ve kuruluşların çevrede bulunan kimyasallara karşı güvenlik önlemleri alması sağlanmalıdır. Çevre kurum ve kuruluşlarda çalışanlar bilinçlendirilmelidir.
D29	Tanker	Tankerin sel/taşkın suyu kuvvetine bağlı devrilmesi sonucu toprak ve su kirliliği	
D30	Tesis bölgesinde ilkbahar aylarında yoğun kar erimesi	Yaşanan yoğun kar erimelerine bağlı sel/taşkın sularının sabitlenmemiş ekipmanları taşıması sonucu can ve mal kaybı	Ekipmanlar sabitlenmeli, kullanılacak ekipmanlar sel /taşkın riskine uygun seçilmelidir.
D31		Yaşanan yoğun kar erimelerine bağlı sel/taşkın sularının valf, reaktör ve sensör gibi ekipmanlara zarar vermesi	

Çizelge 5.10. (devamı) Kuruluş 2 ön tehlike listesi

D32	Basınç tahliye vanası	Sel/taşkın suları sonucu basınç tahliye vanasının fonksiyon kaybetmesine bağlı basıncın kontrol altına alınamaması sonucu maddi hasar	Basınç tahliye vanasının periyodik bakımları yapılmalıdır.
D33		Sel/taşkın suları sonucu basınç tahliye vanasının fonksiyon kaybetmesine bağlı basıncın kontrol altına alınamaması sonucu tanklarda yırtılma	
D34		Sel/taşkın suları sonucu basınç tahliye vanasının fonksiyon kaybetmesine bağlı basıncın kontrol altına alınamaması sonucu tanklarda patlama	
D35	Drenaj sistemi	Drenaj sisteminin sel/taşkın sularını drene edememesine bağlı sel/taşkın sularının kontrol edilememesi sonucu maddi hasar	Drenaj sistemi tesis için sağlanmalı ve kontrolleri yapılmalıdır.
D36	LPG'nin hidrokarbon bileşiği içermesi	LPG'nin hidrokarbon bileşiği içermesine bağlı tankta meydana gelebilecek deformasyon sonucu yangın	Yanıcı madde olan hidrokarbonun tanklardan yayılımını engellemek için tankların yapısı güçlendirilebilir.

Çizelge 5.10. (devamı) Kuruluş 2 ön tehlike listesi

D37	LPG'nin hidrokarbon bileşiği içermesi	LPG'nin hidrokarbon bileşiği içermesine bağlı tankta meydana gelebilecek deformasyon sonucu patlama	

Kuruluş 2' de ön tehlike listesi sonucu 37 tehlike etkisi belirlenmiştir. Depolama tankı, atık su tankı, boru hattı, kuruluşun organize sanayi bölgesi içerisinde yer alması ve basınç tahliye vanası için birden fazla tehlike etkileri elde edilmiştir.

Kuruluşun organize sanayi bölgesi içerisinde yer alması da göz önünde bulundurularak riskler derecelendirilmiştir. Kuruluş 2 için oluşturulan Fine Kinney değerlendirme raporu Şekil 5.26' da sunulmuştur.

Şekil 5.26. Fine Kinney değerlendirme raporu

No	Tehlike	Risk	Etkilenecek Kişiler	Risk Derecelendirmesi				Alınacak Önlemler
				Olasılık	Frekans	Şiddet	Risk Değeri	
1	Depolama tankının kırılması sonucu kimyasalların sel/taşkın suyuna karışması	Çevre kirliliği, kendiliğinden tutuşma, patlama	Çalışanlar, canlılar, üçüncü kişiler	3	1	15	45 Olası risk	Sel/taşkın sularına karşı muhafazalar inşa edilebilir. Sel/taşkın afeti planlamalara dahil edilmelidir. Güvenlik önlemleri afet öncesinde oluşturulmalıdır.
2	Depolama tankının sel/taşkın suları ile taşınması sonucu yangın	Can ve mal kaybı	Çalışanlar ve üçüncü kişiler	1	1	7	7 Kabul edilebilir risk	Depolama tankları için güçlendirme çalışmaları yapılabilir. Sabitleme işlemi yapılmalıdır.
3	Depolama tankının sel/taşkın suları ile taşınması sonucu patlama	Can ve mal kaybı	Çalışanlar ve üçüncü kişiler	1	0,5	40	20 Olası risk	Depolama tankları çevresine muhafazalar inşa edilmelidir.
4	Depolama tankının devrilmesi sonucu yangın	Can ve mal kaybı	Çalışanlar ve üçüncü kişiler	3	0,5	7	10,5 Kabul edilebilir risk	Depolama tankları çevresine setler ve muhafazalar inşa edilerek olası kıvılcımlardan etkilenmemesi sağlanmalıdır.

Şekil 5.26. (devamı) Fine Kinney değerlendirme raporu

No	Tehlike	Risk	Etkilenecek Kişiler		Risk Derecelendirmesi			Alınacak Önlemler
				Olasılık	Frekans	Şiddet	Risk Değeri	
5	Depolama tankının devrilmesi sonucu patlama	Can ve mal kaybı	Çalışanlar ve üçüncü kişiler	3	0,5	15	22,5 Olası risk	Depolama tankı havuz içerisine alınarak yangının havuz içerisinden dışarıya taşmaması sağlanabilir.
6	Depolama tankının devrilmesi sonucu toksik yayılım	Can ve mal kaybı	Çalışanlar, üçüncü kişiler, canlılar	3	0,5	15	22,5 Olası risk	Depolama tankları çevresine setler ve muhafazalar inşa edilerek olası toksik yayılım engellenmelidir.
7	Sel/taşkın sularının atık su tankı muhafazalarını geçmesi	Su artma ve bertaraf sistemlerinin bozulması, atık taşması, toksik yayılım, cilt ve göz hastalıkları	Çalışanlar, üçüncü kişiler, canlılar	6	1	15	90 Önemli risk	Atık su tankları sele/taşkına karşı dayanıklı olmalıdır. Şiddetli yağmura hazırlık olarak atık su tank seviyesi düşük tutulmalı, mümkünse hemen bertaraf edilmelidir.
8	Elektrik akımı/kıvılcım sonucu yangın	Can ve mal kaybı	Çalışanlar	6	1	15	90 Önemli risk	Elektrik tesisatı korunaklı mekanizmalar içerisine alınmalıdır.
9	Elektrik akımı/kıvılcım sonucu patlama	Can ve mal kaybı	Çalışanlar, üçüncü kişiler	3	0,5	40	60 Olası risk	Periyodik olarak kontroller yapılmalıdır. Elektrik panolarının tümünün önünde yalıtım malzemesi bulunmalıdır.

Şekil 5.26. (devamı) Fine Kinney değerlendirme raporu

No	Tehlike	Risk	Etkilenecek Kişiler	Risk Derecelendirmesi				Alınacak Önlemler
				Olasılık	Frekans	Şiddet	Risk Değeri	
10	Bağlantı ekipmanlarındaki deformasyona bağlı sızıntı	Patlama, çevre kirliliği	Çalışanlar, canlılar	3	0,5	15	22,5 Olası risk	Flanş, vana, emniyet ventili, giriş-çıkış hattı gibi bağlantı ekipmanlarının periyodik kontrolleri yapılmalıdır.
11	Akaryakıt transfer pompası conta arızasına bağlı akaryakıt dökülmesi	Çevre kirliliği	Canlılar	1	0,5	7	3,5 Kabul edilebilir risk	Pompaların periyodik bakımları yapılmalıdır. Sel/taşkın suyu seviyesinden yüksek olacak şekilde konumlandırılabilir.
12	Sel/taşkın anında acil kapatma sisteminin çalışmaması	Maddi hasar	Çalışanlar	1	1	1	1 Kabul edilebilir risk	Güvenlik bariyerlerinin periyodik bakımlarının takibi yapılmalı ve tatbikatlarda çalıştırılarak kontrolleri sağlanmalıdır.
13	Sel/taşkın suyu ile elektrik akımının daha iletken hale gelmesi	Yaralanma, ölüm	Çalışanlar ve üçüncü kişiler	6	1	40	240 Yüksek risk	
14	Sel/taşkın sularına bağlı boru hatlarında kırılma	Yangın, çevre kirliliği	Çalışanlar, canlılar ve üçüncü kişiler	3	1	40	120 Önemli risk	Boru tesisatı çevresinde geliştirilmiş bariyer tasarlanabilir.

Şekil 5.26. (devamı) Fine Kinney değerlendirme raporu

No	Tehlike	Risk	Etkilenecek Kişiler	Risk Derecelendirmesi				Almacak Önlemler
				Olasılık	Frekans	Şiddet	Risk Değeri	
15	Sel/taşkın sularına bağlı boru hatlarının kopması	Toksik yayılım	Çalışanlar, canlılar ve üçüncü kişiler	3	1	40	120 Önemli risk	
16	Çalışanların afet eğitiminin olmaması	Can ve mal kaybı	Çalışanlar ve üçüncü kişiler	6	1	7	42 Olası risk	Çalışanlara bulundukları bölge itibariyle maruz kalabilecekleri afetler öncelikli olacak şekilde afet eğitimleri verilmelidir.
17	Sel/taşkın sularının araç ve iş makinelerini sürüklemesi	Can kaybı, maddi hasar	Çalışanlar	3	0,5	1	1,5 Kabul edilebilir risk	Araç ve iş makinalarının çalışma alanları için çalışanlardan uzak korunaklı bir bölge belirlenebilir.
18	Yerleşim bölgesine sel/taşkın suyu ile kimyasalların taşınması	Hastalık ve can kaybı	Çalışanlar, üçüncü kişiler, canlılar	6	1	100	600 Çok yüksek risk	Kuruluş çevresine muhafazalar inşa edilmelidir. Drenaj sistemi için iyileştirmeler yapılmalıdır.
19	Kuruluş içerisinde çıkan yangının çevre kuruluşlara sıçraması	Can kaybı, maddi hasar	Çalışanlar, üçüncü kişiler	6	1	40	240 Yüksek risk	Çevre halkın bilinçlendirilmesi sağlanmalıdır. Kuruluş içerisinde yangın için gerekli önlemler, yangına müdahale sistemleri geliştirilmelidir.

Şekil 5.26. (devamı) Fine Kinney değerlendirme raporu

No	Tehlike	Risk	Etkilenecek Kişiler	Risk Derecelendirmesi				Almacak Önlemler
				Olasılık	Frekans	Şiddet	Risk Değeri	
20	Kuruluş içerisinde yaşanan patlamanın çevre kuruluşlarda etkiler oluşturması	Can kaybı, maddi hasar	Çalışanlar, üçüncü kişiler	6	1	100	600 Çok yüksek risk	
21	Tankerin sel/taşkın suyu kuvvetine bağlı devrilmesi	Çevre kirliliği	Çalışanlar, şoför	3	0,5	7	10,5 Kabul edilebilir risk	
22	Yaşanan yoğun kar erimelerine bağlı sel/taşkın sularının sabitlenmemiş ekipmanları taşıması	Can ve mal kaybı	Çalışanlar ve üçüncü kişiler	3	1	7	21 Olası risk	Ekipmanlar sabitlenmelidir. Kullanılacak ekipmanlar sel/taşkın riskine uygun seçilmelidir.
23	Sel/taşkın suları sonucu basınç tahliye vanasının fonksiyon kaybetmesi	Maddi hasar, tanklarda yırtılma ve patlama	Çalışanlar	1	0,5	15	7,5 Kabul edilebilir risk	Basınç tahliye vanasının periyodik bakımları yapılmalıdır.
24	Drenaj sisteminin sel/taşkın sularını drene edememesi	Maddi hasar	Çalışanlar	3	0,5	3	4,5 Kabul edilebilir risk	Drenaj sistemi tesis için sağlanmalı ve kontrolleri yapılmalıdır. Drenaj sistemi iyileştirilmelidir.

Şekil 5.26. (devamı) Fine Kinney değerlendirme raporu

No	Tehlike	Risk	Etkilenecek Kişiler	Risk Derecelendirmesi				Almacak Önlemler
				Olasılık	Frekans	Şiddet	Risk Değeri	
25	LPG'nin hidrokarbon bileşiği içermesi	Yangın, patlama	Çalışanlar ve üçüncü kişiler	6	0,5	40	240 Yüksek risk	Yanıcı madde olan hidrokarbonun tanklardan yayılımını engellemek için tankların yapısı güçlendirilebilir.
26	Depolama tankının kırılması sonucu yerleşim bölgesine kimyasal dökülmesi	Çevre kirliliği, cilt ve göz hastalıkları	Üçüncü kişiler, canlılar	3	0,5	15	22,5 Olası risk	Depolama tanklarının çevresine havuzlar yapılarak muhtemel sel/taşkın afeti durumunda yerleşim bölgesinin etkilenmemesi veya en az hasarla etkilenmesi sağlanmalıdır.
27	Yerleşim bölgesinde yaşayan halkın tehlikelere karşı bilinçsiz ve savunmasız olması	Yaralanma, can kaybı, maddi hasar	Halk	6	1	15	90 Önemli risk	Halk bilinçlendirilmelidir. Güvenlik önlemleri yerleşim bölgesine göre seçilmelidir.
28	Kuruluş çevresinde bulunan kurum ve kuruluşların muhtemel domino etkilerine karşı savunmasız olması	Yaralanma, can kaybı, maddi hasar	Çalışanlar	6	1	100	600 Çok yüksek risk	Kurum ve kuruluşların çevrede bulunan kimyasallara karşı güvenlik önlemleri alması sağlanmalıdır. Çevre kurum ve kuruluşlarda çalışanlar bilinçlendirilmelidir.

Fine Kinney metodunda 28 tehlike etkisi derecelendirilmiştir. Risk derecelendirmesi sonucunda Kuruluş 2'de kabul edilebilir ve olası risklerin en fazla olduğu gözlemlenmiştir. Kuruluş 2' nin organize sanayi bölgesi içerisinde ve kalabalık bölgede yer alması yerleşim bölgesine kimyasalların sel/taşkın sularıyla taşması, kuruluş içerisinde yaşanan patlamanın çevre kuruluşlarda etkiler oluşturması, çevredeki kurum ve kuruluşlarda muhtemel domino etkisi oluşturması durumlarının çok yüksek riskler içerdiği görülmüştür. Tehlike etkileri ve risklerin her biri için öneriler analizler içerisinde sunulmuştur. Kuruluş 2'nin, Kuruluş 1' e göre daha riskli olduğu söylenebilir.

5.4.2. Kantitatif risk analizi

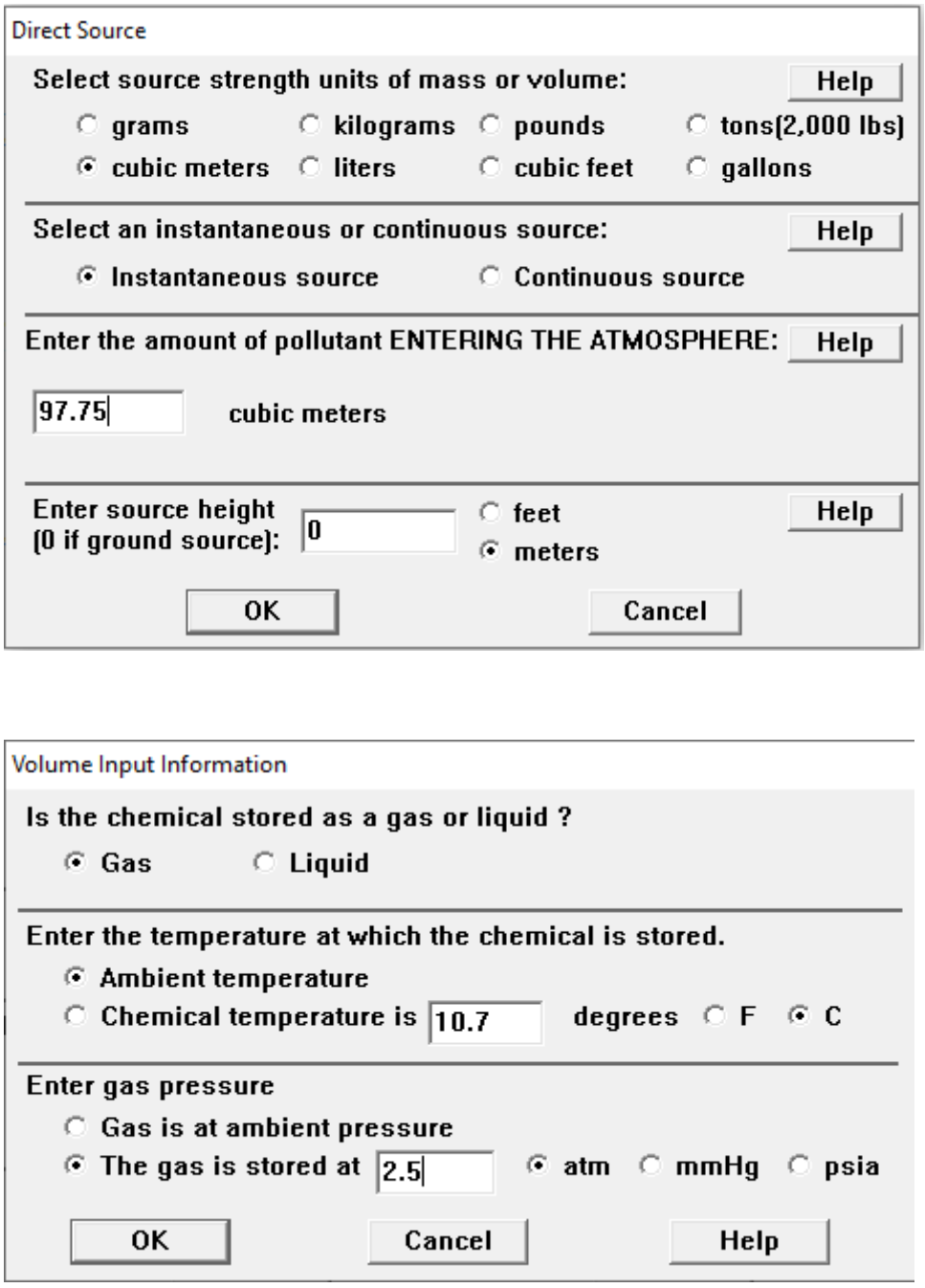
Kuruluşlarda yürütülen analizler ayrı ayrı aşağıda açıklanmıştır.

Kuruluş 1

Şekil 4.5 uyarınca Mod1 ve Mod2, Kuruluş 1 için çalışılmıştır. Patlama, yangın ve toksik yayılım etkilerinin belirlenmesine dayanan sonuç analizleri yine ALOHA yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

Mod 1

Kuruluş için kimyasal ve atmosferik seçimler yıldırımın etkisinin çalışıldığı modelleme çalışmaları ile aynı tutulmuş, yalnızca tehlike kaynağı, tank yerine doğrudan kaynak seçilerek sonuç analizleri yapılmıştır. Mod1 için tüm tank içeriğinin ($115m^3$/%85 doluluk propan tankı) anında serbest salınımı modellenmiştir. Bu seçime ait ekran görüntüleri Şekil 5.27' de sunulmuştur.



