
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

KARAYOLU TEHLİKELİ MADDE TAŞIMACILIĞINA YÖNELİK KANTİTATİF RİSK ANALİZİ

Ahmet DURMUŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KAZALARIN ÇEVRESEL VE TEKNİK ARAŞTIRMASI ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAZİRAN 2024

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.

Ahmet DURMUŞ

13/06/2024

KARAYOLU TEHLİKELİ MADDE TAŞIMACILIĞINA YÖNELİK KANTİTATİF RİSK ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Ahmet DURMUŞ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

KAZALARIN ÇEVRESEL VE TEKNİK ARAŞTIRMASI ANA BİLİM DALI

Haziran 2024

ÖZET

Karayolu tehlikeli madde taşımacılığına yönelik kaza senaryolarının şiddetini matematiksel modellerin uygulanmasına ve belirli bir alanda ortaya çıkan riskin tahminine karşılık gelen frekansların kullanımına dayandıran QRA(Kantitatif Risk Analizi) alanında çalışmalar sınırlıdır. QRA ile insan, mal ve çevre sağlığı üzerinde ciddi etkiler meydana getiren tehlikeli madde taşımacılığı kazalarına daha etkin hazırlık ve müdahale sağlanabilmektedir. Bu tez çalışmasında, karayolu tehlikeli madde taşımacılığı kazaları için QRA ile yeni bir metodoloji önerisi getirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, veri analizi, kaza senaryosu belirleme ve frekans tahmini, kaza etki modellemesi ve risk haritaları aşamalarını içeren bir metodoloji oluşturulmuştur. Veri analizi, 2020-2021 yılları arasında ülkemizde meydana gelen tehlikeli madde taşımacılığı kazalarının analizi üzerinden gerçekleştirilmiş; lokasyon, atmosferik koşullar, bütünlük kaybı türü ve kazalara dahil olan tehlikeli madde türleri ile araçları tespit edilmiştir. Ardından, tehlikeli madde taşımacılığı kazalarının en sık yaşandığı İzmir' de 3 farklı güzergâhta uygulama yapılmasına karar verilmiştir. Olay ağacı analizleri ile muhtemel kaza senaryoları oluşturulmuş ve her bir kaza lokasyonu için kaza frekansları hesaplanmıştır. Kaza senaryolarının etki alanları ALOHA Yazılımı ve ilgili korelasyonlar üzerinden belirlenmiştir. Her bir kaza noktasında önce bireysel riskler hesaplanmış, ardından çevre unsurlar dikkate alınarak sosyal risk eğrileri elde edilmiştir. Her bir kaza noktasında elde edilen riskler mevzuat eşik değerin üzerinde tespit edilmiştir. Bu bağlamda, acil durumlara ve kazalara etkin hazırlık için önlemler alınması gerektiği ortaya konulmuştur. Objektif ve deterministik çıktılar sağlayan önerilen metodolojinin, bilimsel çalışmalara, ilgili uygulayıcı ve kontrol sağlayıcılara önemli katkılar sunacağı ön görülmektedir.

Bilim Kodu : 90611
Anahtar Kelimeler : Kantitatif Risk Analizi (QRA), tehlikeli madde taşımacılığı, endüstriyel kazalar.
Sayfa Adedi : 122
Danışman : Prof. Dr. Saliha ÇETİNYOKUŞ

QUANTITATIVE RISK ANALYSIS FOR DANGEROUS GOODS TRANSPORTATION BY ROAD

(M. Sc. Thesis)

Ahmet DURMUŞ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2024

ABSTRACT

Studies are limited in the field of QRA (Quantitative Risk Analysis), which bases the severity of accident scenarios for road dangerous goods transportation on the application of mathematical models and the use of frequencies corresponding to the estimation of the risk arising in a certain area. With QRA, more effective preparation and response can be provided for hazardous material transportation accidents that have serious effects on human, property and environmental health. In this thesis, it is aimed to propose a new methodology with QRA for road hazardous material transportation accidents.. For this purpose, a methodology was created that included the stages of data analysis, accident scenario determination and frequency estimation, accident impact modeling and risk maps. Data analysis was carried out through the analysis of dangerous goods transportation accidents that occurred in our country between 2020-2021, and location, atmospheric conditions, types of loss of containment, and types of dangerous goods and vehicles involved in the accidents were determined. Then, it was decided to carry out the application on 3 different routes in İzmir, where dangerous goods transportation accidents occur most frequently. Possible accident scenarios were created with Event Tree Analysis and accident frequencies were calculated for each accident location. The impact areas of the accident scenarios were determined through ALOHA Software and relevant correlations. First, individual risks were calculated at each accident point, and then social risk curves were obtained by taking environmental factors into consideration. The risks at each accident point were determined to be above the legislative threshold value. In this context, it has been revealed that precautions must be taken for effective preparation for emergencies and accidents. It is predicted that the proposed methodology, which provides objective and deterministic outputs, will make significant contributions to scientific studies, relevant practitioners and control providers.

Science Code : 90611
Key Words : Quantitative Risk Analysis (QRA), dangerous goods transportation, industrial accident
Page Number : 122
Supervisor : Prof. Dr. Saliha ÇETİNYOKUŞ