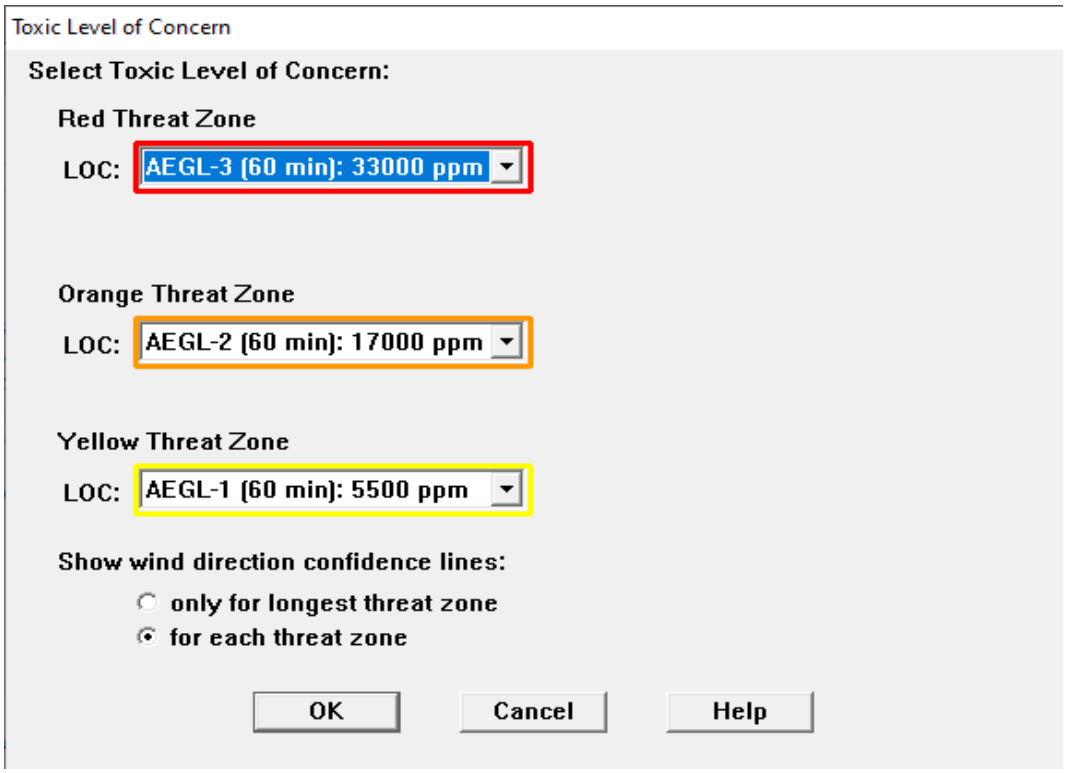
Şekil 5.27. Kuruluş 1 için Mod 1 seçimi ekran görüntüsü

Tehlike analizinde dikkate alınan kaza senaryosu yanabilir kimyasalın yanmadan atmosfere doğrudan salındığı şeklindedir (Şekil 5.28). Bu kaza senaryosu sonucu, buhar bulutu toksik etki alanı, buhar bulutu yanabilir alanı ve buhar bulutu patlama alanları belirlenmiştir.



Şekil 5.28. Kuruluş 1 için selin/taşkının tetiklediği tehlike analizi ekran görüntüsü

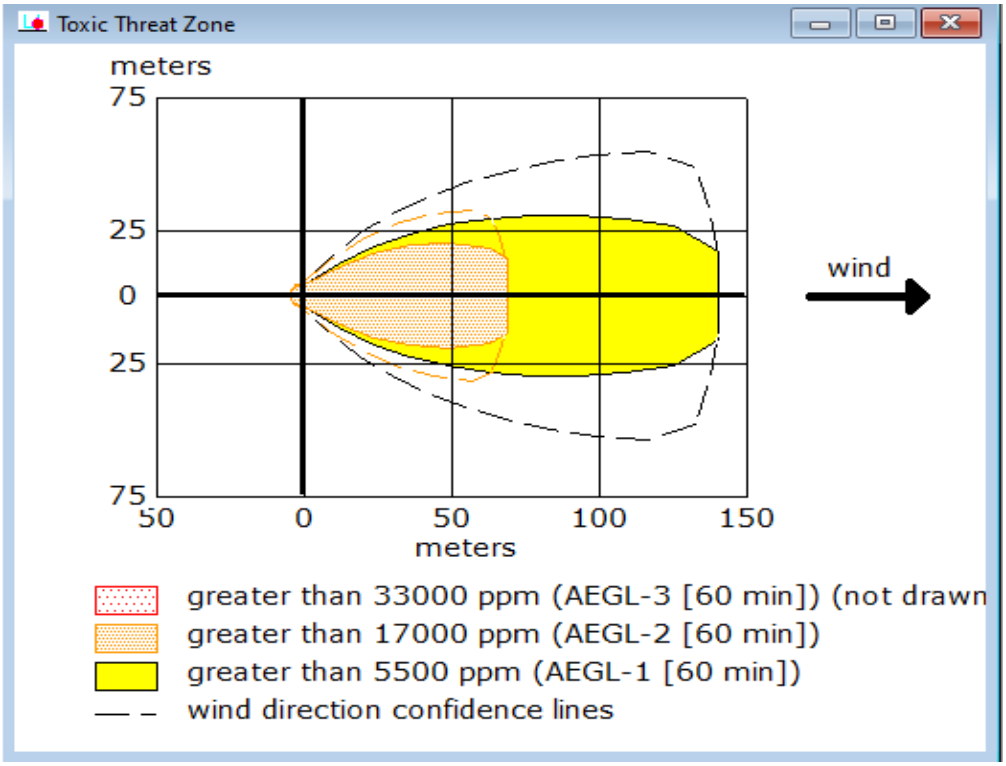
İlgili seçimler sonucunda önce buhar bulutu toksik etkileri elde edilmiştir. Propan için toksik eşik değerleri Şekil 5.29' da sunulmuştur.



Şekil 5.29. Propan toksik eşik değerleri

Maruz kalma sınırı (Levels of Concern-LOC); toksik bir salınımda tehlikeli kimyasala maruz kalma süresi ile kimyasal maddeye maruz kalma seviyesinin değerini temsil etmektedir. Toksik kimyasalın solunma tehlikelerine karşı kimyasala özel LOC değerleri bulunmaktadır. Soluma toksisitesi için eşikler, CAMEO Chemicals' dan elde edilmektedir. AEGL' ler (Akut Maruz Kalma Yönergesi Düzeyleri), ERPG' ler (Acil Müdahale Planlama Yönergeleri), PAC' ler (Koruyucu Eylem Kriterleri) ve IDLH (Yaşam ve Sağlık için Acil Tehlike) sınırları, ALOHA' ya entegre edilmiş veri dosyalarında saklanmaktadır. Kuruluşlar farklı olsa da bahsettiğimiz üç maruziyet kılavuzunun tümü, kimyasal maruziyetin düzeylerinin ve etkilerinin değerlendirilmesinde benzer yaklaşım göstermektedir. Bu yaklaşım; bir kimyasal madde ne kadar zehirli ise LOC değerinin de düşük olacağı yönündedir. ALOHA kimyasal maddenin salınımından belirli bir süre sonra, kimyasalın konsantrasyonunun belirlenen maruz kalma sınırını geçebileceği ve tehlike bölgesi oluşturabileceği alanı tespit etmektedir (Jones, 2013).

Maruz kalma seviyeleri arasındaki fark maruz kalma süreleridir. AEGLs, 10 dakika, 30 dakika, 60 dakika, 4 saat ve 8 saatlik süreler için tanımlanmaktadır. AEGL-3, genel popülasyonun yaşamı tehdit eden sağlık etkileri veya ölümle karşılaşabileceği havadaki konsantrasyonu temsil eder. AEGL-2, genel nüfusun geri döndürülemez diğer ciddi, uzun süreli olumsuz sağlık etkilerine maruz kalabileceği veya kaçma kabiliyetinde bozulma yaşayabileceği havadaki konsantrasyondur. AEGL-1, genel popülasyonun kayda değer rahatsızlık, tahriş veya belirli asemptomatik duyusal olmayan etkiler yaşayabileceği havadaki konsantrasyondur. Etkiler devre dışı bırakılmaz ve geçicidir, maruziyetin kesilmesi üzerine geri döndürülebilir (Jones, 2013). Kuruluş 1 için Mod 1 kapsamında belirlenen toksik etki alanları Şekil 5.30’da verilmiştir.



Şekil 5.30. Kuruluş 1 için Mod 1 kapsamında belirlenen buhar bulutu toksik etki alanları

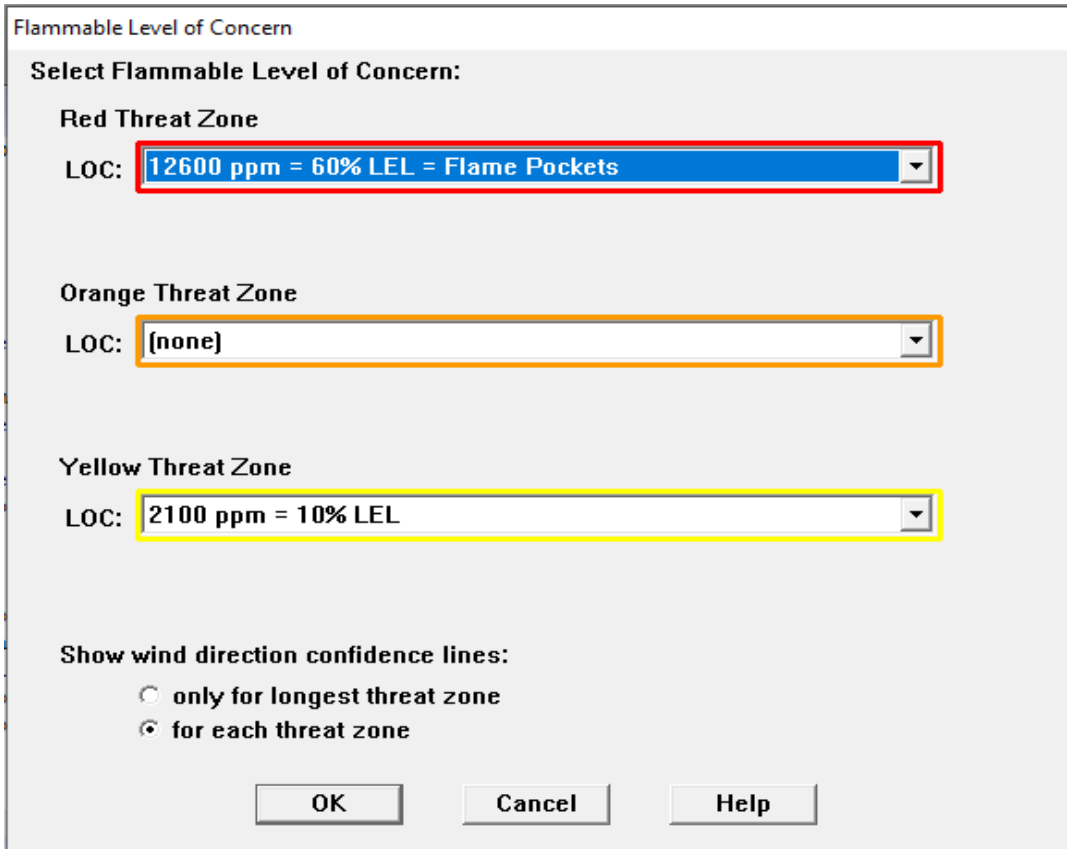
Kuruluş 1 için Mod 1 kapsamında belirlenen buhar bulutu toksik etki alanları Çizelge 5.11' de verilmiştir.

Çizelge 5.11. Kuruluş 1 için Mod 1 kapsamında belirlenen buhar bulutu toksik etki alanları

TEHLİKE ALANI:	
Model Çalıştırması: Ağır Gaz	
Kırmızı: 44m	(33000 ppm = AEGL-3 [60 dakika])
Not: Tehdit bölgesi çizilmedi çünkü yakın alan yamalı etkileri, kısa mesafeler için dağılım tahminlerini daha az güvenilir hale getiriyor.	
Turuncu: 69m	(17000 ppm = AEGL-2 [60 dakika])
Sarı: 140m	(5500 ppm = AEGL-1 [60 dakika])

Turuncu bölgede 69m, sarı bölgede 140 m mesafede toksik etkiler elde edilmiştir.

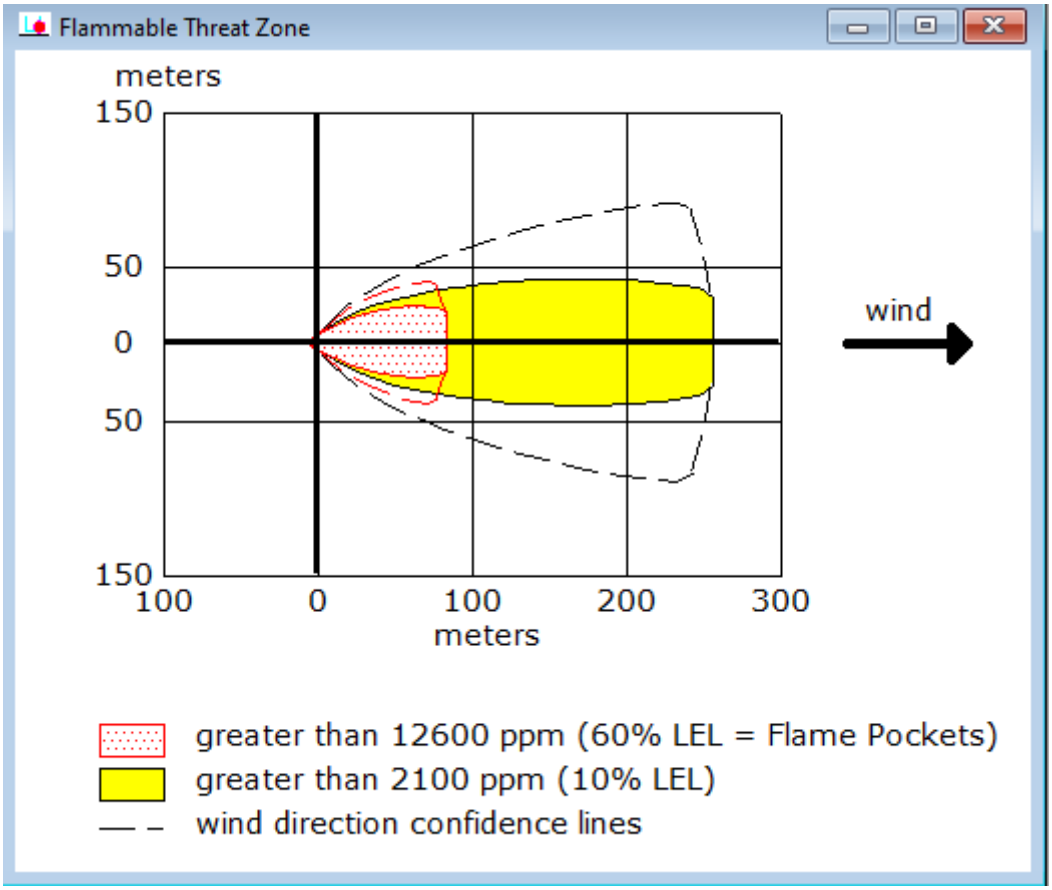
Toksik etkilerin belirlenmesi ardından buhar bulutu yanabilir etkiler belirlenmiştir. Propan için yanabilirlik eşik değerleri Şekil 5.31' de sunulmuştur.



Şekil 5.31. Propan için yanabilirlik eşik değerleri

Alevlenebilir bölge için tanımlanan LEL (Lower Explosion Limit-Alt Patlama Sınırı) değeri hava içinde yer alması gereken minimum yanıcı madde buhar oranını ifade etmektedir.

ALOHA' da ki alevlenebilir alanın analizi, alevin yayılmasını destekleyecek oranlarda yanıcı kimyasal buharlar ve hava karışımından oluşan bir bulutun yangın veya patlamasıyla ilişkili tehlikeleri ele almak için tasarlanmıştır. Alevlenebilir alan, bir ateşleme kaynağının ani yangına veya buhar bulutu patlamasına yol açabileceği bölgeyi ve yangının meydana gelebileceği alanı temsil etmektedir. Alevlenebilir alan analizinde, endişe düzeyi olarak alt yanıcılık sınırının %60'ının kullanılmasına karar verilmiştir. Ani yangınlarla ilişkili termal tehlikenin modellenmesi, ALOHA' daki toksik hava bulutu analizinin parçası olan kaynak gücü modelleri ve hava dağılım modellerini kullanmaktadır. Salınımdan sonra herhangi bir zamanda gaz konsantrasyonunun LEL' nin %60'ını aştığı herhangi bir yer, tehlike bölgesine dâhil edilmektedir (Jones, 2013). Kuruluş 1 için Mod 1 kapsamında belirlenen buhar bulutu yanabilir etki alanları Şekil 5.32’ de sunulmuştur.



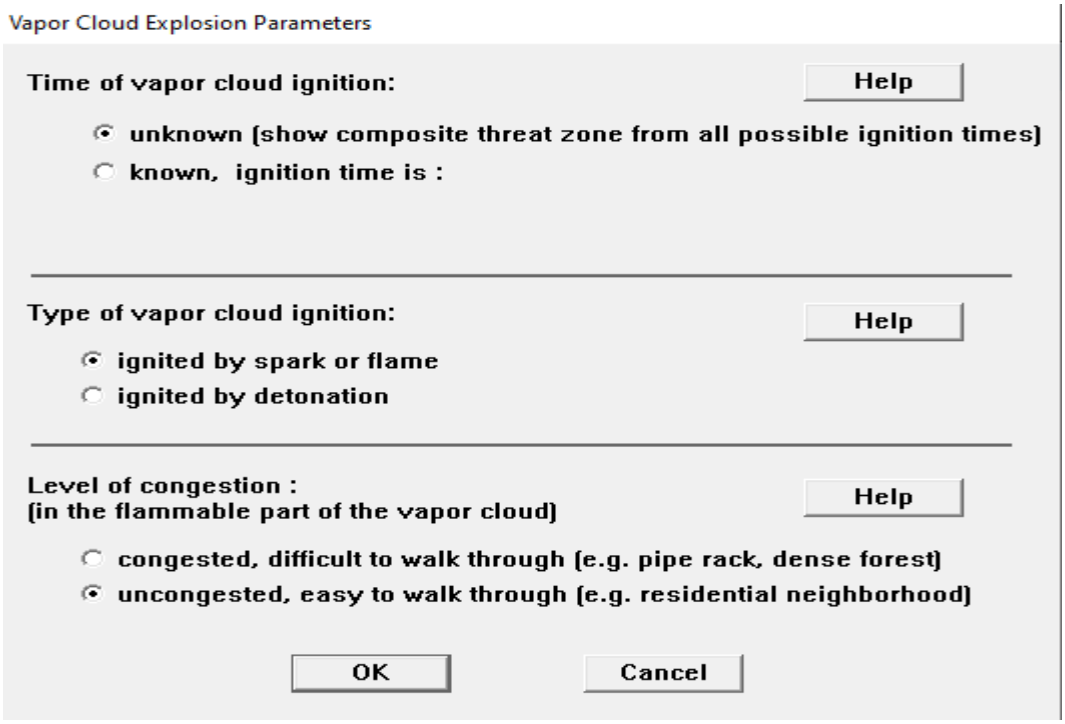
Şekil 5.32. Kuruluş 1 için Mod 1 kapsamında belirlenen buhar bulutu yanabilir alanı

Kuruluş 1 için Mod 1 kapsamında belirlenen buhar bulutu yanabilir alanı Çizelge 5.12' de verilmiştir.

Çizelge 5.12. Kuruluş 1 için Mod 1 kapsamında belirlenen buhar bulutu yanabilir alanı

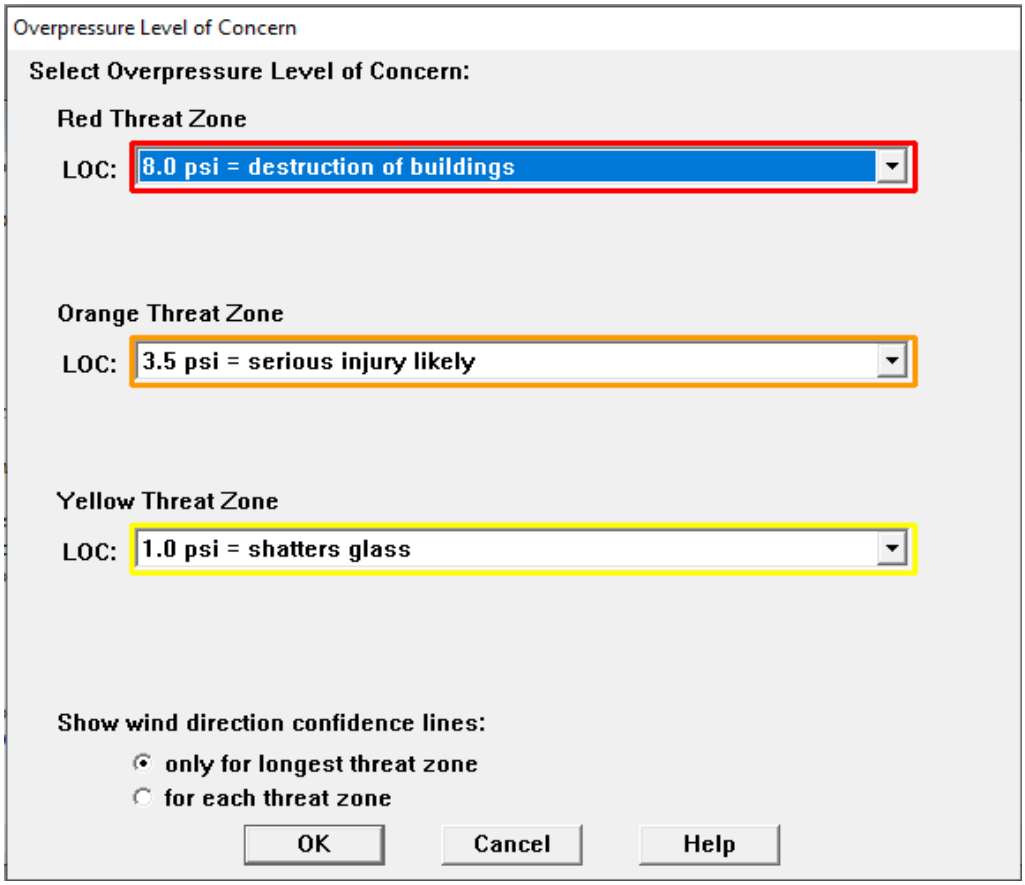
TEHLİKE ALANI:	
Tehdit Modeli: Buhar Bulutunun Yanıcı Alanı Model Çalıştırması: Ağır Gaz	
Kırmızı: 84m	(12600 ppm = 60% LEL = Alev Cepleri)
Sarı: 256m	(2100 ppm = 10% LEL)

Tank kaynağından 84m mesafede ölümcül etkilerin olduğu görülmektedir. Kuruluş için buhar bulutu patlama etkileri de analiz edilmiştir. İlgili parametre seçimi ekran görüntüsü Şekil 5.33' te sunulmuştur.



Şekil 5.33. Kuruluş 1 için Mod 1 kapsamında buhar bulutu patlama parametresi girişi ekran görüntüsü

Buhar bulutu tutuşma zamanı olası tüm tutuşma süreleri için bilinmiyor şeklinde seçilmiş, tutuşturucu kaynağının alev/kıvılcım olduğu varsayılmıştır. Kuruluş çevre özellikleri dikkate alındığında sıkışık olmayan yürüyüş alanı seçimi dikkate alınmıştır. Yazılımda tüm kimyasallar için patlama eşik değerleri Şekil 5.34' te verilmiştir.



Şekil 5.34. ALOHA yazılımı patlama eşik değerleri

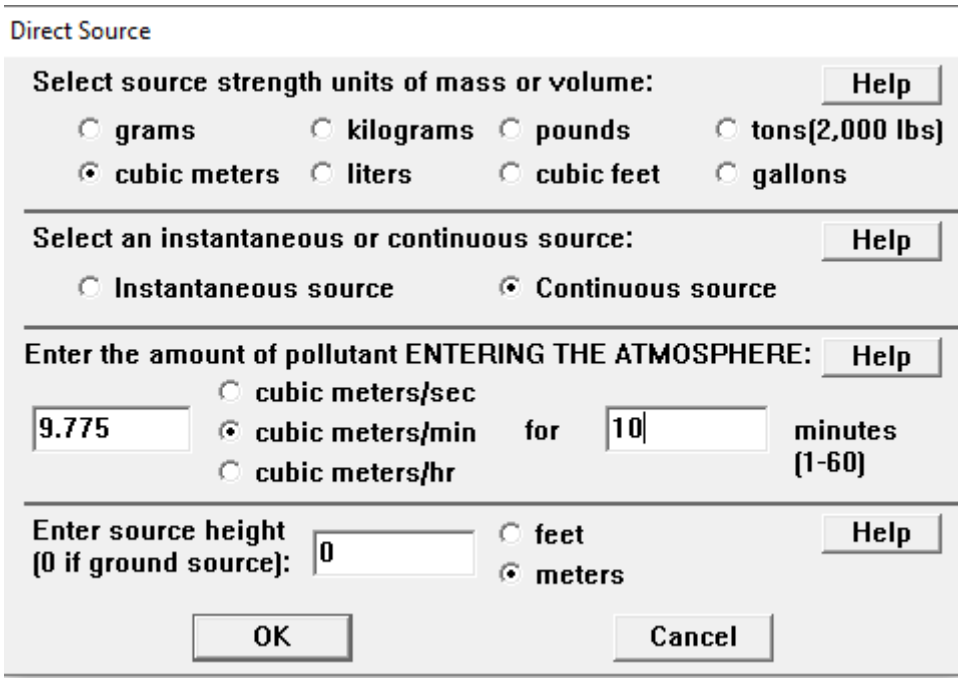
Buhar bulutu patlamalarından kaynaklanan yaralanmalar ve yapılarda hasar hem aşırı basınca hem de darbeye bağlıdır; ancak, yoğun faz patlamalarında olduğu gibi, çoğu korelasyon yalnızca aşırı basıncı kullanmaktadır. ALOHA, bir patlama dalgasıyla ilişkili zarar verici etkileri karakterize etmek için yalnızca tepe basıncını kullanır. Zarar, basınç dalgasının doğrudan etkilerinden veya dolaylı etkilerinden kaynaklanabilir. Doğrudan etkiler, kulak ve akciğer gibi basınca duyarlı organlara verilen zararı içerir. Dolaylı etkiler, kırık pencerelerden gelen cam parçalarından, binaların çökmesinden veya patlamanın hızlandırdığı enkazlardan kaynaklanabilir. Buhar bulutu patlama alanı için yüksek basınç etkileri yazılımda; kırmızı tehlike bölgesi-8.0 psi (binaların yıkılması), turuncu tehlike bölgesi-3.5 psi (muhtemel ciddi yaralanmalar) ve sarı tehlike bölgesi-1.0 psi (camların kırılması) olarak üç aşamada değerlendirilmektedir (Jones, 2013). Bu mod için buhar bulutu patlama etkisi riski tespit edilmemiştir (Çizelge 5.13).

Çizelge 5.13. Kuruluş 1 için Mod 1 kapsamında buhar bulutu patlama etkileri

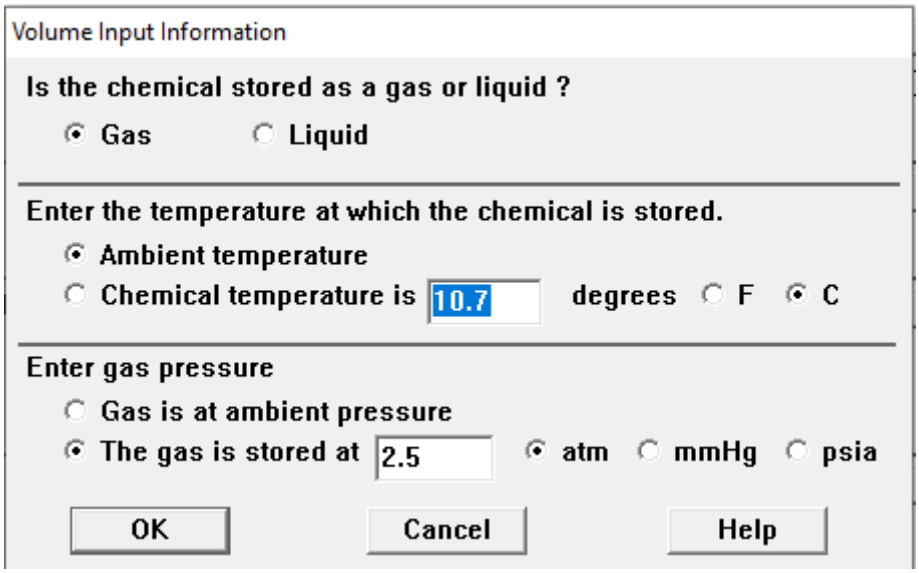
TEHLİKE ALANI:	
Tehdit Modeli: buhar bulutu patlamasından kaynaklanan aşırı basınç (patlama kuvveti)	
Ateşleme Türü: alev kıvılcımı ile ateşlendi	
Sıkışıklık Seviyesi: sıkışık olmayan	
Model Çalıştırması: Ağır Gaz	
Kırmızı: LOC asla aşılmadı	8.0 psi = bina yıkımı
Turuncu: LOC asla aşılmadı	3.5 psi = ciddi yaralanma muhtemel
Sarı: LOC asla aşılmadı	1.0 psi = camı kırılır

Mod 2

Mod 2 kapsamında sürekli salınım hızının hesaplanması gerekmektedir. %85 doluluğa sahip tankta kimyasal hacmi 97,75m^3 tür. 10dk içinde tüm kimyasalın ortama salınması için 8.775m^3/dk sürekli salınım hızına gereksinim vardır. İlgili parametre girişi ekran görüntüsü aşağıda sunulmuştur (Şekil 5.35).



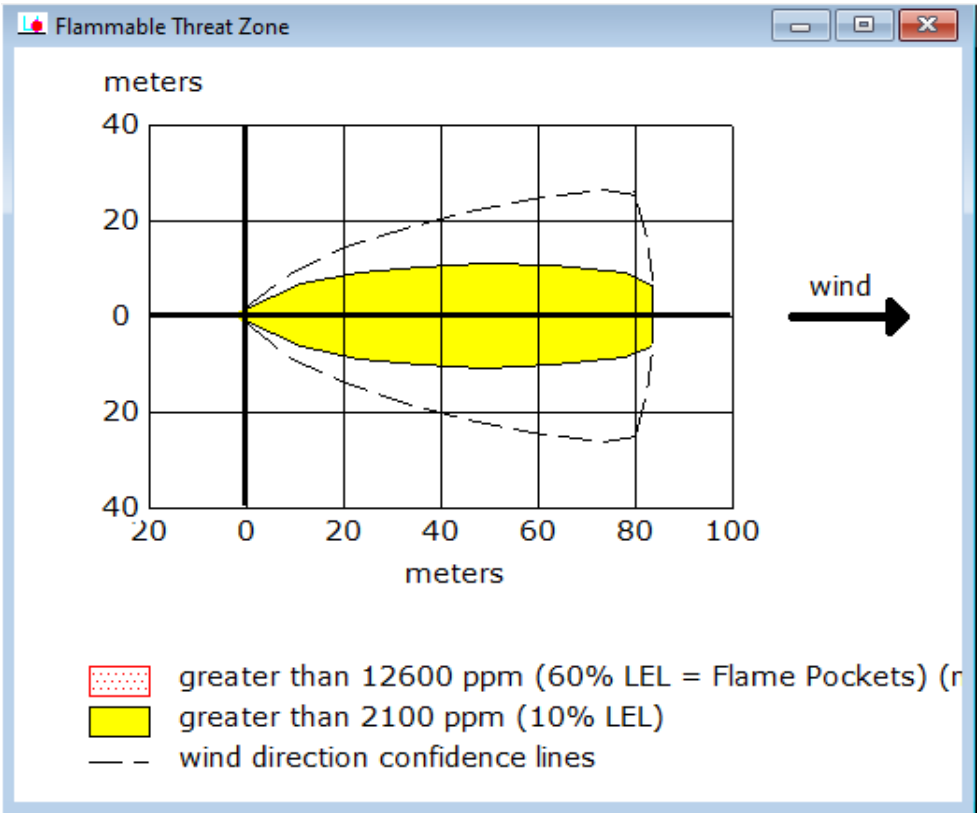
Şekil 5.35. Kuruluş 1 Mod 2 kapsamında parametre girişi ekran görüntüleri



Şekil 5.35. (devamı) Kuruluş 1 Mod 2 kapsamında parametre girişi ekran görüntüleri

İlgili parametre seçimi ardından kırmızı, turuncu ve sarı tehlike bölgeleri için sırasıyla 13m, 22m, 45m toksik etki mesafeleri elde edilmiştir.

Mod 2 kapsamında Kuruluş 1 için belirlenen buhar bulutu yanabilir etki alanları ise Şekil 5.36’ da sunulmuştur.



Şekil 5.36. Kuruluş 1 için Mod 2 kapsamında belirlenen buhar bulutu yanabilir etki alanları

Kuruluş 1 için Mod 2 kapsamında belirlenen buhar bulutu yanabilir alanları Çizelge 5.14' te verilmiştir.

Çizelge 5.14. Kuruluş 1 için Mod 2 kapsamında belirlenen buhar bulutu yanabilir etki alanları

TEHLİKE ALANI:	
Tehdit Modeli: Yanıcı Buhar Bulutu Alanı Model Çalıştırması: Ağır Gaz	
Kırmızı: 27m	(12600 ppm = 60% LEL = Alev Cepleri)
Not: Tehdit bölgesi çizilmedi çünkü yakın alan yamalı etkileri, kısa mesafeler için dağılım tahminlerini daha az güvenilir hale getiriyor.	
Sarı: 84m	(2100 ppm = 10% LEL)

Tank kaynağından 27 m mesafede ölümcül etkiler elde edilmiştir.

Kuruluş 1, Mod 1 ve Mod 2 kapsamında elde edilen tehlike alanlarının toplu Google Earth görüntüsü Şekil 5.37’ de verilmiştir.



Şekil 5.37. Kuruluş 1 için selin/taşkının tetiklediği endüstriyel kaza toplu tehlike alanları Google Earth görüntüsü

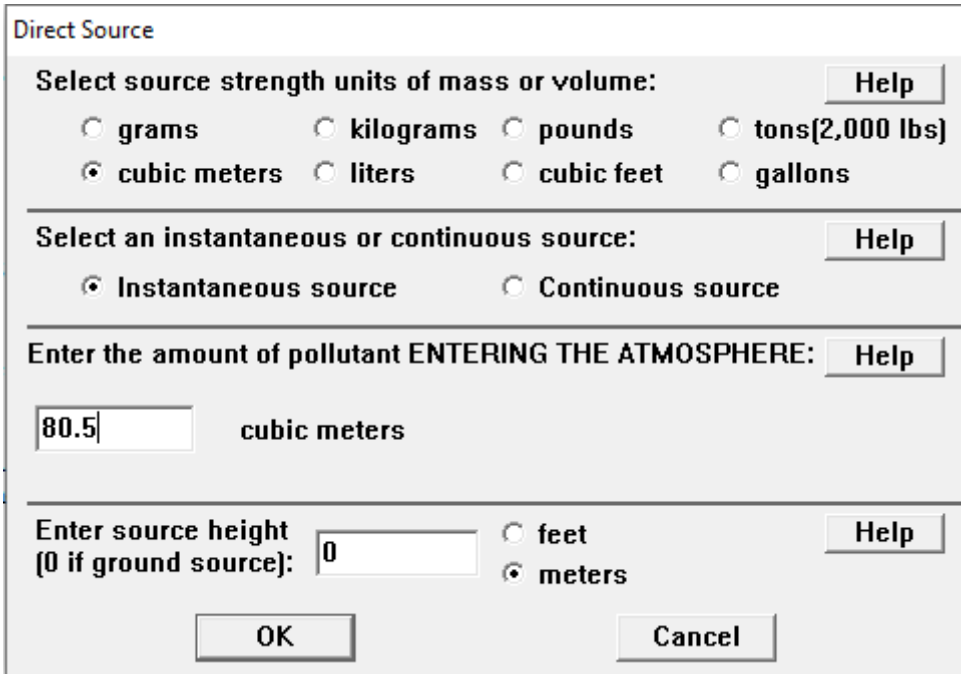
Şekil 5.37’ den kuruluş sınırı dışında komşu bir kuruluş ya da yerleşim yeri için muhtemel bir etkinin olmadığı söylenebilir.

Kuruluş 2

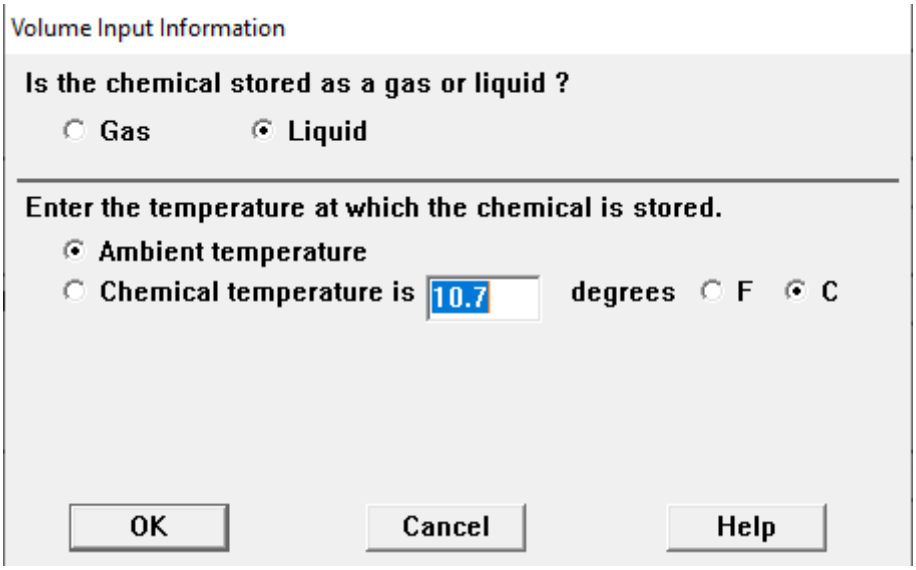
Şekil 4.5 uyarınca tüm modlar Kuruluş 2 için çalışılmıştır. ALOHA’ da Kuruluş için kimyasal ve atmosferik seçimler yıldırımın etkisinin çalışıldığı modelleme çalışmaları ile aynı tutulmuş yalnızca tehlike kaynağı doğrudan kaynak seçilerek sonuç analizleri yapılmıştır.