TEŞEKKÜR

Çalışma boyunca bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, çalışmaya kıymetli katkılarda bulunan değerli hocam ve danışmanım Prof. Dr. Saliha ÇETİNYOKUŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, çalışmam esnasında her türlü desteği sağlayan Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Haberleşme Genel Müdürlüğü'nde görevli mesai arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv
ABSTRACT v
TEŞEKKÜR vi
İÇİNDEKİLER vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ xi
RESİMLERİN LİSTESİ xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR xv
1. GİRİŞ 1
2. ÇALIŞMA KONUSU VE KAPSAMI 7
2.1. Tehlikeli Madde Taşımacılığı ve Karayolu taşımacılığı 7
2.2. İlgili Ulusal Mevzuat 8
2.3. İlgili Uluslararası Mevzuat 11
2.4. Tehlikeli Madde Taşımacılığı Kazalarına Yönelik Kaza Veri Tabanları 12
2.5. Tehlikeli Madde Taşımacılığı Kaza Örnekleri 16
2.5.1. Ülkemizde gerçekleşen tehlikeli madde taşımacılığı kazaları 17
2.5.2. Dünyada gerçekleşen tehlikeli madde taşımacılığı kazaları 18
2.6. Kaza Verilerinin İstatistiksel Analizi ve Değerlendirmesi 20
2.7. Tehlikeli Madde Taşımacılığına Yönelik Risk Analizi 23
2.7.1. Risk ve risk analizi 23
2.7.2. Kantitatif risk analizi (QRA) 26
2.7.3. Etkiler, sonuç analizi ve ALOHA yazılımı 32
2.7.4. Bireysel risk, sosyal risk ve risk haritaları 41
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 45

Sayfa

3.1. Karayolu Tehlikeli Madde Taşımacılığına Yönelik Kazaların, Kaza Verilerinin Değerlendirilmesi 45

3.2. Karayolu Tehlikeli Madde Taşımacılığına Yönelik Kazaların Risk Analizi ve Risk Değerlendirmesi..... 51

4. MATERYAL VE METOD 63

4.1. Karayolu Tehlikeli Madde Taşımacılığı Kazalarının İstatistiksel Değerlendirmesi..... 63

4.2. Pilot Uygulama Alanı Seçimi ve Kaza Senaryo Girdilerinin Belirlenmesi..... 64

4.3. Kantitatif Risk Analizi 64

5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ..... 71

5.1. Karayolu Tehlikeli Madde Taşımacılığı Kazalarının İstatistiksel Değerlendirmesi..... 71

5.2. Pilot Uygulama Alanı Seçimi ve Kaza Senaryo Girdilerinin Belirlenmesi..... 76

5.3. Kantitatif Risk Analizi 80

5.4. Bireysel ve Sosyal Risk Haritaları 102

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 109

KAYNAKLAR 113

EKLER..... 119

EK-1. Tehlikeli maddelerin karayolunda taşınmasina yönelik kaza veya olay raporu.. 120

ÖZGEÇMİŞ 122

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Tehlikeli madde sınıfları 11
Çizelge 2.2. TÜİK, Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri, 2023 14
Çizelge 2.3. Kaza oluş türleri 15
Çizelge 2.4. Domino etkisi olan BLEVE kazalarının genel kökeni 16
Çizelge 2.5. Domino etkisi ile BLEVE kazalarının spesifik kaynağı 17
Çizelge 2.6. Domino etkisi ile BLEVE kazalarına karışan maddeler 17
Çizelge 2.7. Kazaların genel nedenler 17
Çizelge 2.8. Tehlike dereceleri 26
Çizelge 2.9. Örnek bir risk endeksi hesaplaması 26
Çizelge 2.10. Sonuç kategorileri 27
Çizelge 2.11. Olasılık kategorileri 27
Çizelge 2.12. Değerlendirme kriterleri 28
Çizelge 3.1. Kazaların, kaza verilerinin değerlendirilmesi literatür özet çizelgesi 47
Çizelge 3.2. Kazaların risk analizi ve risk değerlendirmesi literatür özet çizelgesi 56
Çizelge 5.1. Tehlikeli madde taşımacılığının en çok yapıldığı güzergâhlar 71
Çizelge 5.2. Bazı illerden ve ilçelerden yapılan taşıma adetleri 71
Çizelge 5.3. Tehlikeli madde taşımacılığında kullanılan araç türleri 72
Çizelge 5.4. Kaza veya olayların yıllara ve aylara göre dağılımı 73
Çizelge 5.5. Muhafaza yöntemine göre kaza veya olayların dağılımı 74
Çizelge 5.6. Muhafaza yöntemi arıza türlerine göre kaza veya olayların dağılımı 74
Çizelge 5.7. Saat aralığına göre kaza ve olayların dağılımı 75
Çizelge 5.8. Kaza veya olaylarda taşınan yüklerin UN No. ve sınıflarına göre dağılımı. 76
Çizelge 5.9. Kaza veya olayların olduğu ilk 10 il 76
Çizelge 5.10. İzmir ilindeki kaza veya olaylara ait bilgiler 78
Çizelge 5.11. QRA'de dikkate alınacak tehlikeli maddeler 80

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 5.12. Başlatıcı olay frekans tahminine yönelik veriler 81

Çizelge 5.13. Seçilen kaza noktaları için başlatıcı olay frekans değerleri..... 81

Çizelge 5.14. Tehlikeli kimyasalları taşıyan araçlardaki ekipman spesifikasyonları 81

Çizelge 5.15. Kimyasalların hesaplamalara esas olasılık değerleri 86

Çizelge 5.16. Her bir kaza noktası için kaza olasılıkları..... 86

Çizelge 5.17. Her bir kaza senaryosu frekans değerleri..... 91

Çizelge 5.18. Benzin veya Dizel yakıtları taşıyan bir araçta trafik kazası sonucu bir sızıntı oluşması halinde havuz yangını maksimum çapları 92

Çizelge 5.19. Atmosferik koşullar 94

Çizelge 5.20. ALOHA'dan elde edilen tüm etki mesafeleri..... 101

Çizelge 5.21. ALOHA'dan elde edilen parametre değerleri..... 101

Çizelge 5.22. LNG ve LPG kimyasallarının dahil olduğu kaza senaryoları..... 103

Çizelge 5.23. Bireysel riskler..... 103

Çizelge 5.24. KAZA1 noktasındaki hesaplanan kümülatif frekans değerleri 106

Çizelge 5.25. KAZA2 noktasındaki hesaplanan kümülatif frekans değerleri 106

Çizelge 5.26. KAZA3 noktasındaki hesaplanan kümülatif frekans değerleri 106

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Türkiye'de ulaşım türlerine göre yurtiçi yolcu ve yük taşıma oranları 7