Mod 1

Mod 1 için tüm tank içeriğinin (115m^3/ %70 doluluk Bütan tankı) anında serbest salınımı modellenmiştir. Bu seçime ait ekran görüntüleri Şekil 5.38' de sunulmuştur.



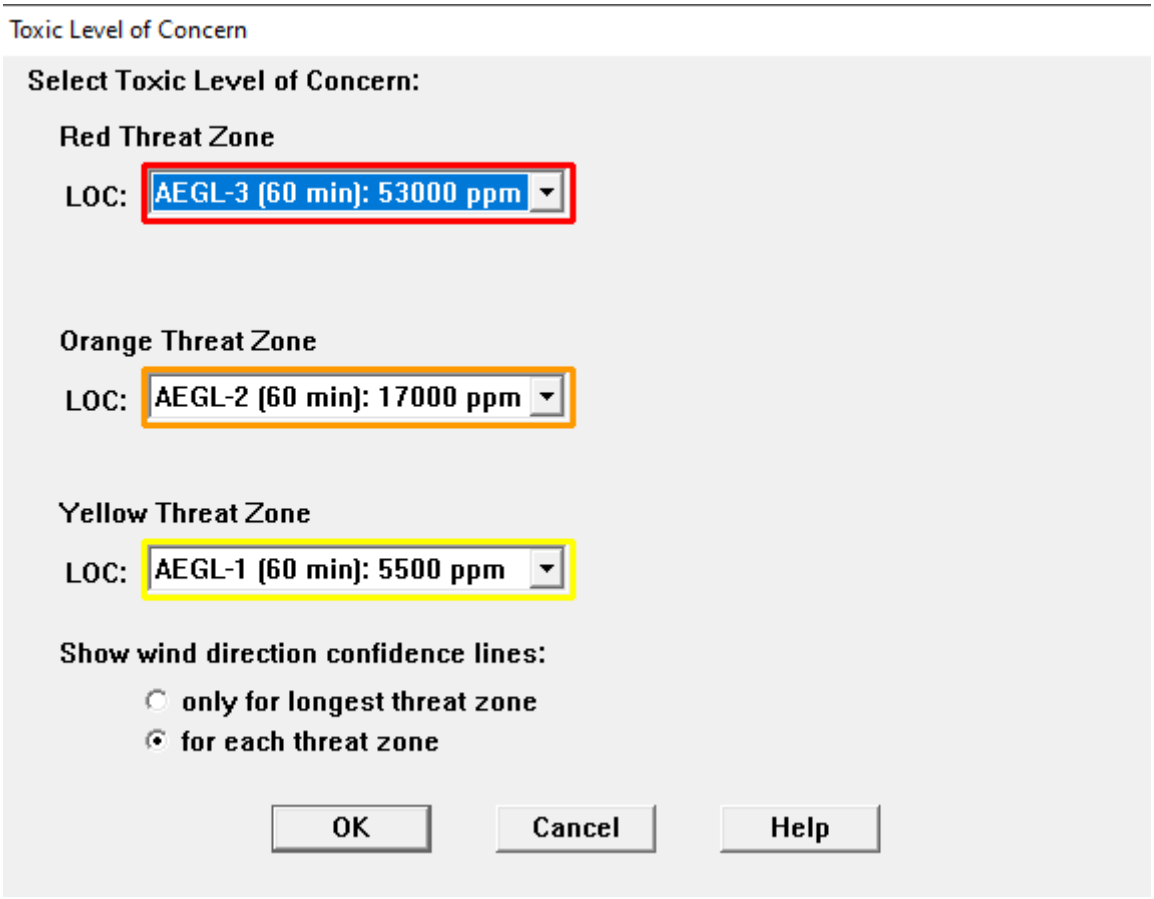
a) Doğrudan kaynak



b) Hacim girişi

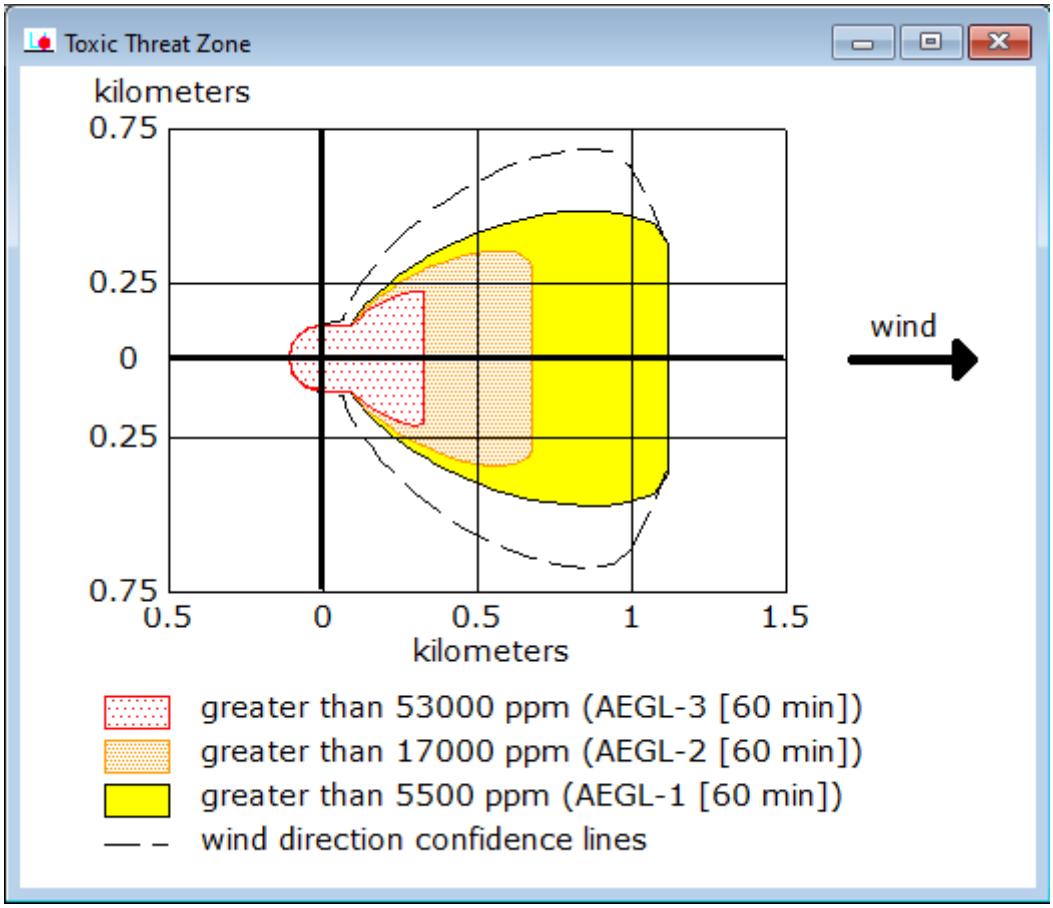
Şekil 5.38. Kuruluş 2 için Mod 1 seçimlerine ait ekran görüntüsü

İlgili tankta yüksek içeriğe sahip bütan kimyasalı üzerinden model çalışmaları yürütülmüştür. Bütana ait toksik eşikler Şekil 5.39' da sunulmuştur.



Şekil 5.39. Bütan için toksik eşik değerleri

53000ppm'lik konsantrasyona 60dk maruziyet ölümcül etkiler oluşturmaktadır. Kuruluş 2 için Mod 1 kapsamında belirlenen buhar bulutu toksik etki alanları Şekil 5.40' da sunulmuştur.



Şekil 5.40. Kuruluş 2 için Mod1 kapsamında belirlenen buhar bulutu toksik etki alanları

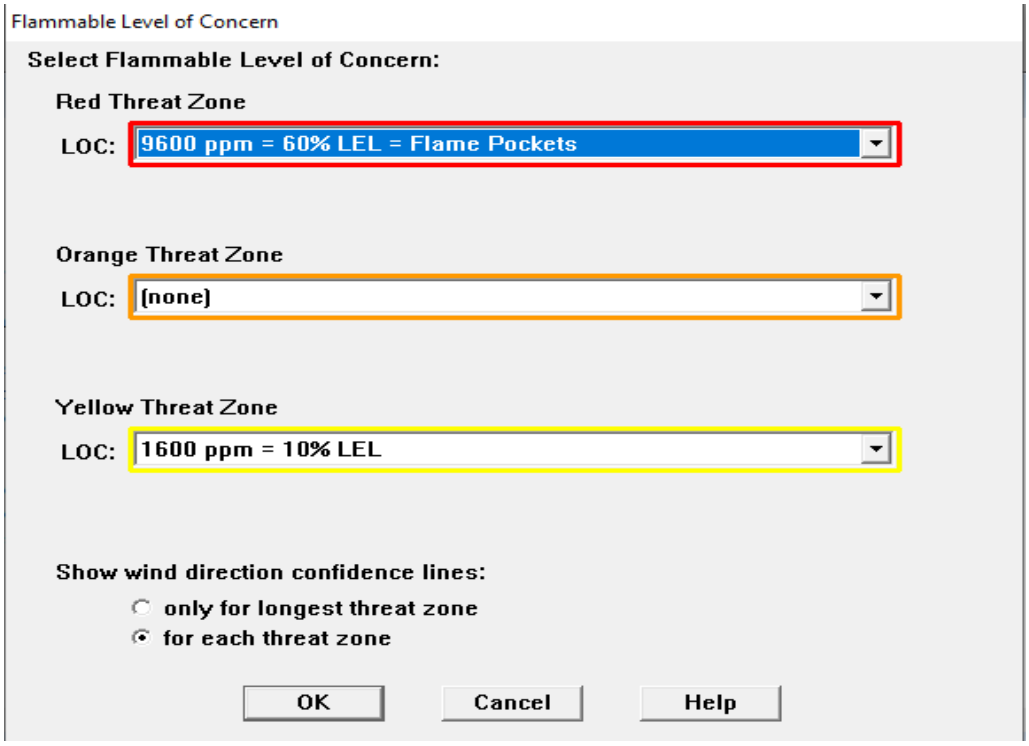
Kuruluş 2 için Mod1 kapsamında belirlenen buhar bulutu toksik etki alanları Çizelge 5.15'te verilmiştir.

Çizelge 5.15. Kuruluş 2 için Mod1 kapsamında belirlenen buhar bulutu toksik etki alanları

TEHLİKE ALANI:	
Model Çalıştırması: Ağır Gaz	
Kırmızı: 329m	(53000 ppm = AEGL-3 [60 dakika])
Turuncu: 683m	(17000 ppm = AEGL-2 [60 dakika])
Sarı: 1.1km	(5500 ppm = AEGL-1 [60 dakika])

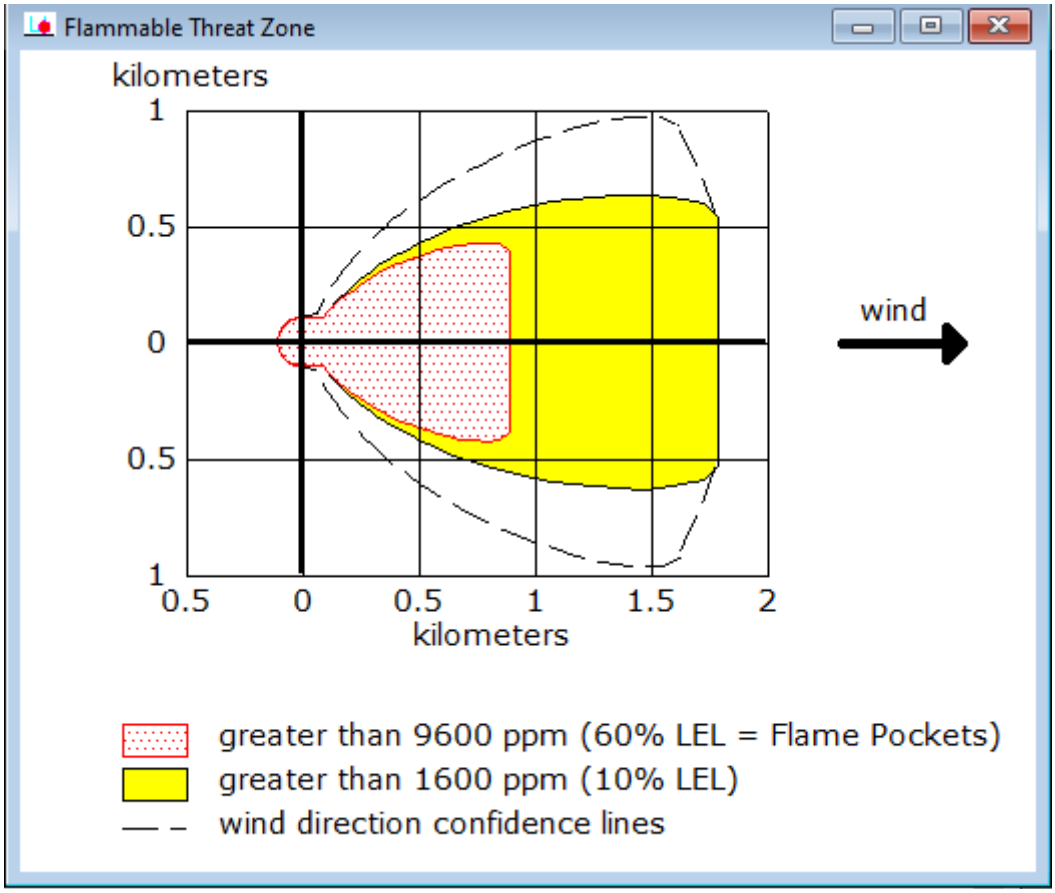
Kırmızı, turuncu ve sarı bölgeler için sırasıyla 329m, 683m, 1,1km mesafelerde toksik etkiler elde edilmiştir.

İlgili tankın içerdiği bütana ait yanabilir eşik değerler Şekil 5.41' de sunulmuştur.



Şekil 5.41. Bütan için yanabilirlik eşik değerleri

Bu kimyasal için 9600ppm konsantrasyon alev paketçikleri oluşumu ile ölümcül etkiler meydana getirmektedir. Kuruluş 2 için Mod 1 kapsamında belirlenen buhar bulutu yanabilir etki alanları Şekil 5.42' de sunulmuştur.



Şekil 5.42. Kuruluş 2 için Mod 1 kapsamında belirlenen buhar bulutu yanabilir etki alanları

Kuruluş 2 için Mod 1 kapsamında belirlenen buhar bulutu yanabilir etki alanları Çizelge 5.16' da verilmiştir.

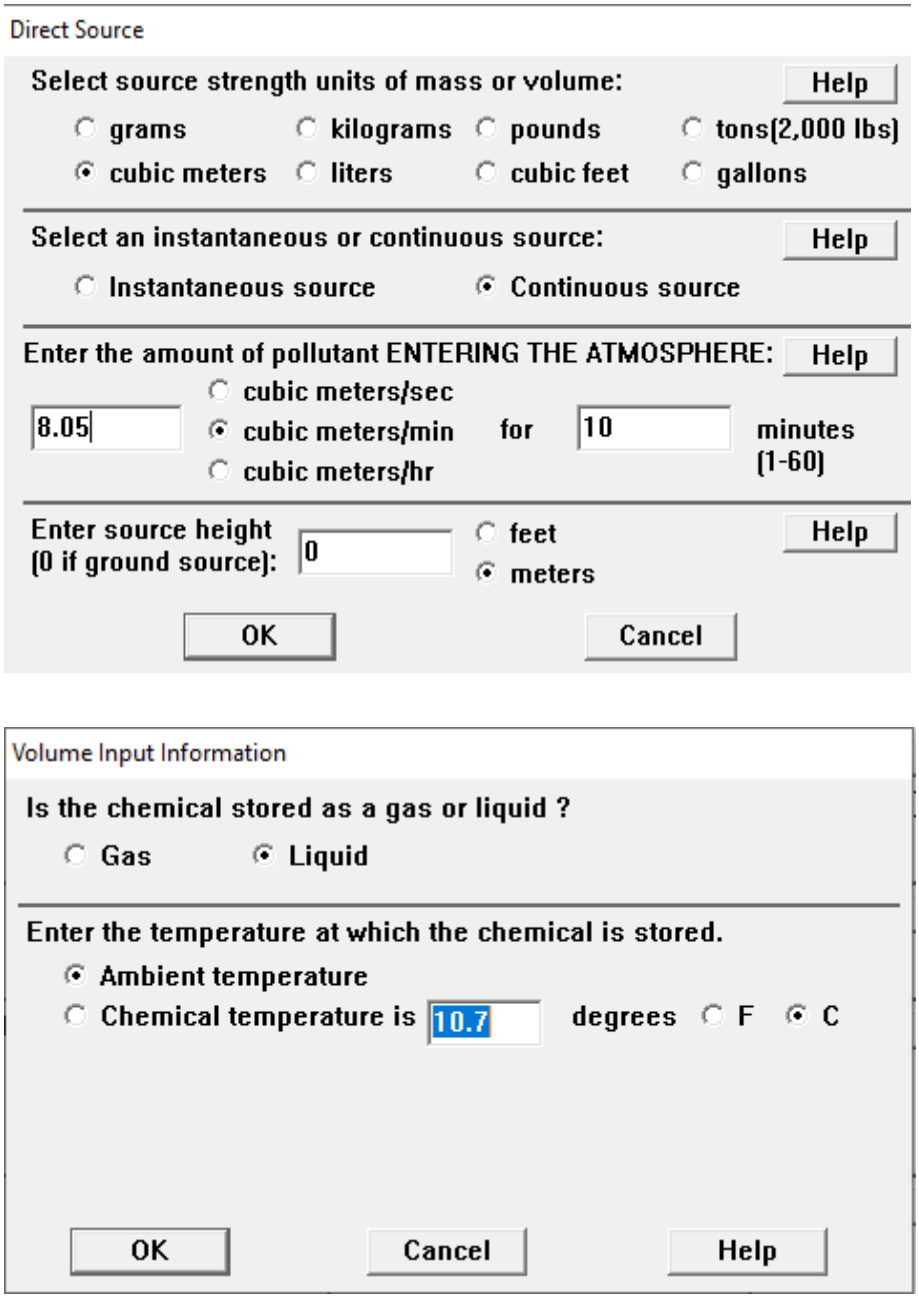
Çizelge 5.16. Kuruluş 2 için Mod 1 kapsamında belirlenen buhar bulutu yanabilir etki alanları

TEHLİKE ALANI:	
Tehdit Modeli: Yanıcı Buhar Bulutu Alanı	Model Çalıştırması: Ağır Gaz
Kırmızı: 889m	(9600 ppm = 60% LEL = Alev Cepleri)
Sarı: 1.8km	(1600 ppm = 10% LEL)

Tank kaynağından 889m mesafede ölümcül etkiler belirlenmiştir. İlgili kuruluşta, söz konusu parametreler kapsamında patlama riski tespit edilmemiştir.