Şekil 2.2. Yük ve yolcu taşıma miktarları..... 7

Şekil 2.3. Yük türleri dağılımı 8

Şekil 2.4. Tehlike işaretleri 12

Şekil 2.5. Turuncu levha örneği..... 12

Şekil 2.6. 3 boyutlu grafik örneği 22

Şekil 2.7. Risk analizi adımları..... 25

Şekil 2.8. Örnek risk matrisi 27

Şekil 2.9. Kantitatif risk analizi aşamaları 29

Şekil 2.10. Yangın kazası türleri..... 30

Şekil 2.11. Patlama türleri..... 31

Şekil 2.12. Rüzgar yön değişimlerinin gösterimi..... 37

Şekil 2.13. Sokak kanyonlarındaki rüzgar yönündeki değişimleri 37

Şekil 2.14. Örnek bir f-N eğrisi 44

Şekil 4.1. Örnek olay ağacı..... 64

Şekil 4.2. Nokta Kaynağı Modeli 69

Şekil 5.1. Her bir kaza noktasında LNG' ye ait olay ağaçlarının ayrı ayrı gösterimi 87

Şekil 5.2. Her bir kaza noktasında LPG'ye ait olay ağaçlarının ayrı ayrı gösterimi..... 88

Şekil 5.3. Her bir kaza noktasında Benzine ait olay ağaçlarının ayrı ayrı gösterimi..... 89

Şekil 5.4. Her bir kaza noktasında Dizele ait olay ağaçlarının ayrı ayrı gösterimi..... 90

Şekil 5.5. LNG ve LPG kimyasallarının dahil olduğu seçilen kazalara ilişkin tüm etki mesafelerinin şematik gösterimi..... 102

Şekil 5.6. LNG ve LPG kimyasallarının dahil olduğu KAZA1 noktasındaki tüm etki mesafeleri içerisinde kalan nüfusun şematik gösterimi..... 104

Şekil **Sayfa**

Şekil 5.7. LNG ve LPG kimyasallarının dahil olduğu KAZA2 noktasındaki tüm etki mesafeleri içerisinde kalan nüfusun şematik gösterimi 105

Şekil 5.8. LNG ve LPG kimyasallarının dahil olduğu KAZA3 noktasındaki tüm etki mesafeleri içerisinde kalan nüfusun şematik gösterimi 105

Şekil 5.9. KAZA1 noktasındaki f-N eğrisi 107

Şekil 5.10. KAZA2 noktasındaki f-N eğrisi 107

Şekil 5.11. KAZA3 noktasındaki f-N eğrisi 107

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 2.1. Diyarbakır Lice'de meydana gelen kazaya ait bir görüntü 18

Resim 2.2. Aeroporto di Bologna-Guglielmo Marconi kazasına ait görüntü 19

Resim 2.3. Ahmedpur Sharqia petrol tankeri kazasına ait görüntü 20

Resim 2.4. STATISTICA'ya ait bir görüntü 21

Resim 2.5. MATLAB uygulaması 23

Resim 2.6. Örnek bir tehdit bölgesi gösterimi 35

Resim 2.7. Kimyasal seçimi 38

Resim 2.8. Phast Yazılımı ekran görüntüsü 39

Resim 2.9. GEXON- EFFECTS ekran görüntüsü 40

Resim 2.10. FLACS- CFD'ye ait görüntü 40

Resim 5.1. Kazaların lokasyonlarının Google Earth üzerindeki gösterimi 79

Resim 5.2. Aliağa ve Biga arasındaki güzergâh 80

Resim 5.3. LPG'ye ait Tutuşma Olasılığı Hesaplama Modülüne parametre girişi ekran görüntüleri 82

Resim 5.4. LNG'ye ait Tutuşma Olasılığı Hesaplama Modülüne parametre girişi ekran görüntüleri 83

Resim 5.5. Dizele ait Tutuşma Olasılığı Hesaplama Modülüne parametre girişi ekran görüntüleri 84

Resim 5.6. Benzine ait Tutuşma Olasılığı Hesaplama Modülüne parametre girişi ekran görüntüleri 85

Resim 5.7. KAZA1 noktasında Benzin ve Dizel sızıntısı kaynaklı havuz yangını çaplarının gösterimi 92

Resim 5.8. KAZA2 noktasında Benzin ve Dizel sızıntısı kaynaklı havuz yangını çaplarının gösterimi 93

Resim 5.9. KAZA3 noktasında Benzin ve Dizel sızıntısı kaynaklı havuz yangını çaplarının gösterimi 93

Resim 5.10. Atmosferik özellikler 95

Resim 5.11. Tank özellikleri 95

Resim **Sayfa**

Resim 5.12. Kayba neden olan hatanın özellikleri 95

Resim 5.13. LPG için jet yangının etki mesafelerinin ALOHA'da gösterimi 96

Resim 5.14. LPG için buhar bulutunun etki mesafelerinin ALOHA'da gösterimi 96

Resim 5.15. LPG için BLEVE etki mesafelerinin ALOHA'da gösterimi 96

Resim 5.16. LPG için Jet yangını, Buhar bulutu ve BLEVE etki mesafelerinin KAZA1 noktasında Marplot'da gösterimi 97

Resim 5.17. LPG için Jet yangını, Buhar bulutu ve BLEVE etki mesafelerinin KAZA2 noktasında Marplot'da gösterimi 98

Resim 5.18. LPG için Jet yangını, Buhar bulutu ve BLEVE etki mesafelerinin KAZA3 noktasında Marplot'da gösterimi 98

Resim 5.19. LNG için buhar bulutunun etki mesafelerinin ALOHA'da gösterimi 99

Resim 5.20. LNG için jet yangını etki mesafelerinin ALOHA'da gösterimi..... 99

Resim 5.21. LNG için buhar bulutu ve jet yangının KAZA1 noktasındaki etki mesafelerinin Marplot'da gösterimi 100