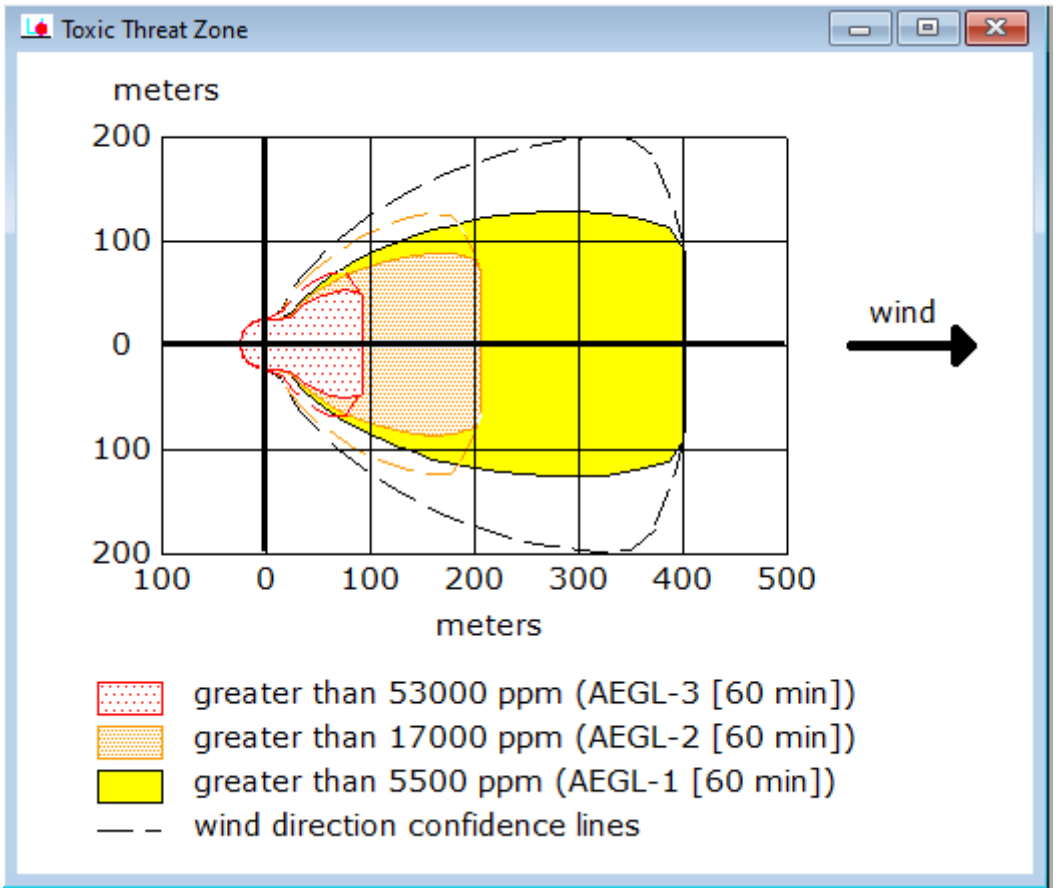
Mod 2

%70 doluluğa sahip tankta kimyasal hacmi 80,5m^3 'tür. 10dk içinde tüm kimyasalın ortama salınması için 8.05m^3/dk sürekli salınım hızının olması gerekmektedir. İlgili parametre girişi ekran görüntüsü Şekil 5.43' te sunulmuştur.



Şekil 5.43. Kuruluş 2 için Mod 2 kapsamında parametre girişi ekran görüntüsü

Kurulu 2 için Mod 2 kapsamında elde edilen buhar bulutu toksik etki alanları Şekil 5.42' de sunulmuştur.



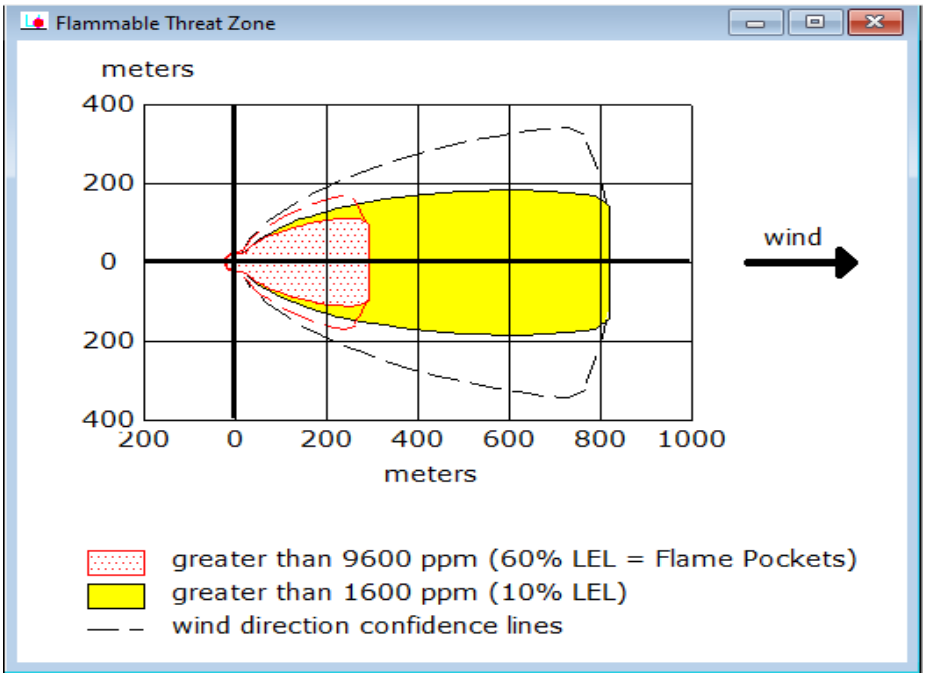
Şekil 5.44. Kuruluş 2 için Mod 2 kapsamında belirlenen buhar bulutu toksik etki alanları

Kuruluş 2 için Mod 2 kapsamında belirlenen buhar bulutu toksik etki alanları Çizelge 5.17' de verilmiştir.

Çizelge 5.17. Kuruluş 2 için Mod 2 kapsamında belirlenen buhar bulutu toksik etki alanları

TEHLİKE ALANI:	
Model Çalıştırması: Ağır Gaz	
Kırmızı: 94m	(53000 ppm = AEGL-3 [60 dakika])
Turuncu: 207m	(17000 ppm = AEGL-2 [60 dakika])
Sarı: 405m	(5500 ppm = AEGL-1 [60 dakika])

Tank kaynağından 94m mesafeye kadar ölümcül etkiler elde edilmiştir. Kuruluş için Mod 2 kapsamında elde edilen buhar bulutu yanabilir alan etkileri Şekil 5.45' te sunulmuştur.



Şekil 5.45. Kuruluş 2 için Mod 2 kapsamında buhar bulutu yanabilir alan etki alanları

Kuruluş 2 için Mod 2 kapsamında buhar bulutu yanabilir alan etki alanları Çizelge 5.18' de verilmiştir.

Çizelge 5.18. Kuruluş 2 için Mod 2 kapsamında buhar bulutu yanabilir alan etki alanları

TEHLİKE ALANI:	
Tehdit Modeli: Yanıcı Buhar Bulutu Alanı Model Çalıştırması: Ağır Gaz	
Kırmızı: 293m	(9600 ppm = 60% LEL = Alev Cepleri)
Sarı: 818m	(1600 ppm = 10% LEL)

Kırmızı ve sarı bölgeler için sırasıyla 293m, 818m mesafede yanabilir etkiler belirlenmiştir.

Kuruluş 2 için Mod 2 kapsamında buhar bulutu patlama riski belirlenmemiştir.

Kuruluş 2 için Mod 1 ve Mod 2 kapsamında belirlenen tehlike alanlarının toplu gösterimi Şekil 5.46' da verilmiştir.

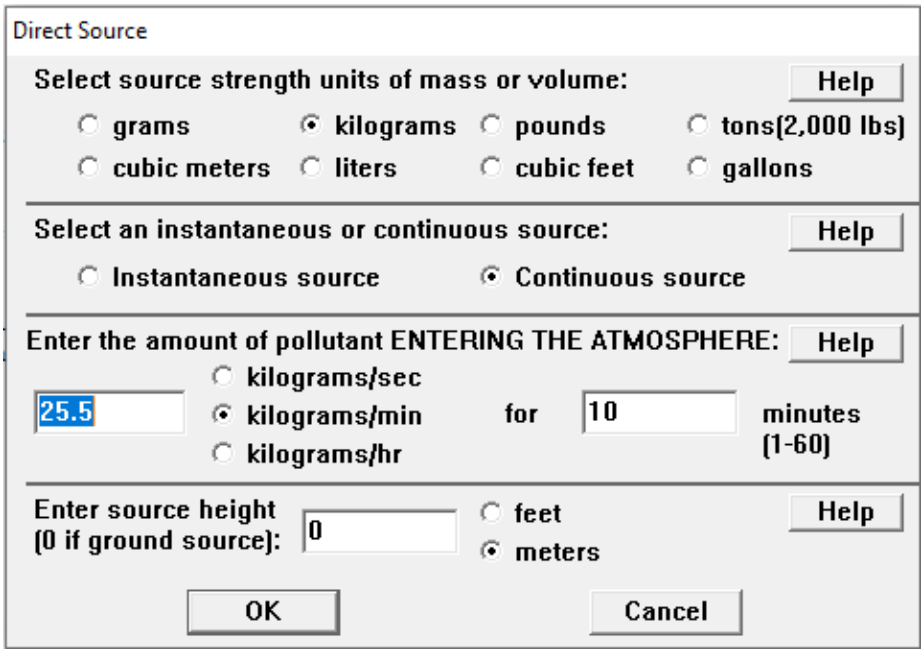


Şekil 5.46. Kuruluş 2 için Mod 1 ve Mod 2 kapsamında belirlenen tehlike alanlarının toplu Google Earth görüntüsü

Şekil 5.46'dan komşu kuruluş ve yerleşim yerlerine etkilerin söz konusu olabileceği görülmektedir.

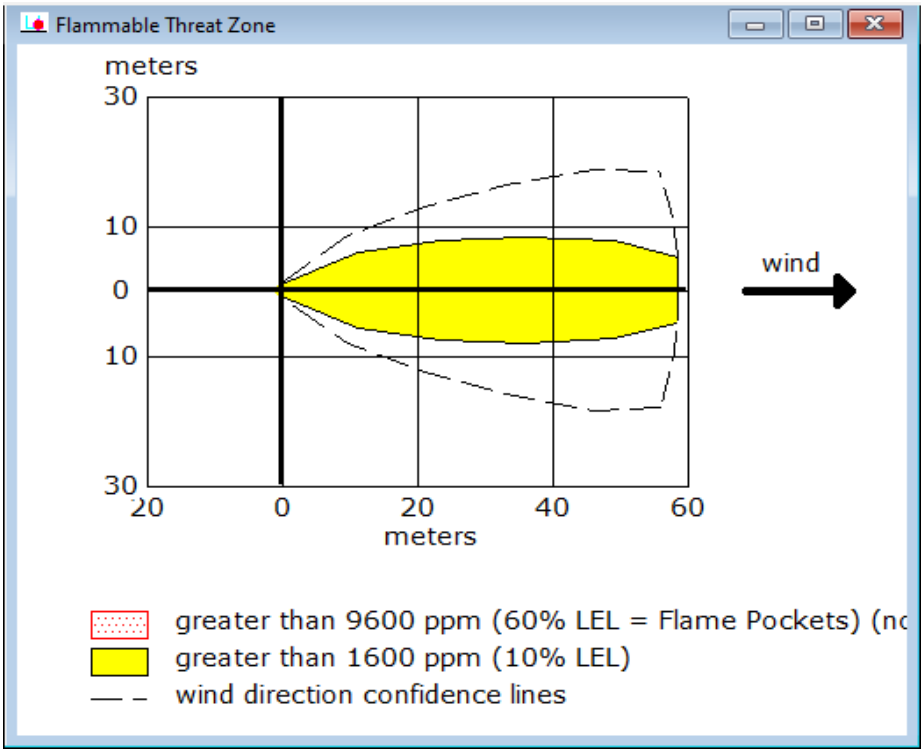
Mod 3

Bu mod da öncelikle küçük sızıntı çapı senaryo edilmiştir. Tank tabanından 1m yükseklikte 10mm delik çapında sürekli salınım hızı yazılımda 25,5kg/dk olarak hesaplanmıştır. 10dk süresince bu hızda salınımın gerçekleşmesi durumu yazılıma Şekil 5.47' deki gibi işlenmiştir.



Şekil 5.47. Kuruluş 2 için Mod 3 kapsamında parametre girişi ekran görüntüsü (10mm sızıntı çapı)

Kuruluş 2 için Mod 3 kapsamında kırmızı, turuncu ve sarı bölgeler için sırasıyla 10m, 12m, 28m toksik etkiler belirlenmiştir. Kuruluş için belirlenen buhar bulutu yanabilir etki alanları ise Şekil 5.48' de sunulmuştur.



Şekil 5.48. Kuruluş 2 için Mod 3 kapsamında belirlenen buhar bulutu yanabilir etki alanları

Kuruluş 2 için Mod 3 kapsamında belirlenen buhar bulutu yanabilir etki alanları Çizelge 5.19’ da verilmiştir.

Çizelge 5.19. Kuruluş 2 için Mod 3 kapsamında belirlenen buhar bulutu yanabilir etki Alanları

TEHLİKE ALANI:	
Tehdit Modeli: Yanıcı Buhar Bulutu Alanı Model Çalıştırması: Ağır Gaz	
Kırmızı: 20m	(9600 ppm = 60% LEL = Alev Cepleri)
Not: Tehdit bölgesi çizilmedi çünkü yakın alan yamalı etkileri, kısa mesafeler için dağılım tahminlerini daha az güvenilir hale getiriyor.	
Sarı: 59m	(1600 ppm = 10% LEL)

20m mesafede ölümcül etkiler tespit edilmiştir. Patlama riski bu mod için de bulunmamıştır.

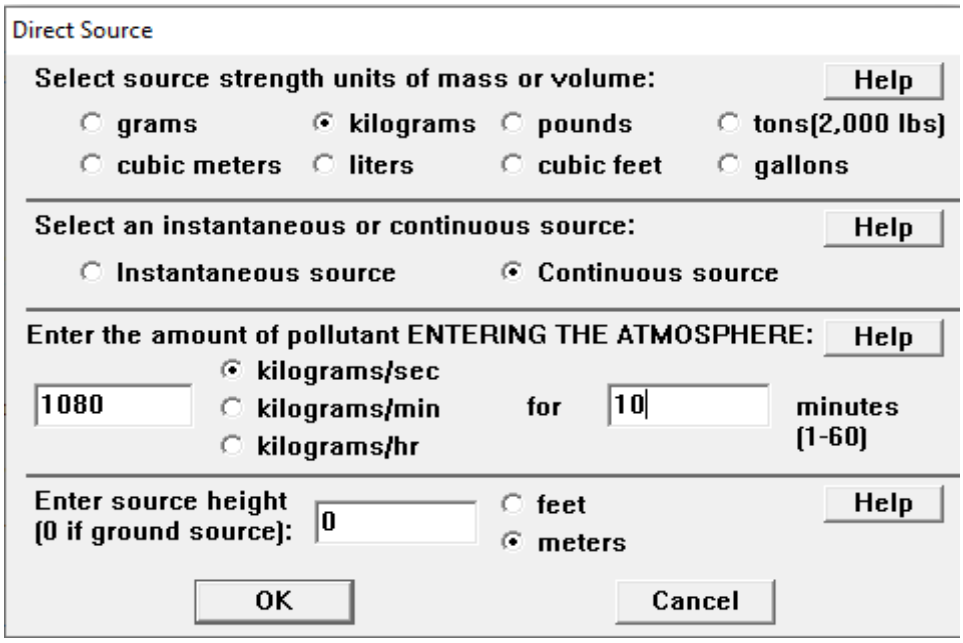
Kuruluş 2 için Mod 3 kapsamında belirlenen buhar bulutu yanabilir etki alanları Google Earth görüntüsü Şekil 5.49’ da sunulmuştur.



Şekil 5.49. Kuruluş 2 için Mod 3 kapsamında belirlenen buhar bulutu yanabilir etki alanları Google Earth görüntüsü

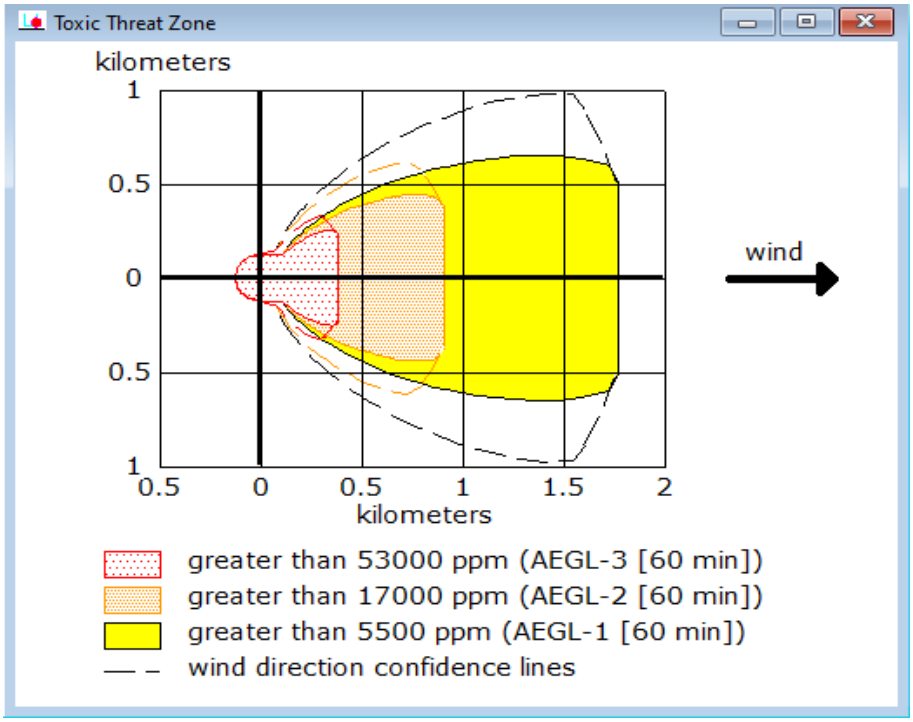
Etkilerin kuruluş sınırı içinde kaldığı görülmektedir.

Katastropik senaryo için delik çapı 1000mm yapılarak Mod 3 yeniden yorumlanmış ve modelleme çalışmaları yürütülmüştür. İlgili parametre girişi ekran görüntüsü Şekil 5.50' de verilmiştir.



Şekil 5.50. Kuruluş 2 için Mod 3 kapsamında parametre girişi ekran görüntüsü (1000mm sızıntı çapı)

İlgili parametre girişi ardından belirlenen toksik etki alanları Şekil 5.51' da sunulmuştur.