Resim 5.22. LNG için buhar bulutu ve jet yangının KAZA2 noktasındaki etki mesafelerinin Marplot'da gösterimi 100

Resim 5.23. LNG için buhar bulutu ve jet yangının KAZA3 noktasındaki etki mesafelerinin Marplot'da gösterimi 101

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
ΔH_c	Yanma ısısı
^0C	Celcius cinsinden sıcaklık birimi
C_p	Sabit basınçta özgül ısı (kJ/(kgK))
D	Havuz çapı
D_{max}	Havuzun ulaşabileceği maksimum çap
d	Alevin yüzeyi ile hedef arasındaki mesafe
D'	Rüzgar yönündeki havuz çapı
d_0	Alev yüzeyi
E	Emisivite
e	Sabit
Ɛ	Nesnenin renk ve yüzey yapısına bağlı olan bir katsayı
f_i	Kaza senaryosu i'nin ($yıl^{-1}$) sıklığı
ft	Başlatıcı olay frekansı ($yıl^{-1}$)
g	Yer çekimi ivmesi (ms^{-2})
H_R	atmosferin bağıl nemi
I	Termal akı (kW/m^2)
I_0	W/m2'de birey için başlangıç konumundaki I'nin değeri
IR_{av}	Ortalama bireysel risk ($yıl^{-1}$)
$IR_{x,y,i}$	Kaza senaryosu i kapsamında x, y coğrafi konumunda bireysel ölüm riskidir (yıl-1 başına ölüm olasılığı)
i	Darbe
k	kW/(mK) cinsinden ortalama sıcaklıktaki termal iletkenliktir
K	Kelvin
kg	Kilogram
km	Kilometre

Simgeler	Açıklamalar
kW	Kilowatt
L	Litre
L	toplam hat uzunluğu (m)
l	segment uzunluğu(m)
l_p	nokta kaynağı
m	operasyon süresi ve sayısı
m	Metre
M	Moleküler ağırlık
m/s	Hız Birimi
m^2	Metrekare
mm	Milimetre
n	Analizde dikkate alınan toplam kaza senaryosu sayısı
N	kaza sıklığı(kaza/yıl)
N_I	Yaralı insan sayısı
N_K	Bir kazadaki ölüm sayısı
P	Olasılık
P	Basınç
P_b	Operatör müdahalesine dayalı bariyer olasılığı
P_{fi}	kaza senaryosu i'nin x,y konumunda bir ölümle sonuçlanma olasılığı
P_r	Yansıma basıncı
$P_{sonuç\ i}$	i kaza senaryosuna yol açan olaylar dizisinin genel olasılığı
P_w	Havadaki suyun kısmi basıncı (Nm^{-2})
P_{wa}	Atmosferik sıcaklıktaki doymuş su buharı basıncı ($Nm-^{2}$)
$p_{x,y}$	x, y konumundaki kişi sayısı
Q_r	Birim zaman (kW) başına termal radyasyon olarak salınan ısı
sn	Saniye
t	(etkili) maruz kalma süresi

Simgeler	Açıklamalar
t	sefer süresi
T	Sıcaklık
T_a	ortam sıcaklığı (K)
T_0	Malzemenin ilk sıcaklığı
T_a	Ortam sıcaklığı
T_{fl}	Alevin radyasyon sıcaklığı
T_{ig}	Katı yüzey tutuşma sıcaklığı
t_{ig}	Ateşleme süresi
t_{max}	maksimum çapa ulaşmak için gereken süre
u_w	Rüzgar hızı (m/s)
V_1	Dökülen sıvının toplam hacmi
W_m	Parçanın kütlesidir
y	Yakıt yanma hızı (ms^{-1})
z	sefer sayısı
ΔP	Aşırı basınç
μ	Ortalama
ρ	Malzemenin yoğunluğu (kg/m^3)
σ	Stefan-Boltzmann sabiti
φ	Alıcı yüzeye dik düzlem ile çizginin arasındaki açı
η_{rad}	Radyasyon fraksiyonu
τ	Atmosferik geçirgenlik

Kısaltmalar	Açıklamalar
ADR	Tehlikeli malların karayolu ile uluslararası taşımacılığına ilişkin anlaşması
ABD EPA	Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı Kimyasal Acil Durum Hazırlık ve Önleme Ofisi
ADB	Asya Kalkınma Bankası
ADR SaS	ADR güvenlik sistemi

Kısaltmalar	Açıklamalar
ALOHA	Tehlikeli atmosferlerin alansal konumları
APRSO	Asya pasifik yol güvenliği gözlemevi
ARDD	Avusturalya yol ölümleri veritabanı
ARİA	Kazalara ilişkin analiz, araştırma ve bilgiler
BI	İş zekası
BLEVE	Kaynayan sıvı genleşen buhar patlaması
CCPS	Kimyasal proses güvenliği merkezi
CFD	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
DB	Domino etki alanı
DGTC	Tehlikeli madde taşımacılığı zinciri
FACTS	Arıza ve kazalar teknik bilgi sistemi
FIA	Uluslararası Otomobil Federasyonu
FMEA	Hata türleri ve etki analizi
GPS	Küresel konumlama sistemi
HAZOP	Tehlike ve çalışabilirlik
HSE	Birleşik Krallık Sağlık ve Güvenlik İdaresi
IATA-DGR	Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği Tehlikeli Yük Mevzuatı
IBC	Orta boy hacimli konteyner
IMDG Kodu	Deniz yoluyla taşınan tehlikeli yüklere ilişkin uluslararası kod
IRAD	Entegre karayolu kazaları veritabanı
IRTAD	Uluslararası karayolu trafiği ve kaza veri tabanı
ITF	Uluslararası Taşımacılık Forumu
İSG	İş sağlığı ve güvenliği
JHA	Karayolu petrol taşıtlarının iş tehlikesi analizi
LEL	Alt patlama sınırı

Kısaltmalar	Açıklamalar
LFL	Alt yanma sınırı
LNG	Sıvılaştırılmış doğalgaz
LPG	Likit petrol gazı
MARS	Büyük kaza raporlama sistemi
MB	Müdahale bölgesi
MHIDAS	Major Hazard Incident Data Service
ML	Makine öğrenmesi
NCSA	Ulusal İstatistik ve Analiz Merkezi
NHTSA	Ulusal Karayolu Trafik Güvenliği İdaresİ
PETKİM	Petrokimya Holding Anonim Şirketi
PODI	Gecikmeli tutuşma olasılığı
POEGDI	Gecikmeli tutuşma sonucu patlama olasılığı
POII	Ani tutuşma olasılığı
QRA	Kantitatif risk analizi
QRAM	Kantitatif risk değerlendirme modeli
RID	Tehlikeli malların demiryolu ile uluslararası taşınmasına ilişkin kural
SRC 5	Tehlikeli mal taşımacılığı sürücü eğitimi sertifikası
SRCF)S	Güvenlik riskine katkıda bulunan faktörler
TCDD	Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları İşletmesi Genel Müdürlüğü
TMGD	Tehlikeli madde güvenlik danışmanı
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
TÜPRAŞ	Türkiye Petrol Rafinerileri Anonim Şirketi
UB	Uyarı bölgesi
U-ETDS	Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Ulaştırma Elektronik Takip ve Denetim Sistemi

Kısaltmalar	Açıklamalar
UN	Birleşmiş Milletler
UN No.	Birleşmiş Milletler örnek düzenlemelerinden alınmış dört basamaklı tanımlama numarası
VCE	Buhar Bulutu Patlamaları

1. GİRİŞ

Ülkemizde yük taşımacılığında en fazla tercih edilen ulaşım türü karayolu olup, yurtiçi yük taşımacılığının; 2019 yılında 89,22'si [1], 2020 yılında % 88,3'ü [2] ve 2021 yılında %89,4'ü [3], karayolu ile yapılmıştır. Karayolları ile yapılan yük taşımacılığı 2019 yılında 268 milyar ton-km'ye [1] ve 2020 yılında 273 milyar ton-km'ye [2] ulaşmıştır. Bu hesaplamanın içerisinde tehlikeli madde olarak tabir edilen ürünler de bulunmakta olup miktarı bilinmemektedir. TLMP Yük Taşımacılığı Anketleri ile Yük cinsleri dağılımının tespiti amacıyla yapılan etütlerde Avrupa Birliği'nin kullandığı ulaştırma istatistikleri için standart mal sınıflaması dikkate alınarak 17 yük gurubuna göre toplanan veriler 12 yük grubuna indirgenerek analizler gerçekleştirilmiştir. Bu yük grupları içerisinde tehlikeli madde özelliğine sahip olabileceği düşünülen Kimyasal Maddeler ve Plastik grubunun payı %5,86 olarak hesaplanmıştır [4].

4925 sayılı "Karayolu Taşıma Kanunu" [5], "Karayolu Taşıma Yönetmeliği" [6] ve "Karayolu Taşımacılık Faaliyetleri Mesleki Yeterlilik Eğitimi Yönetmeliği" [7] gereği yük ve eşya taşımacılığı faaliyetlerinde bulunan gerçek veya tüzel kişilerin Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığının ilgili hizmet birimlerinden iştigal konularına göre uygun yetki belgesi almaları ve taşımacılık faaliyetlerinde kullanılacak araçlarını da bu yetki belgeleri eki olan taşıt listelerine kayıt ettirmek zorundadır. Ayrıca, sürücüler veya taşımacılık faaliyetlerinde çalışan diğer kişilerin ilgili mesleki yeterlilik belgesi alması gerekmektedir. Bu da tehlikeli madde taşımacılığında çalışan kişilerin ve araçların sayılarının bilinmesini sağlamaktadır. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığınca Ulaştırma Elektronik Takip ve Denetim Sistemi (U-ETDS) oluşturulmuş ve taşımacıların gönderen ve alıcının unvanları, adresleri, iletişim bilgileri, eşyanın cinsi, miktarı, teslim alma ve teslim edilme yerleri, taşıma süresi, taşıma ücreti, taşımacının vergi kimlik numarasının (gerçek kişilerde T.C. kimlik numarası) belirtilmesi, taşıma irsaliyesinde ise; malın cinsi, miktarı, kimin tarafından tevdi edildiği, nereye ve kime gönderildiği ile alınan nakliye ücreti tutarı, sürücünün ad ve soyadı, taşıtın plakası, seri ve müteselsil sıra numarası ve düzenleme tarihini bu sisteme işleme zorunluluğu getirilmiştir. Bu sistemin hayata geçmesiyle birlikte taşınan tehlikeli maddelerin neler olduğu ve miktarı ile nereden nereye taşındığına dair bilgiler temin edilebilecektir. Yine, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığınca inşa edilen Yol Kenarı Denetim İstasyonları ve ön ihbar sistemleri ile karayolları üzerinde belli noktalarda ticari faaliyetlerde bulunan araçlar denetime tabi tutulmaktadır. Ancak, buralarda hareketli tartım yapıldığı için sadece ağırlık

ve boyutları ilgili mevzuatta izin verilen ölçülerin dışında kalan araçlar hakkında cezai işlem uygulanmakta olup; taşınan yük hakkında herhangi bir bilgi kayıt edilmemektedir. Tehlikeli maddelerin karayolu ile taşınması, 4925 sayılı "Karayolu Taşıma Kanunu" [5], "Karayolu Taşıma Yönetmeliği" [6], "Karayolu Taşımacılık Faaliyetleri Mesleki Yeterlilik Eğitimi Yönetmeliği" [7], Tehlikeli Maddelerin Karayoluyla Taşınması Hakkında Yönetmelik [8], "Tehlikeli Madde Taşıyan Araç ve Üst Yapıların Teknik Muayeneleri Hakkında Yönetmelik" [9], hükümlerine ve Tehlikeli Malların Karayolu ile Uluslararası Taşımacılığına İlişkin Anlaşması (ADR) [10] ile 2918 Sayılı Karayolları Trafik Kanunu [11] ve Karayolları Trafik Yönetmeliği [12] hükümlerine de uygun olmak zorundadır.