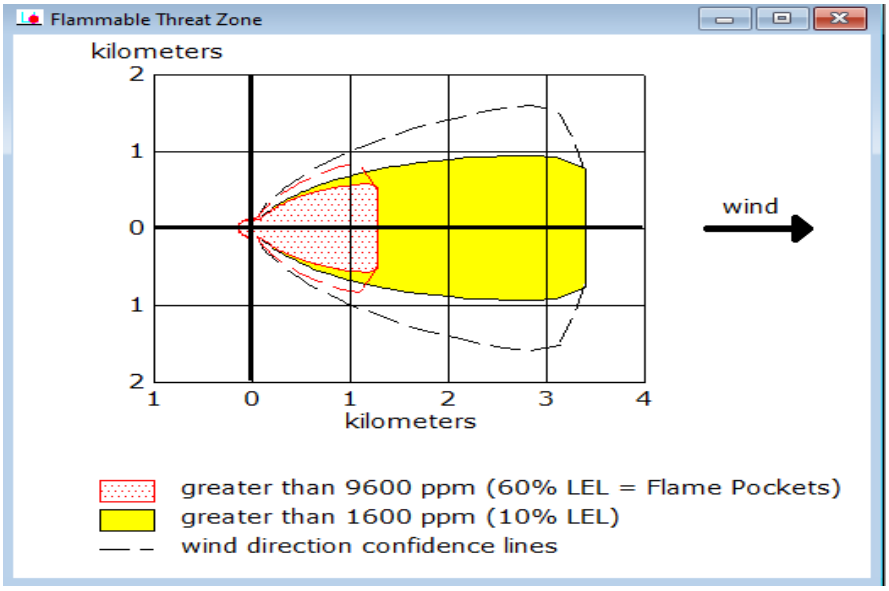
Şekil 5.51. Kuruluş 2 Mod 3 kapsamında belirlenen buhar bulutu toksik etki alanları (1000mm sızıntı çapı)

Kuruluş 2 Mod 3 kapsamında belirlenen buhar bulutu toksik etki alanları (1000mm sızıntı çapı) Çizelge 5.20' de sunulmuştur.

Çizelge 5.20. Kuruluş 2 Mod 3 kapsamında belirlenen buhar bulutu toksik etki alanları (1000mm sızıntı çapı)

TEHLİKE ALANI:	
Model Çalıştırması: Ağır Gaz	
Kırmızı: 385m	(53000 ppm = AEGL-3 [60 dakika])
Turuncu: 912m	(17000 ppm = AEGL-2 [60 dakika])
Sarı: 1.8km	(5500 ppm = AEGL-1 [60 dakika])

Tank kaynağından yaklaşık 2km mesafeye kadar toksik etkiler elde edilmiştir. Kuruluş için bu modda belirlenen yanabilir alan etki alanları Şekil 5.52' de verilmiştir.



Şekil 5.52. Kuruluş 2 için Mod 3 kapsamında belirlenen buhar bulutu yanabilir etki alanları (1000mm sızıntı çapı)

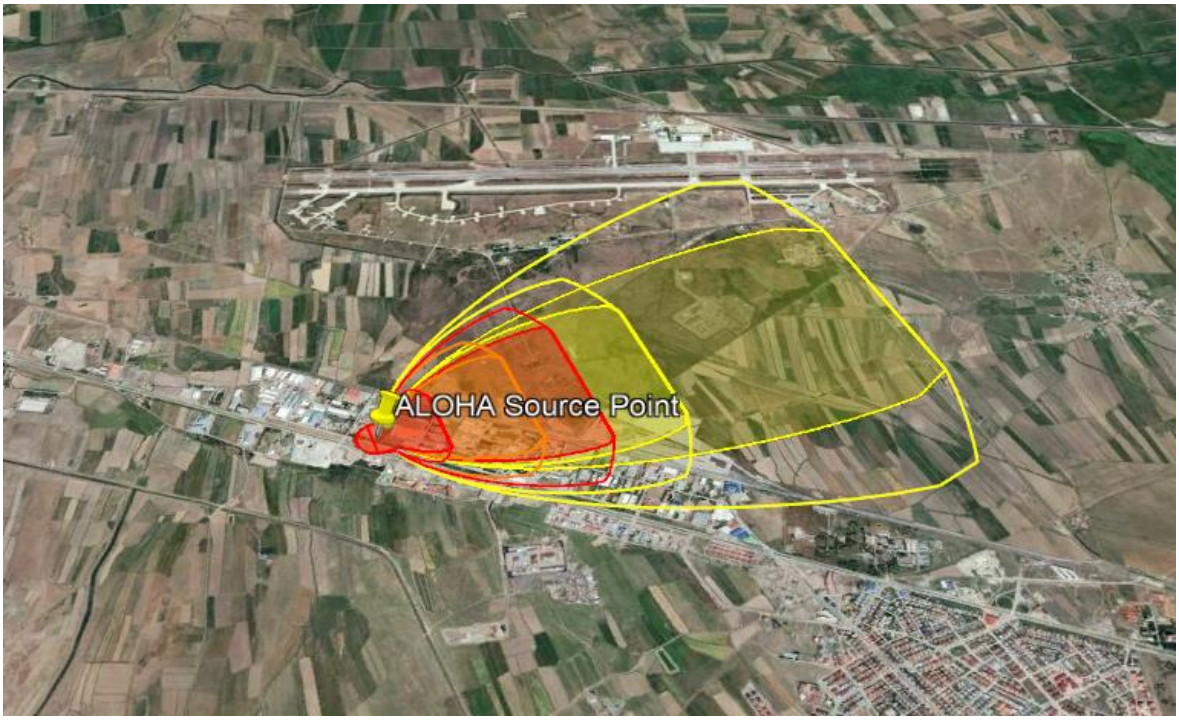
Kuruluş 2 için Mod 3 kapsamında belirlenen buhar bulutu yanabilir etki alanları (1000mm sızıntı çapı) Çizelge 5.21' de verilmiştir.

Çizelge 5.21. Kuruluş 2 için Mod 3 kapsamında belirlenen buhar bulutu yanabilir etki alanları (1000mm sızıntı çapı)

TEHLİKE ALANI:	
Tehdit Modeli: Buhar Bulutunun Yanıcı Alanı	Model Çalıştırması: Ağır Gaz
Kırmızı: 1.3km	(9600 ppm = 60% LEL = Alev Cepleri)
Sarı: 3.4km	(1600 ppm = 10% LEL)

Tank kaynağından yaklaşık 3,5km mesafede buhar bulutu yanabilir alan etkileri belirlenmiştir.

Kuruluş 2 için Mod 3 kapsamında elde edilen tehlike alanları toplu Google Earth görüntüsü Şekil 5.53' te verilmiştir.



Şekil 5.53. Kuruluş 2 için Mod 3 kapsamında elde edilen tehlike alanları toplu Google Earth görüntüsü

Şekilden birden fazla komşu kuruluş ve yerleşim yerleri üzerine etkilerin olduğu görülmektedir.

Kantitatif risk analizi ve Ön tehlike listesi ile Fine Kinney uygulanarak gerçekleştirilen analizler paralel bir şekilde sel/taşkın afeti sonucu muhtemel bir teknolojik kazada Kuruluş 2’ nin daha riskli olduğunu ortaya koymuştur.

6. SONUÇLAR

Geçmiş Natech kaza verilerine ait değerlendirmeler

- Geçmiş Natech kaza verilerinin SPSS çıktısı sonucu doğal afet alt grubu açısından meteorolojik afetlerin %57,1 önem arz ettiği görülmüştür.
- Meydana gelen doğal afet tipleri dikkate alındığında meteorolojik afetler içerisinde %19,0 oranıyla sel ve yıldırımın öne çıktığı; jeolojik afetler içerisinde ise %19,0 oranıyla heyelan ve %14,3 ile tsunaminin öne çıktığı belirlenmiştir.
- Doğal afetlerin tetiklemesi sonuç teknolojik kazaya neden olan bütünlük kaybının yaşandığı ekipmanlar arasında en fazla etkilenen ekipman türünün, atmosferik depolama tankları (%19) olduğu, bunu boru hattının (%14,3) izlediği belirlenmiştir.
- Ülkemizde heyelan ve sel yoğunluğu bakımından Erzurum'un en riskli il olduğu tespit edilmiştir. Yıldırım için herhangi bilgiye ulaşılamamıştır, ancak sel ve heyelan verileri ile uyumlu olacağı varsayılmıştır.
- İlgili Yönetmelik kapsamında söz konusu ekipmanları içeren Erzurum ilinde mevcut farklı konumlardaki üst seviyeli kuruluşlar, Natech risk analizi çalışmaları yapılmak üzere seçilmiştir.

Yıldırımın tetiklediği Natech kazalarının risk analizine ait değerlendirmeler

- Yılkomer üzerinden alınan risk analiz programına Kuruluş 1' e ait yapının; çevresel durumu, doluluğu, yapısal özellikleri, kullanımı parametrelerinin yanı sıra yapının boy ve en bilgileri işlenmiştir. Nk değeri Erzurum için 17,8 olarak belirtilmiş ardından etkinlik değeri 0,882537 olarak elde edilmiştir. Etkinlik değerine göre koruma seviyesi 3, kafes aralığı 15m*15m, iniş aralığı 20m olarak tespit edilmiştir.
- Kuruluş 2 için Radsan üzerinden alınan risk analiz programı kullanılmıştır. Etkinlik değeri 0,605682 olarak hesaplanmıştır. Etkinlik değerine göre koruma seviyesi 4, paratoner koruma alanı yarıçapı 107m olarak elde edilmiştir.
- Yılkomer ve Radsan programları üzerinden yürütülen analizlerde kuruluşlar için benzer risk seviyesi tespit edilmiş, kuruluşların ciddi risk barındırdığı belirlenmiştir. Ancak, Kuruluş 2' nin OSB içerisinde ve daha kalabalık bölgede yer alması, Kuruluş 1' e kıyasla daha hacimli tanka sahip olması hasar riskini arttırmaktadır.
- Kantitatif risk analizinde, olay ağaçları, LOPA ve sonuç analizlerinden yararlanılmıştır. Anlık boşalma sonucu jet yangını kaza senaryosu, 10 mm' lik delikten sızıntı ve katastropik sızıntı (1000mm delik çapı) üzerinden değerlendirilmiştir. Küçük bir

delikten sızıntı sonucu jet yangını kaza frekansı katastropik kaza senaryosundan daha yüksek olarak hesaplanmıştır.

- Her iki sızıntı çapı için hesaplanan kaza frekansları (küçük sızıntı: $2{,}6x10^{-9}$/yıl; katastropik: $1{,}3x10^{-10}$/yıl) Kuruluş 2 için daha yüksek bulunmuştur.
- İlgili kaza senaryolarının ALOHA yazılımı ile sonuç analizleri yapılmıştır. Kuruluş 1 için yıldırım çarpmasına bağlı jet yangını tehlike alanlarının kuruluş sınırı içinde kaldığı, paralelinde bulunan diğer tanklara domino etkisi oluşturabileceği görülmüştür. Kuruluş 2 için ise daha geniş etki alanları belirlenmiş, kuruluş içi ve dışı domino etkilerinin oluşabileceği tespit edilmiştir.
- Farklı analiz metotları sonuçları karşılaştırıldığında ise paralel bir şekilde Kuruluş 2' nin yıldırımın tetiklediği teknolojik kaza oluşma potansiyeli açısında daha riskli olduğu görülmüştür.

Selin/taşkının tetiklediği Natech kazalarının risk analizine ait değerlendirmeler

- Kuruluş 1' de ön tehlike listesi analizi sonucu 34 tehlike etkisi belirlenmiştir. Depolama tankı, atık su tankı, boru hattı ve basınç tahliye vanası için birden fazla tehlike etkileri elde edilmiştir.
- Fine Kinney metodu sonucunda ise Kuruluş 1 için 22 tehlike etkisi derecelendirilmiş; kabul edilebilir ve olası risklerin en fazla olduğu gözlemlenmiştir. LPG'nin hidrokarbon bileşiği içermesi ve sel/taşkın suyu ile elektrik akımının daha iletken hale gelmesi tehlikelerinin yüksek risk arz ettiği ortaya konulmuştur.
- Ön tehlike listesi analizi sonucu Kuruluş 2' de 37 tehlike etkisi belirlenmiştir. Depolama tankı, atık su tankı, boru hattı, kuruluşun organize sanayi bölgesi içerisinde yer alması ve basınç tahliye vanası için birden fazla tehlike etkileri elde edilmiştir.
- Fine Kinney metodunda Kuruluş 2 için 28 tehlike etkisi derecelendirilmiş; kabul edilebilir ve olası risklerin en fazla olduğu gözlemlenmiştir. Kuruluş 2' nin organize sanayi bölgesi içerisinde ve kalabalık bölgede yer alması, yerleşim bölgesine kimyasalların sel/taşkın sularıyla taşması, kuruluş içerisinde yaşanan patlamanın çevre kuruluşlarda etkiler oluşturması, çevredeki kurum ve kuruluşlarda muhtemel domino etkisi oluşturması durumlarının çok yüksek riskler içerdiği görülmüştür.
- Ön tehlike listesi ve Fine Kinney analizi sonucunda Kuruluş 2' nin selin/taşkının tetiklediği teknolojik kaza durumu için daha riskli olduğu tespit edilmiştir.
- Kantitatif risk analizlerinde olay ağacı ve sonuç analizlerinden yararlanılmıştır. Kuruluş 1 için Mod 1 (tüm içeriğin anında serbest bırakılması) ve Mod 2 (sürekli ve sabit bir

akışta tüm içeriğin 10 dakikada serbest bırakılması) kapsamında(çatı arızası/kabuk kırılması, felaket çöküş) anlık ve sürekli salınımlar, Kuruluş 2 için Mod 1, Mod 2, Mod 3 (etkin delik çapı değişimi ile sürekli serbest bırakılma) kapsamında (çatı arızası/kabuk kırılması, felaket çöküş, bitişik tank veya sürüklenen nesnelerin etkisi, flanşların ve bağlantıların arızası, kabuk kırılması) anlık, sürekli salınımlar ile enkaz etkisi sonucu küçük bir sızıntı çapı ile büyük bir sızıntı çapı oluşması durumları modellenmiştir.

- Kuruluş 1' de aynı doluluk oranına sahip 5 yatay silindirik tanktan propan tankı, Kuruluş 2' de ise en yüksek doluluk oranına sahip Otogaz LPG tankı (%70 doluluk) esas alınarak sonuç analizleri yürütülmüş, muhtemel yangın, patlama ve toksik yayılım tehlike alanları elde edilmiştir.
- Sonuç analizleri sonucunda Kuruluş 1 için kuruluş sınırı dışında komşu bir kuruluş ya da yerleşim yeri üzerine muhtemel bir etkinin olmadığı; Kuruluş 2 için birden fazla komşu kuruluş ve yerleşim yerleri üzerine muhtemel etkilerin olduğu görülmüştür.
- Uygulanan her iki metotla da sonuçlar paralellik göstermiş, Kuruluş 2' nin selin/taşkının tetiklediği teknolojik afet yönünden de daha riskli olduğu tespit edilmiştir.

Ülkemiz afetselliği göz önüne alındığında tez çalışmasının, doğal afetlerin tetiklediği teknolojik kazaların risk analizinde önemli bir kaynak teşkil ettiği hem mevzuat hem de bilimsel çalışmalara önemli katkılar sağlayacağı ön görülmektedir.

7. ÖNERİLER

- ✓ Çalışma, baz alınan yıl aralığı ve incelenen veri tabanları daha geniş tutularak yürütülebilir.
- ✓ Yüksek oranlarda meydana gelebilen heyelan afet tipi de dahil olmak üzere tüm jeolojik doğal afetler ile meteorolojik afetler Natech risk analizi açısından değerlendirilerek gelecek çalışmalara katkı sağlanabilir.
- ✓ Ülkemizde Natech kazalarının değerlendirilmesine yönelik mevzuatın geliştirilmesi ve mevzuatın neleri dikkate alarak hazırlanması gerektiği gelecek çalışmalarda değerlendirilip sunulabilir. Bu bağlamda özellikle tehlike arz eden tesislerin planlamalarında nelerin gözden kaçırıldığı, tesislerin korunmasında nelerin daha etkili olacağı, tesisin bulunduğu bölgeye ait afet verilerinin sağlanıp sağlanmadığı gibi maddeler değerlendirilebilir.
- ✓ Natech risk analizi için halihazırda Avrupa Birliği' nde mevcut Rapid-N tooluna benzer yapıda, ancak deprem dışındaki diğer afetleri dikkate alan çalışmada geliştirilen metodoloji temelli bir program geliştirilebilir. Böylece, Natech alanındaki çalışmalara farklı bir açı kazandırabilir, araştırmacılar için geniş bir yelpaze sunabilir ve süreç pratik hale getirilebilir.
- ✓ Çalışma içerisinde Natech kazalarının risk analizi için hem kalitatif hem de kantitatif analiz metotları uygulanmıştır. Gelecek çalışmalarda farklı risk analiz metotları kullanılarak elde edilen bulgular bu çalışmanın sonuçları ile karşılaştırılabilir.
- ✓ 1999 depreminde hasar gören TÜPRAŞ ve yine büyük kapasiteli BOTAŞ gibi yakıt taşıyıp depolayan tesisler üzerinde yürütülecek çalışmalar dikkat çekici olabilir.
- ✓ Sonuç analizi modelleme çalışmalarında ALOHA yazılımı yerine API RBI, BREZEE, PHAST vb. yazılımlar kullanılabilir (Vianello, 2014).
- ✓ Tez çalışmasında sel/taşkın ve yıldırım özelinde geliştirilen risk analiz metodolojisi diğer doğal afet türlerine de uygulanabilir.
- ✓ Hazırlanan tez endüstriyel tesislerin acil durum planlamalarına yardımcı kaynak olarak kullanılabilir.
- ✓ Acil durum planlamalarında tesisin bulunduğu bölgedeki doğal afet tipinin yoğunluğunun tesisi nasıl etkileyeceği konusunda göz önünde bulundurularak planlamalar geliştirilebilir.
- ✓ Atmosferik seçimler program üzerinde değiştirilerek model çalışmaları yürütülebilir.

- ✓ Acil durum planlarında sadece hakim rüzgar yönünde belirlenen etki alanları yerine ilgili etki mesafesinde tam kontur alanları dikkate alınarak etkin çalışılabilir.

KAYNAKÇA

Açıkgöz, V. (2012). *LPG depolama tanklarında yangın ve patlama durumlarının modellenmesi,* Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı. (2014). Açıklamalı Afet Yönetimi Terimleri Sözlüğü. Ankara.

Akıncı, H. K. (2015). *Atakum (Samsun) İlçesinin Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi. Ulusal Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu*. Trabzon.

Basu, S. (2017). *Chapter III - Qualitative Hazard Analysis and Safety Instrumentation System*. Plant Hazard Analysis, 169-200.

Büyük Endüstriyel Kazalarda Uygulanacak Dahili Acil Durum Planları Hakkında Tebliğ. (2020, 08 15). *(31214)*. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.

Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik. (2019, 3 2). *(30702)*. Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve İçişleri Bakanlığı.