Ülkemizde her yıl 1 Milyon civarında trafik kazası olmaktadır. 2020 yılında 150 000 [13], 2021 yılında 188 000 [14], 2022 yılında 197 000 [15] ve 2023 yılında 235 000 [16] civarında kaza ölümle veya yaralanmaya sonuçlanmıştır. Ancak, tehlike madde taşıyan araçların kaza sayılarına etkileri bilinmemektedir. Benzer şekilde, trafik kaza istatistiklerinden [16,19] kazaya dahil taşınan tehlikeli maddelerin neden olduğu patlama, yangın ve toksik yayılım fiziksel veya kimyasal olayların envanterinin oluşturulmadığı görülmüştür. Tehlikeli maddelerin karayolu ile taşınması esnasında nüfusun yoğun olduğu bölgelerden geçişlerde, trafik yoğunluğunun, araçların teknik durumunun, sürücülerin hataları ya da bilgisizliğinin ve yasal düzenlemelere uyulmamasının ulaşım sektöründe olası aksaklıklara yol açabilecek etkenler olduğu ve tehlike seviyesini artırdığı belirlenmiştir [19,20]. Tehlikeli madde taşımacılığı kazaları, insan sağlığına ve çevreye zarar veren tehlikeli gazların veya sıvıların kontrolsüz bir şekilde salınmasına neden olabilmektedir [22-24].

Tehlikeli madde taşımacılığında risk değerlendirmesi için kullanılan farklı risk tanımlamaları mevcuttur. Bu tanımlamalardan bazıları olay olasılıklarını ya da olayların sonuçlarını dikkate alırken, bazıları ise etki alanı içindeki insanların sayısını dikkate almaktadır. Glickman vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada, geleneksel risk modeliyle uyumlu demir yolu risk modeli temel alınarak geliştirilen metodoloji bazı değişikliklerle Türkiye'ye uyarlanmıştır [25]. Tehlikeli madde taşımacılığı sırasında meydana gelebilecek potansiyel otuz beş risk faktörü, insan faktörü, şirket faktörü, malzeme ve ambalajlama, aracın durumu, çevre ve trafik faktörü olmak üzere beş ana faktör altında sınıflandırılmıştır [26].

Yarı Kantitatif risk değerlendirme yönteminin uygulanması ile tehlikeli maddelerin karayolunda taşınması sırasında operasyonel risklerin seviyelerine göre kabul edilebilir, tolere edilebilir ve kabul edilemez ayrımı yapılabilmektedir [27]. Gerçek zamanlı veriler (trafik akışları, meteorolojik koşullar, vb.) kullanılarak yapılan bir risk analizi çalışmasında, topluma ve taşımacılıkta görev alan personele daha yüksek düzeyde güvenlik sağlayabilecek ilgili bir ön araç geliştirilmesi amaçlanmış ve Coğrafi Bilgi Sistemi (GPS) ile bağlantılı bir çevrimiçi platform aracılığıyla, gerçek zamanlı veri toplama ve gerçek zamanlı risk değerlendirmesi ile bir risk yönetimi sürecinin tamamen dijitalleştirilmesi sağlanmıştır. Seçilen iki güzergâh için tüm kritik parametreler dikkate alınarak risk analizi yapılmıştır. Yıllık istatistiksel veriler ve "simüle edilmiş" gerçek zamanlı veriler üzerinden Kantitatif Risk Değerlendirme Modeli gerçekleştirilmiştir [28].

Şanghay'daki tehlikeli madde taşımacılığı ile ilgili verilerle, olası kaza senaryoları, kaza süresi, rüzgar hızı, kazaya karışan araç sayısı, sızıntı deliği boyutu, tehlikeli madde kamyon sürücüsünün etkisiz hale getirdiği yaralanma/ölüm ve zehirli gaza maruz kalma süresi dahil olmak üzere altı ara olaydan oluşan bir olay ağacı ile tanımlanarak Kantitatif Risk Değerlendirmesi yapılmıştır. Zehirli gaz salınımı sonucunda tehdidi altındaki alanın doğru bir şekilde tahmin edilmesi ve karayolunda tehlikeli madde taşımacılığı kazalarını önlemesi ve kontrol edilebilmesi için etkili karşı önlemler alınabilmesine yönelik tehlikeli madde taşımacılığı kazalarının sonuçlarını değerlendirmede güvenli ve düşük maliyetli bir yöntem olması ve tehdit alanını tahmin etme kabiliyeti nedeniyle bu çalışmada ALOHA yazılımı uygulanmıştır [29].

Tehlikeli maddelerin karayolu taşımacılığındaki en önemli faktörlerin araç tipi ve güvenlik koşulları olduğu belirtilmiştir [30]. Tehlikeli maddelerin taşınması sırasında meydana gelebilecek 4 farklı senaryo belirlenmiş ve kalitatif risk analizi teknikleri arasında yer alan Hata Ağacı Analizi yardımıyla süreç değerlendirmeleri yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda, senaryolar kapsamındaki hatalı olaylar/davranışlar doğrultusunda halk sağlığının ve çevresel sürdürülebilirliğin desteklenmesine yönelik çözüm önerileri sunulmuştur [31].