Büyük Endüstriyel Kazalarla İlgili Hazırlanacak Büyük Kaza Senaryo Dokümanı Tebliği. (2020, 06 30). *(31171)*. Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı.

Büyük Endüstriyel Kazalarla İlgili Hazırlanacak Güvenlik Raporu Tebliği. (2019, 04 02). *(30750)*. Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı.

Campedel, M. (2008). *Analysis of Major Industrial Accidents Triggered by Natural Events Reported In the Principal Available Chemical Accident Databases.* Italy: European Communities.

Casal, J. (2008). *Evaluation of the Effects and Consequences of Major Accidents in Industrial Plants* (Cilt 8). İspanya.

Center For Chemical Process Safety (CCPS). (2014). *Guidelines for Determining the Probability of Ignition Of A Released Flammable Mass.* New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Cruz, A. M., Steinberg, L. J., Vetere Arellano, A. L., Nordvik, J.-P., & Pisano, F. (2004). *State of the Art in Natech Risk Management.* İtaly: European Communities.

Cruz, A. M., Steinberg, L., Vetere-Arellano, A. L. (2007). Emerging Issues for Natech Disaster Risk Management in Europe. *Journal of Risk Research,* 9(5), 483-501.

ÇSGB. (2012). *Kimya Sanayi Sektöründe Seveso II Direktifi Kapsamındaki Endüstrilerde Kaza Riski Değerlendirme Metodolojisi (ARAMIS)* (Cilt 55). Ankara: Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı.

Demirdöğen, M. M., Çetinyokuş, S. (2021). Deprem Bölgesinde Bulunan Bir Hazır Beton Santralinde Risk Değerlendirmesi. *İSG Akademik, 3*(1), 79-98.

Derneği, T. O. (2020). *İtfaiyeciler İçin Orman Yangınları El Kitabı* . Ankara: Kuban Matbaacılık Yayıncılık.

İnternet: DesInvertar (2021) Web: https://www.desinventar.net/ adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 29.04.2021.

Duman, Ö., Gökgöz, B. (2018). Türkiye' de ve dünyada afet veri tabanları. *SETSCI Conference Indexing System,* 3, 556-561.

Durukal, E., Erdik, M. (2008). Physical and economic losses sustained by the industry in the 1999 Kocaeli, Turkey earthquake. *Natural Hazards*, 46, 153-178.

Endüstri Bölgeleri Yönetmeliği. (2019, 08 06). *(30854)*. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı.

Erdoğan, A. (2015). Hata ağacı analizi, literatür araştırması ve orta ölçekli bir işletmede uygulama. *Çalışma Dünyası Dergisi*, 106-122.

Girgin, S. (2011, 04 21). The natech events during the 17 August 1999 Kocaeli earthquake: aftermath and lessons learned. *Natural Hazards and Earth System Sciences,* 11, 1129-1140.

Girgin, S. (2012). Rapid-N Rapid Natech Risk Assessment Tool; J*RC Scientific and Policy Reports*, European Commission, İtaly.

Girgin, S., Krausmann, E. (2016). Historical analysis of U.S. onshore hazardous liquid pipeline accidents triggered by natural hazards. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 578-590.

Girgin, S., Necci, A., Krausmann, E. (2019). Dealing with cascading multi-hazard risks in national risk assessment: The case of Natech accidents. *International Journal of Disaster Risk Reduction,* 35.

Gökçe, O., Özden , Ş., Demir, A. (2008). *Türkiye' de afetlerin mekansal ve istatistiksel dağılımı afet bilgileri envanteri.* Ankara: Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü.

Gökçekuş, H., Barlas, C., Almuhisen, M., Eyni, N. (2018). *Doğal ve İnsan Kaynaklı Afetler, Sonuçları ve Afet Yönetimi.* Lefkoşa: Yakın Doğu Üniversitesi.

Güneş , Y., Çetinyokuş, S. (2020). Türkiye'de Endüstriyel Kazalara Yönelik Arazi Kullanım Planlaması (AKUP) Problemi. *Journal of Humanities and Tourism Research,* 10(2), 226-248.

Haag, D., & Ale, D. (2005). *Guideline for quantitative risk assessment (Purple Book).* Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

Hajj, C. E., Piatyszek, E., Tardy, A., Laforest, V. (2015). Development of generic bow-tie diagrams of accidental scenarios triggered by flooding of industrial facilities (Natech). *Journal of Loss Prevention in the Process Industries,* 36, 72-83.

Holle, R. D. (2019). Fatalities Related To Lightning Occurrence And Agriculture İn Bangladesh. *International Journal of Disaster Risk Reduction,* 41.

Honda, R. S. (2004). Ground motion and rupture process of the 2003 Tokachi-oki earthquake obtained from strong motion data of K-NET and KiK-net. *Earth Planet Space,* 56, 317-322.

İnternet: Coğrafya Harita (2021) Dünya Deprem Haritası Web: http://cografyaharita.com/haritalarim/. adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 27.04.2021.

İnternet: Coğrafyacı. (2021). 04 27, 2021 tarihinde Doğal afetlerin dağılışı: https://www.cografyaci.gen.tr/dogal-afetlerin-dagilisi/. adresinden alındı

İnternet: Coğrafyalar (2021) Dünya çığ haritası Web: https://www.cografyalar.com/dunya-cig-haritasi/ adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 28.04.2021

İnternet: CSB U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board. Organic Peroxide Decomposition, Release, and Fire at Arkema Crosby Following Hurricane Harvey Flooding Web: https://www.csb.gov/file.aspx?DocumentId=6068 adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 18.03.2021.

İnternet: Harita Genel Müdürlüğü (HGM) (2022) Erzurum Fiziki İl Haritası Web: https://www.harita.gov.tr/urun/erzurum-fiziki-il-haritasi/410 adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 22.03.2022

İnternet: Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı (2021) Web: https://www.csgb.gov.tr/bakanlik adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 30.05.2021.

İnternet: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2021) Web: https://csb.gov.tr/ adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 30.05.2021.

İnternet: Başarsoft (2021) Coğrafi Bilgi Sistemleri Web: https://www.basarsoft.com.tr/cografibilgi sistemleri adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 31.05.2021

İnternet: GRC Cloud (2021) Web: https://sword-grc.com/sword-active-risk-manager/ adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 01.05.2021.

İnternet: EM-DAT (2021) Web: https://www.cred.be/projects/EM-DAT adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 29.04.2021

İnternet: Enablon (2021) Web: https://enablon.com/about-us/who-we-are/ adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 05.01.2021

İnternet: *Global Flood Monitor* (2021) 24 Nisan'da yaşanan sel haritası Web: https://www.globalfloodmonitor.org/ adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 27.04.2021.

İnternet: Crawley, F. B. (2015). *Google Books*. HAZOP: Guide to Best Practice Web: https://books.google.com.tr/ adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 28.04.2021

İnternet: Acil Durum ve Afet Bilgi Servisi (EDIS) (2021) Web: https://rsoe-edis.org/ adresinden alındı. Son erişim tarihi: 29.04.2021.

İnternet: A1 Tracker (2021) Web: https://www.a1tracker.com/risk-management-software/ adresinden alındı. Son erişim tarihi: 05.01.2021.

İnternet: Isolocity. (2021).Web: https://isolocity.com/ adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 01.05.2021

İnternet: Isometrix (2021).Web: https://www.isometrix.com/ adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 01.05.2021

İnternet: Afet Yönetimi Kapsamında 2019 Yılına Bakış ve Doğa Kaynaklı Olay İstatistikleri (2021) Web: https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/e_kutuphane/kurumsal-raporlar/afet_istatistikleri_2020_web.pdf adresinden alındı. Son erişim tarihi: 22.04.2021.

İnternet: AFAD Hakkında (2021) Web: https://www.afad.gov.tr/afad-hakkinda adresinden alındı. Son erişim tarihi: 22.04.2021

İnternet: Analytica (2021) Web: https://lumina.com/why-analytica/ adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 01.05.2021.

İnternet: Türkiye Afet Bilgi Bankası (2021) Web: https://www.afad.gov.tr/tabb adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 29.05.2021.

İnternet: Afet Bilgi Sistemi (AKOMAS) (2021) Web: https://akom.ibb.istanbul/Akomas adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 29.04.2021.

İnternet: Akatsuka, H. K. (2021). Fire of Petroleum Tank, etc. by Niigata Earthquake. Web: http://www.shippai.org/fkd/en/hfen/HB1012035.pdf adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 29.04.2021

İnternet: iTrak. (2021) Web: http://www.iviewsystems.com/itrak_m.asp adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 01.05.2021

İnternet: Brosius, F. (2011). SPSS 19. *Google Books*. Web: https://books.google.com.tr/ adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 18.04.2021

İnternet: Brosius, G., Brosius, F. (1989) SPSS Programmierung Effi zientes Datenmanagement und Automatisierung mit SPSS-Syntax Web: https://mediendb.hjr-verlag.de/vmi

buch/texte/leseprobe/9783826659096_leseprobe_01.pdf adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 17.04.2021

İnternet: Kanada Afet Veri Tabanı (CDD) (2021). Web: https://www.publicsafety.gc.ca/cnt/rsrcs/cndndsstr-dtbs/ adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 29.04.2021

İnternet: Karaca, A., Şenol, A., Denizli, F., Çiçek , M., Derman, Y. (2013). *Kentlerde Hava Kalitesinin Geliştirilmesi Projesi-KENTAİR.* Erzurum. Web: https://webdosya.csb.gov.tr/db/destek/icerikler/erzurum_raporu2019112711227.pdf adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 20.03.2021.

İnternet: *Karayipler Acil Afet Durum Yönetimi Ajansı (CDEMA)* Web: https://www.cdema.org/ adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 29.04.2021.

İnternet: Wikips (2022) Web: https://wikips.tamu.edu/consequence-techniques-consequence-analysis/ adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 11.06.2022.

İnternet: Yıldırımdan Korunma Yönetmeliği (2021) Web: https://www.yilkomer.com/wp-content/uploads/2020/08/yildirimdan-korunma-yonetmeligi.pdf adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 22.11.2021.

İnternet: Yıldırımdan Korunma Seviyeleri (2021) Web: https://www.yilkomer.com/yildirimdankorunma-seviyeleri/ adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 25.11.2021.

İnternet: Yıldırım Risk Analiz Programı (2021) Web: https://www.yilkomer.com/wpcontent/uploads/2021/02/YILKOMER-YILDIRIMRISK-ANALIZ-PROGRAMITURKCE.xls adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 22.11.2021.

İnternet: 2019 Yılı Meteorolojik Afetler Değerlendirmesi Web: https://mgm.gov.tr/FILES/genel/raporlar/2019MeteorolojikAfetlerDegerlendirmesi.pdf adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 27.04.2021.

İnternet: Meteoroloji Genel Müdürlüğü Resmi İstatistikler Web: https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceleristatistik.aspx?k=H&m=ERZURUM adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 20.03.2022

İnternet: NASA (2021) Dünya Heyelan Potansiyeli Web: https://earthobservatory.nasa.gov/ adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 27.04.2021.

İnternet: NatCatSERVICE (2021) Natural Catastrophe Knowhow For Risk Management And Research Web: https://www.munichre.com/content/dam/munichre/contentlounge/website-pieces/documents/302-06733_en.pdf. adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 29.04.2021

İnternet: National Geographic (2021) Volkanik patlama Web: https://www.nationalgeographic.com/science/article/ adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 27.04.2021.

İnternet: 2019 Yılı Meteorolojik Afetler Değerlendirmesi Web: https://mgm.gov.tr/FILES/genel/raporlar/2019MeteorolojikAfetlerDgerlendimesi.pdf adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 22.04.2021.

İnternet: NASA (2021) 2015 Dünya Orman Yangınları Haritası Web: http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/firemaps adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 28.04.2021

İnternet: Özkılıç, Ö (2021) Ege Üniversitesi 04 29, 2021 tarihinde Büyük Endüstriyel Kazaları Önleme Çalışmalarında Kritik Sistemlerin Tespiti ve Risk Değerlendirme Yaklaşım ve Yöntemleri Web: https://avesis.ege.edu.tr/resume/downloadfile/ozan.soykan?key=d5271f91-b8eb-4f55-8e32-716b7cd1df96 adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 29.04.2021.

İnternet: NIFV, I. V. (2021). *Preventionweb.* International disaster response Web: https://www.preventionweb.net/files/ENG_KP_rampenbestrijding-nov-2013.pdf adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 24.03.2021.

İnternet: NOAA Müdahale ve Restorasyon Servisi (2020) ALOHA Bilgi Formu Web: https://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/aloha.pdf adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 07.04.2021.

İnternet: Özdemir, H. *(2016) Afetler Coğrafyası.* İatanbul AUZEF Web: http://auzefkitap.istanbul.edu.tr/kitap/cografya_lisans_ao/afetler_cografyasi.pdf adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 28.04.2021.

İnternet: R Project (2021) Web: https://www.r-project.org/ adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 01.05.2021.

İnternet: Radsan (2021) Radsan Risk Analizi Paratoner Web: https://www.radsan.com.tr/images/dosyalar/proje-ornekleri/aktif-paratonerprojeleri mR/4f1641-aktif-paratoner-projesi-izole-sistem-ct.pdf adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 23.11.2021.

İnternet: RAPID-N (2021) Web: https://rapidn.jrc.ec.europa.eu/ adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 01.05.2021.

İnternet: Rota, R., Caragliano, S., Brambilla, S., Manca, D. (2021) Comparing floods and industrial accidents: A conceptual framework for multi-risk assessment Web: https://www.researchgate.net/publication/287286567 adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 24.12.2021.

İnternet: Sigma Explorer (2021) Web: https://www.sigma-explorer.com/ adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 29.04.2021

İnternet: SpiraPlan (2021) Web: https://www.inflectra.com/SpiraPlan/ adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 01.05.2021

İnternet: Risk Manager Studio (2021) Web: https://www.riskmanagementstudio.com/ adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 01.05.2021.

İnternet: Teknolojik Kazalar Bilgi Servisi (2021) Web: https://teknolojikkazalar.org/accident_statistics adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 29.04.2021

İnternet: The Weather Channel (2021). Where Almost 9 Billion Lightning Strikes in 5 Years Happened on Earth: https://weather.com/safety adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 28.05.2021

İnternet: Türk Kızılayı (2021Web: https://www.kizilay.org.tr/ adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 30.05.2021

İnternet: UNDP, I. (2014). Effective Law And Regulation For Disaster Risk Reduction: A Multi Country Report. New York: The International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies & UNDP. Web: https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/publications/UNDP_CPR_DRR_fullreport2013.pdf adresinden alındı.

İstanbul AUZEF (2021). Dünya'da ki aktif volkanlar Web: https://cdn-acikogretim.istanbul.edu.tr/auzefcontent/ders/afetler_cografyasi/5/. adresinden alındı. Son Erişim Tarihi: 27.04.2021.

Jones, R., Lehr, W., Simecek-Beatty, D., Reynolds, M. (2013). *ALOHA®(Areal Locations of Hazardous Atmospheres) 5.4. 4: Technical Documentation*

Karaca, A., Şenol , A., Denizli, F., Çiçek, M., Derman, Y. (2013). Kentlerde Hava Kalitesinin Geliştirilmesi Projesi-KENTAİR. Erzurum. 03 20, 2021 tarihinde https://webdosya.csb.gov.tr/db/destek/icerikler/erzurum_raporu2019112711227.pdf adresinden alındı

Karakaya Özkan, E. (2016). Hazır Beton Sektöründe İş Sağlığı Ve Güvenliği Risklerinin Değerlendirilmesi. *Uzmanlık Tezi*. Ankara: Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü.

Khakzad, N., Khan, F., Amyotte, P. (2012). Dynamic risk analysis using bow-tie approach. *Reliability Engineering and System Safety,* 104, 36-44.

Khalil, M. M. (2012). A Cascaded Fuzzy-LOPA Risk Assessment Model Applied İn Natural Gas Industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries,* 25(6), 877-882.

Koçaklı, K., & Zorer, H. (2020). Etrüsk (Akçadağ) Dağı ve Yakın Çevresinin Jeomorfolojisi. *Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi,* 20, 103-128.

Komisyonu, A. (2021). *JRC Science For Policy Report.* Luxemburg: Recommendations for National Risk Assessment for Disaster Risk Management in EU.

Krausmann , E., & Musthaq, F. (2008). A qualitative Natech damage scale for the impact of floods on selected industrial facilities. *Natural Hazards*, 46, 179-197.

Krausmann, E., & Cruz, A. M. (2013). Impact of the 11 March 2011, Great East Japan earthquake and tsunami on the chemical industry. *Natural Hazards,* 67, 811-828.

Mayorga, S. Z., Sánchez-Silva, M., Olivar, O. R., Giraldo, F. M. (2019). Development of parametric fragility curves for storage tanks: A Natech approach. *Reliability Engineering and System Safety,* 189, 1-10.

Misuri, A., Antonioni, G., Cozzani, V. (2020). Quantitative risk assessment of domino effect in Natech scenarios triggered by lightning. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries,* 64.

Moreno, V. C., Ricci, F., Sorichetti, R., Misuri, A., Cozzani, V. (2019). Analysis of Past Accidents Triggered by Natural Events in the Chemical and Process Industry. *Chemical Engineering Transactions,* 74, 1405-1410.

Naderpour, M., Rizeei, H. M., Khakzad, N., Pradhan, B. (2019). Forest fire induced Natech risk assessment: A survey of geospatial technologies. *Reliability Engineering and System Safety,* 191.

Necci, A., Antonioni, G., Bonvicini, S., Cozzani, V. (2016). Quantitative assessment of risk due to major accidents triggered by lightning. *Reliability Engineering and System Safety, 154*, 60-72.

OECD. (2020). *Natech Risk Yönetimi: 2017-2020 Proje Sonuçları* (Cilt 32). Paris: OECD Enviroment.

Olivar, O. R. (2018). Fragility Assessment Methodology of Storage Tanks in NaTech Events. Bogotá, Colombia: Universidad de los Andes Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering.

Özeyranlı Ergenç, M. N. (2016). *İstanbul İli İçin 2000 Yıllık Afet Veri Tabanı Hazırlanması Çalışması*. Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

Özgür, C. C. (2017). MatLab vs. Python vs. R. *Journal of Data Science, 15*(3), 354-371.

Piccinelli, R., Krausmann, E. (2013). *Natech risk analysis methodologies for floods.* European Union.

Raschke, M. (2017). Statistical Tests For Underestimation Of Loss Distributions From Natcat Models. *Natural Hazards, 87,* 1251-1258.

Renni, E., Krausmann, E., Cozzani, V. (2010). Industrial accidents triggered by lightning. *Journal of Hazardous Materials,* 42-48.

Ricci, F., Moreno, V. C., Cozzani, V. (2020). Analysis of NaTech Accidents Triggered by Extreme Temperatures in the Chemical and Process Industry. *Chemical Engineering Transactions,* 82, 79-84.

Ricci, F., Moreno, V. C., Cozzani, V. (2021). A comprehensive analysis of the occurrence of Natech events in the process industry. *Process Safety and Environmental Protection,* 147, 703-713.

Rossing, N. T., Lind, M., Jensen, N., Jorgensen, S. B. (2010). A Functional HAZOP Methodology. *Computers & Chemical Engineering*, 34(2), 244-253.

Steinberg, L. J., Sengul, H., Cruz, A. M. (2008). Natech Risk And Management: An Assessment Of The State Of The Art. *Natural Hazards*, 46, 143-152.

Sullivan, A. L. (2017). Inside the Inferno: Fundamental Processes of Wildland Fire Behaviour. *Fıre Science And Management, 3*, 150-171.

Türk Standartları Enstitüsü. (2010). *Risk Yönetimi – Risk Değerlendirme Teknikleri (IEC / ISO 31010:2009).* Ankara.

Türkeş, M. (2019). Türkiye' de heyelanlar artıyor mu? *İklim Bilimi*, 97-101.

Vallee, A., Duval, C. (2012). Flooding of industrial facilities-Vulnerability reduction in practice. *Chemical Engineering Transactions,* 26, 111-116.

Vianello, C., Guerrini, L., Maschio, G., Muro, A. (2014). Consequence Analysis: Comparison of Methodologies under API Standard and Commercial Software. *Chemical Engineering Transactions*, 36, 511-516.

Wang, J., Weng, W. (2021). A simplified methodology for rapidly analyzing the effect of multi-hazard scenario on atmospheric storage tanks. *Research Square*.

EKLER

EK-1. Faraday Kafesi Yıldırım Risk Analiz Programı

YILDIRIM RİSK HESABI				
ÇEVRESEL KATSAYI C1				
C1	0,25	YAPI AYNI& DAHA YÜKSEK AĞAÇ VE YAPILAR ARASINDA İSE		
	0,5	YÜKSEKLİĞİ AZ OLAN YAPILARLA ÇEVRİLİ İSE		
	1	EN YAKIN YAPIYA UZAKLIK 3H MESAFEDE İSE		
	2	BÖLGEDE EN YÜKSEKTE İSE		
YAPISAL KATSAYI C2				
C2	YAPI/ÇATI	METAL	KİREMİT	YANICI
	METAL	0,5	1	2
	TUĞLA/BETON	1	1,5	2,5
	TUTUŞABİLİR	2	2,5	3
YAPISAL KATSAYI C3				
C3	0,5	DEĞERSİZ YANICI OLMAYAN		
	1	NORMAL, YANICI		
	2	DEĞERLİ, YANICI		
	3	PARLAYICI, YANICI		
YAPI DOLULUĞU C4				
C4	0,5	PERSONELSİZ BİNA		
	1	NORMAL KALABALIK		
	3	PANİK RİZİKOLU, TAHLİYE ZORLUĞU		
YAPI DOLULUĞU C5				
C5	1	SÜREKLİ KULLANIMI YOK, ÇEVREDE DEĞERSİZ		
	5	SÜREKLİ KULLANIMDA, ÇEVREDE DEĞERSİZ		
	10	ÇEVREDE DEĞERLİ		
ETKİNLİK VE KORUMA				
ETKİNLİK	KORUMA SEVİYESİ	KAFES ARALIĞI	İNİŞ ARALIĞI	
E>0,98	SEVİYE1+EK ÖNLEM	5x5	10	
0,95<E<0,98	SEVİYE1	5x5	10	
0,90<E<0,95	SEVİYE2	10x10	15	
0,80<E<0,90	SEVİYE3	15x15	20	
E<0	SEVİYE4	20x20	25	
HESAPLAR				
YAPININ	BOYU - L			
	ENİ - W			
	YÜKSEKLİĞİ - H		AÇIKLAMALAR	
FAKTÖR	YAPININ KONUMU C1:	2	BÖLGEDE EN YÜKSEK	
	YAPI-ÇATI KONUMU C2:	0,5		
	YAPININ DEĞERİ C3:	2	DEĞERLİ, YANICI	
	YAPI DOLULUĞU C4:	1	NORMAL KALABALIK	
	YILDIRIM SONUCU C5:	10	ÇEVREDE DEĞERLİ	
			FORMÜLLER	TANIMLAR
FORMÜLLER	Ae=	0,000000	Ae=LxW+6xHx(L+W)+9xπxH²	Etkili Eşdeğer Alan
	Ng=	1,691794	Ng=0,04xNk^1,25	Yıldırım Yoğunluğu
	Nd=	0,000000	Nd=NgxAexC1x10^-6	Tesis için beklenen yıldırım sayısı
	Nk=	20,000000	Nk=20	Kütahya için Yıldırımlı Gün Sayısı
	C=	10,000000	C=C2xC3xC4xC5	
	Nc=	0,000150	Nc=5,5x10^-3/C	Onaylı Yıldırım Darbe Sayısı
	E=	#SAYI/0!	E=1-(Nc/Nd)	Etkinlik
SONUÇ				
ETKİNLİK	DEĞER	KORUMA SEVİYESİ	KAFES ARALIĞI	İNİŞ ARALIĞI
E=	#SAYI/0!	#SAYI/0!	#SAYI/0!	#SAYI/0!

EK-2. Paratoner Sistem Risk Analiz Programı

YILDIRIM RİSK HESABI				
ÇEVRESEL KATSAYI C1				
C1	0,25	YAPI AYNI& DAHA YÜKSEK AĞAÇ VE YAPILAR ARASINDA İSE		
	0,5	YÜKSEKLİĞİ AZ OLAN YAPILARLA ÇEVRİLİ İSE		
	1	EN YAKIN YAPIYA UZAKLIK 3H MESAFEDE İSE		
	2	BÖLGEDE EN YÜKSEKTE İSE		
YAPISAL KATSAYI C2				
C2	YAPI/ÇATI	METAL	KİREMİT	YANICI
	METAL	0,5	1	2
	TUĞLA/BETON	1	1,5	2,5
	TUTUŞABİLİR	2	2,5	3
YAPISAL KATSAYI C3				
C3	0,5	DEĞERSİZ YANICI OLMAYAN		
	1	NORMAL, YANICI		
	2	DEĞERLİ, YANICI		
	3	PARLAYICI, YANICI		
YAPI DOLULUĞU C4				
C4	0,5	PERSONELSİZ BİNA		
	1	NORMAL KALABALIK		
	3	PANİK RİZİKOLU, TAHLİYE ZORLUĞU		
YILDIRIM SONUCU C5				
C5	1	SÜREKLİ KULLANIMI YOK, ÇEVREDE DEĞERSİZ		
	5	SÜREKLİ KULLANIMDA, ÇEVREDE DEĞERSİZ		
	10	ÇEVREDE DEĞERLİ		
ETKİNLİK VE KORUMA				
ETKİNLİK	**KORUMA SEVİYESİ**	**PARATONER KORUMA ALANI YARIÇAPI**		
E>0,98	SEVİYE1+EK ÖNLEM	r: 79m		
0,95<E<0,98	SEVİYE1	r: 79m		
0,90<E<0,95	SEVİYE2	r: 87m		
0,80<E<0,90	SEVİYE3	r: 97m		
E<0	SEVİYE4	r: 107m		
HESAPLAR				
YAPININ	BOYU - L			
	ENİ - W			
	YÜKSEKLİĞİ - H			
			AÇIKLAMALAR	
FAKTÖR	YAPININ KONUMU C1:	0,25	YAPI AYNI & DAHA YÜKSEK AĞAÇ VE YAPILAR ARASINDA	
	YAPI-ÇATI KONUMU C2:	2	METAL, YANICI	
	YAPININ DEĞERİ C3:	3	PARLAYICI, YANICI	
	YAPI DOLULUĞU C4:	3	PANİK RİZİKOLU, TAHLİYE ZORLUĞU	
	YILDIRIM SONUCU C5:	10	ÇEVREDE DEĞERLİ	
			FORMÜLLER	**TANIMLAR**
FORMÜLLER	Ae=	0,000000	Ng=0.04xNk^1,25	Etkili Eşdeğer Alan
	Ng=	1,462463	Ng=0,04xNk^1,25	Yıldırım Yoğunluğu
	Nd=	0,000000	Nd=NgxAexC1x10^ -6	Tesis için beklenen yıldırım sayısı
	Nk=	17,800000	Nk=17,8	Erzurum için Yıldırımlı Gün Sayısı
	C=	180,000000	C=C2xC3xC4xC5	
	Nc=	0,000008	Nc=5,5x10^ -3/C	Onaylı Yıldırım Darbe Sayısı
	E=	**#SAYI/0!**	E=1-(Nc/Nd)	Etkinlik
SONUÇ				
ETKİNLİK	**DEĞER**	**KORUMA SEVİYESİ**	**PARATONER KORUMA ALANI YARIÇAPI**	
E=	**#SAYI/0!**	**#SAYI/0!**	**#SAYI/0!**	

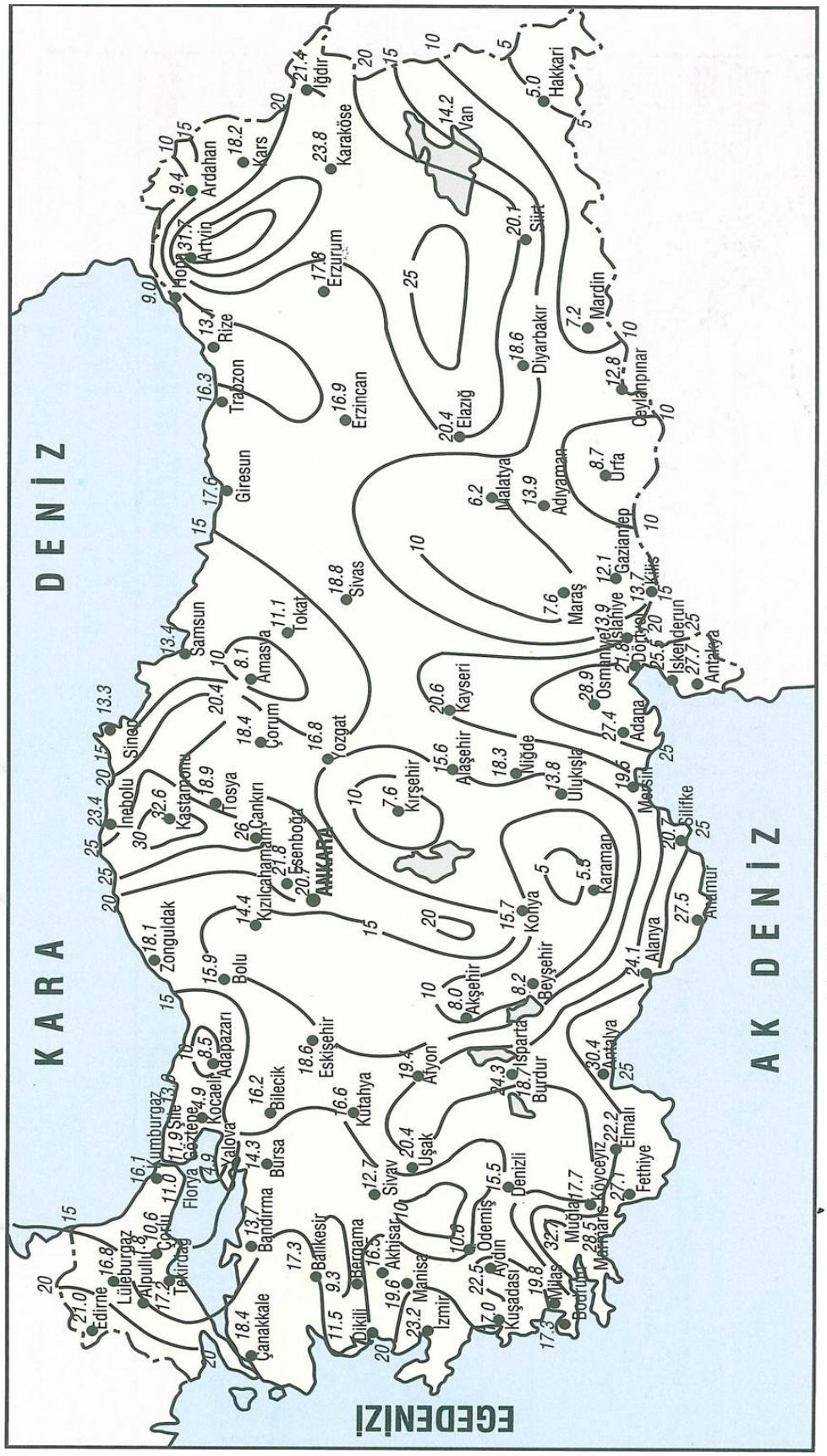
EK-3. Kuruluş 1' e Ait Tank Verileri

No	Tank Kodu	İlgili Ünite	Kimyasal Madde	Tank Çapı (m)	Tank Uzunluğu (m)	Hacim (m3)	Doluluk Oranı (%)	Basınç (Bar)	Sıcaklık (C)	Tank Şekli	Dayk Alanı (m2)	Dayk yüksekliği (m)	Zemin tipi
1	180/1	STOK TANK	%70 BÜTAN-%30 PROPAN	3,15	15,4	115	85	2,5	15	Yatay Silindirik	Yok	Yok	Beton
2	180/2	STOK TANK	%70 BÜTAN-%30 PROPAN	3,15	15,4	115	85	2,5	15	Yatay Silindirik	Yok	Yok	Beton
3	214/1	STOK TANK	%70 BÜTAN-%30 PROPAN	3,15	15,4	115	85	2,5	15	Yatay Silindirik	Yok	Yok	Beton
4	214/2	STOK TANK	%50 BÜTAN-%50 PROPAN	3,15	15,4	115	85	2,5	15	Yatay Silindirik	Yok	Yok	Beton
5	214/3	STOK TANK	%100 PROPAN	3,15	15,4	115	85	2,5	15	Yatay Silindirik	Yok	Yok	Beton

EK-4. Kuruluş 2’ ye Ait Tank Verileri

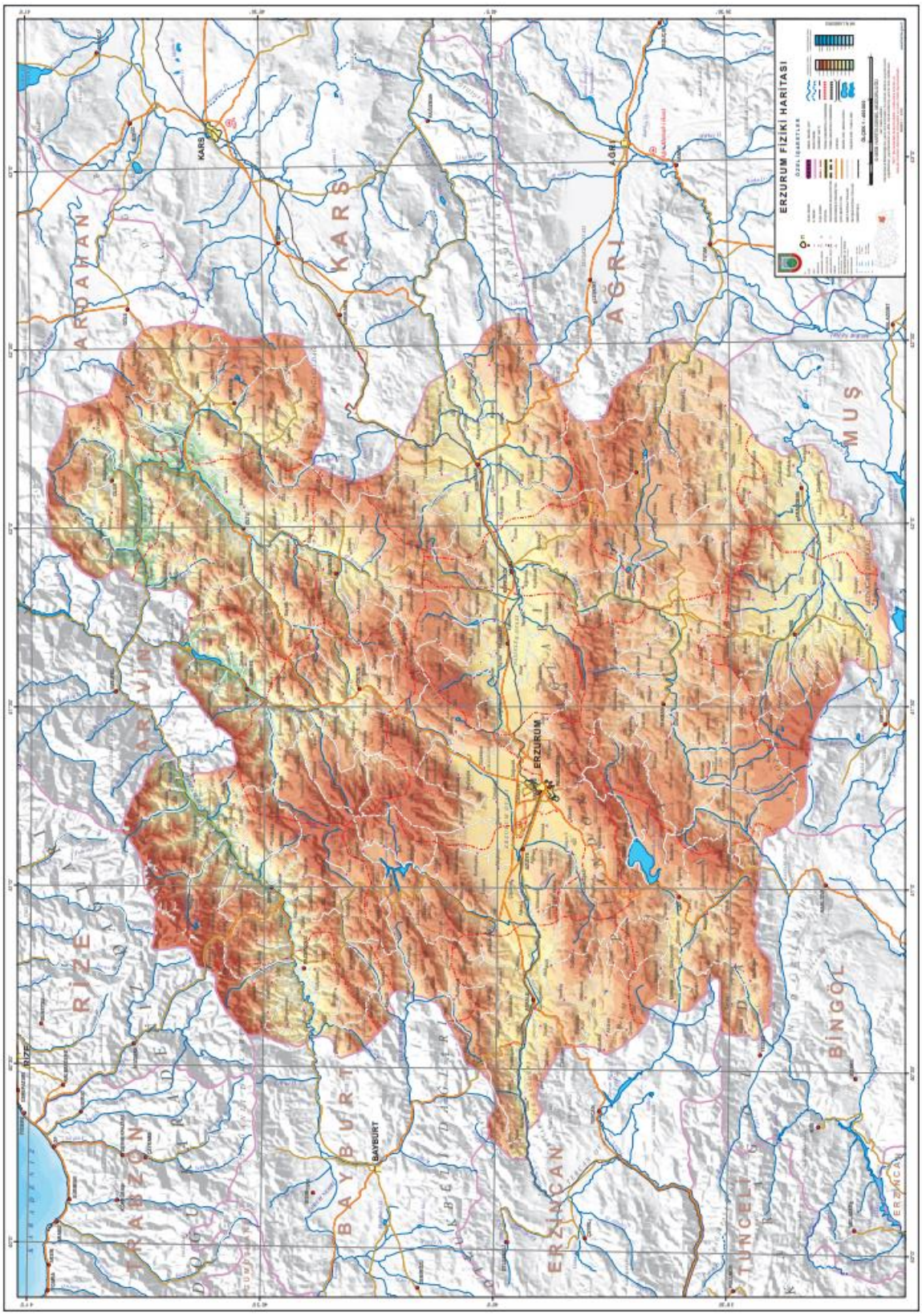
NO	Tank Kodu	İlgili Ünite	Kimyasal Madde	Tank Çapı (m)	Tank Uzunluğu (m)	Hacim (m³)	Doluluk Oranı (%)	Basınç (Bar)	Sıcaklık (C°)	Tank Şekli	Dayk Alanı (m²)	Dayk Yüksekliği (m)	Zemin Tipi
1	Küre	Tank Sahası	Mix LPG (%70 Bütan, %30 Propan)	19	–	3.000	40	16	Ortam Sıcaklığı	Küresel	Yok	Yok	Beton
2	Tank1	Tank Sahası	Otogaz LPG (%60 Bütan, %40 Propna	3,67	15,75	115	70	16	Ortam Sıcaklığı	Yatay Silindirik	Yok	Yok	Beton
3	Tank2	Tank Sahası	Ticari Propan (%95 Propan)	3,67	15,75	115	60	16	Ortam Sıcaklığı	Yatay Silindirik	Yok	Yok	Beton
4	Tank3	Tank Sahası	Otogaz LPG (%60 Bütan, %40 Propna	3,67	15,75	115	50	16	Ortam Sıcaklığı	Yatay Silindirik	Yok	Yok	Beton
5	Tank4	Tank Sahası	Otogaz LPG (%60 Bütan, %40 Propna	3,67	15,75	115	50	16	Ortam Sıcaklığı	Yatay Silindirik	Yok	Yok	Beton

EK-5. Türkiye Oraj Haritası



Şekil 2 Türkiye'nin Yıllık Ortalama Orajlı Günler Sayısı (Nk)
Figure 2 The Number of Orai Days in Turkey

EK-6. Erzurum Fiziki İl Haritası





GAZİ GELECEKTİR..