Tehlikeli maddelerin karayolu ile taşınmasının özel düzenlemelere göre yapılması gerekmektedir. Tehlikeli Malların Karayoluyla Uluslararası Taşımacılığına İlişkin Avrupa Anlaşması (ADR), bir kaza durumunda söz konusu malların tehlikeli özelliklerinin ekosistemler üzerindeki olumsuz etkilerini önlemeye veya azaltmaya yönelik belirli

önlemler sağlar. Bununla birlikte, çevresel tehlike türlerine ve sonuç olarak ilgili taşıma koşullarına göre kargo sınıflandırmasına ve ayrıca taşıma sürecinin güvenliğini sağlamak için personel eğitimine özel önem vermektedir [32]. Birden fazla tehlikeli madde türünün taşıma sürecindeki risklerin yanı sıra eksojen (dış kaynaklı) kaynaklardan diğer temel riskler de dahil olmak üzere çeşitli eşzamanlı rotalar boyunca dağıtılması gerektiğinde, riskin mekânsal dağılımına eşitlik kavramını dahil etmek için bir metodoloji geliştirilmeye çalışılmıştır. Sonuç modelleme yaklaşımı, riskin doldurulan bölgeler arasında adil bir şekilde dağıtılmasına izin veren ve toplam risk düzeyini sosyal olarak kabul edilebilir bir eşiğin altında kısıtlayan esnek bir doğrusal kısıtlama kümesini içeren doğrusal kesirli bir programlama modelidir. Bu modelleme, iki varsayımsal örneğe ve Santiago, Şili'deki gerçek bir vakaya uygulanmıştır [33].

Tehlikeli maddelerin taşınmasında trafik kazası olasılığının hesaplanmasında “bant” modeli kullanılmıştır. Risk değerlendirmesine yönelik bu yeni yaklaşım hem planlanan hem de mevcut güzergâhlarda insan faktörü, tehlikeli madde sınıfı, olası senaryoların etkisi ve taşıma güvenliği üzerindeki riskleri dikkate alarak risk değişkenliğini tahmin etmek için yararlı bulunmuştur [22]. Tehlikeli maddelerin taşınmasında risk yönetimi, taşıma sırasında güvenlik ve emniyetin sağlanması için elzem ve gerekli bir koşul olup; yönetilebilmesi ve buna bağlı olarak güvenli seviyelere indirilebilmesi için tehlikeli maddelerin taşınması sırasında çeşitli aşamalarda oluşabilecek her türlü tehlikenin analiz edilmesi gerekmektedir. Risk yönetimi prosedürünün ana aşamaları risk analizi, risk değerlendirmesi ve risk azaltmadır. Örnek bir karayolu kazası olasılığı, tehlikeli maddelerin çevreye yayılım, patlama veya yangın olasılığı ile çeşitli formüller üzerinden analiz edilmiştir [34].

Tehlikeli maddelerin taşınması sırasında her bağlantının zarar görebilirliğini değerlendirmek için tehlikeli maddelerin karayolu ulaşım ağının kantitatif bir zarar görebilirlik analizi geliştirilmiştir. Karayolu ulaşım ağı topolojisi ve tehlikeli maddelerin karayolu ulaşım riski özelliklerinin kapsamlı analizine dayanarak iki bağlantı arasındaki alaka düzeyini ölçmek ve tehlikeli maddelerin karayolu taşımacılığı zarar görebilirliğini değerlendirmek için bir Darbe dayanımı modeli geliştirilmiştir. Bu model klasik Gravity modeline dayanmaktadır. Guangzhou'nun tehlikeli maddelerin karayolu ulaşımı ele alınmıştır [35]. Tehlikeli maddelerin işlenmesinden kaynaklanan riskteki azaltmada (kaza olasılığı ve olası sonuçlar) karar vericileri en yeterli stratejik, taktik ve operasyonel çözümleri bulmada destekleyen Karar Destek Sistemleri (DSS) olarak adlandırılan Karar Destek Sistemleri (DSS)

geliştirilmiş ve son 15 yılda geliştirilen en popüler altı sistem hakkında bir inceleme yapılmıştır [36].

Diyarbakır-Bingöl karayolu Lice'de LPG tankerinde meydana gelen patlamanın neden olduğu yangın felaketini sunmak, bir acil servisin karşı karşıya olduğu çeşitli zorlukları ve hasta gruplarını belirlemek ve benzer afetler için daha etkin müdahalelerin tartışılmasını amaçlanmış ve hasta bilgilerini hastane kayıt sistemleri, Sağlık Bakanlığı Kriz masası bilgileri ve medya kullanılarak elde etmişler ve istatistiksel analizini SPSS 18.0 (Statistical Package for Social Science) yazılımı kullanılarak yapılmıştır [37].

MHIDAS (Major Hazard Incident Data Service), Kazalara İlişkin Analiz, Araştırma ve Bilgiler (MHIDAS (Major Hazard Incident Data Service), Kazalara İlişkin Analiz, Araştırma ve Bilgiler (ARIA), Büyük Kaza Raporlama Sistemi (MARS) ve Arıza ve Kazalar Teknik Bilgi Sistemi (FACTS)'de verileri bulunan [38] 202 BLEVE kazasından oluşan en büyük BLEVE kazası örnekleri üzerinde tarihsel bir araştırma yapılmasını [38], domino etkisi içeren 127 BLEVE kazasının analizinin yapılması [39] amaçlanmıştır. BLEVE ile ilişkili en yaygın maddenin LPG, en yaygın faaliyetlerin taşıma, depolama ve işleme tesisleri ve transfer (yükleme/boşaltma) olduğu [38], Domino etkisi dizisinde yangınların ilk olay olduğunu, BLEVE kazalarında, vakaların yaklaşık %70'inde ilk olayın yangın olduğu, BLEVE'nin 1 dakika ile 1 saatten fazla sürebileceği tespit edilmiştir [39].

6 Ağustos 2018 tarihinde, İtalya'nın Bologna kentindeki Aeroporto di Bologna-Guglielmo Marconi havaalanına giden otoyolda meydana gelen LPG tank römorkunun kazasında LPG dağılımını ve patlamayı tetiklediğini göstermeyi amaçlanmıştır. Buhar bulutu patlamaları (VCE) veya BLEVE senaryolarından sıcaklık, alev hızı ve patlayıcı aşırı basıncın sayısal simülasyonları için FLACS yazılımı kullanmıştır. LPG tankerlerinin basınçlı kaplarında meydana gelen arızanın kaza nedeni olduğu, buhar bulutu patlaması (VCE) sonucunda sürekli salınımın patlamaya neden olduğu şok dalgasının oluşturduğu aşırı basıncın ve ateş topundan gelen termal dağılımın kaza mahallinden farklı yönlere yayıldığını ve çok büyük hasarların olduğunu tespit etmiştir [41].

Viareggio LPG kazasının, tehlikeli madde taşımacılığı bakımından kantitatif risk analizi yapılmıştır. Ciddi senaryolar nedeniyle riski kontrol etmek için güvenlik bariyerlerinin kullanılması ve bu bariyerlerin detaylı tasarımı yapılırken CFD modelleri kullanılması

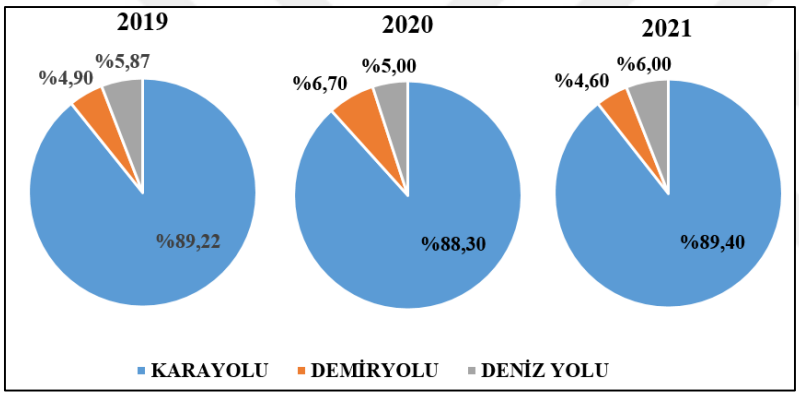
tavsiye edilmiştir [42]. Pakistan'ın Ahmedpur Sharqia kasabası yakınlarında 25 Haziran 2017 tarihinde meydana gelen kaza koşullarını ve felakete katkıda bulunan olaylar dizisinin soruşturma, sürücü, araç tasarımı, yol tasarımı, döküntü ve polis yönetimi dahil ayrıntılı bir analiz yapılmasını amaçlanmıştır. Olay yerinde yanan tankerin enkazı incelenerek kazanın şeklini belirlendi. Tankın yapısal özellikleri, bölgedeki tüm polis araçlarının GPS veri kayıtlarını, zaman damgaları ve güneş konumları için görgü tanıklarından alınan resimler ve videolar inceleyerek bir olaylar dizisi ve bir Haddons matrisi oluşturulmuştur. Kazanın ilk nedeninin sürücünün direksiyon başında uyumasına bağlı olarak domino etkisini takip eden tam bir sistem arızası olduğunu, tankın yeterli teknik donanıma sahip olmadığını tespit etmiştir [43].

Bu tez çalışmasında, karayolu tehlikeli madde taşımacılığına yönelik kaza senaryolarının sonuçlarını belirlemek için matematiksel modellerin uygulanmasına ve belirli bir alanda ortaya çıkan riski tahmin etmek için karşılık gelen frekansların kullanımına dayanan QRA(Kantitatif Risk Analizi) yapılarak veri analizi, kaza senaryosu belirleme ve frekans tahmini, kaza etki modellemesi ve risk haritalarına dayanan yeni bir metodoloji önerisi getirilmiştir. Önerilen metodolojinin pilot bir alanda saha uygulaması da yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda, tehlikeli maddelerin karayolu ile taşınması esnasında yaşanabilecek kaza veya olaylarda yaşanacak olası can ve mal kayıplarının önceden tahmin edilerek hesaplanabilmesinin ve tehlikeli maddelerin karayolu ile taşınması esnasında yaşanacak kaza veya olayların önlenmesine yönelik alınacak önlemleri ile kayıpların önlenebileceğinin mümkün olduğunun gösterilmesi amaçlanmıştır.

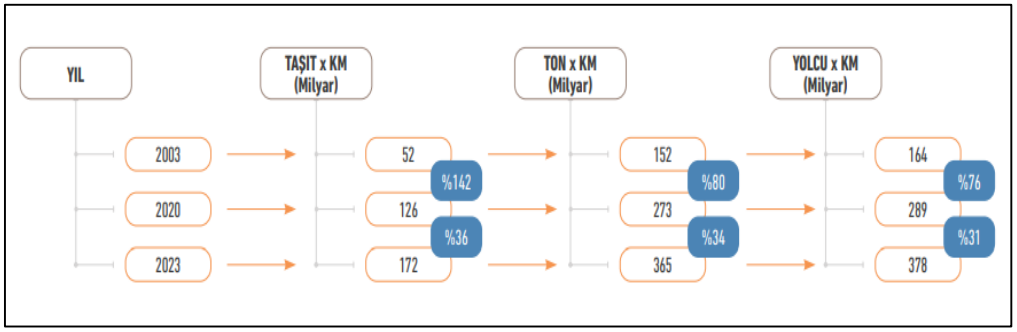
2. ÇALIŞMA KONUSU VE KAPSAMI

2.1. Tehlikeli Madde Taşımacılığı ve Karayolu taşımacılığı

Ülkemizde yük taşımacılığında en fazla tercih edilen ulaşım türü karayolu olup, yurtiçi yük taşımacılığının; 2019 yılında 89,22'si [1], 2020 yılında % 88,3'ü [2] ve 2021 yılında %89,4'ü [3], karayolu ile yapılmıştır. Karayolları ile yapılan yük taşımacılığı 2019 yılında 268 milyar ton-km'ye [1] ve 2020 yılında 273 milyar ton-km'ye [2] ulaşmıştır. 2020 yılında yapılan yük taşımacılığı 273 milyar ton-km'ye ve gerçekleşen toplam yol kullanımı 126 milyar taşıt-km'ye ulaşmıştır. 2003-2020 yılları arasında taşıt-km değeri toplam %142, ton-km değeri %80 ve yolcu-km değeri %76'lık bir artış göstermiştir [2] (Şekil 2.2).



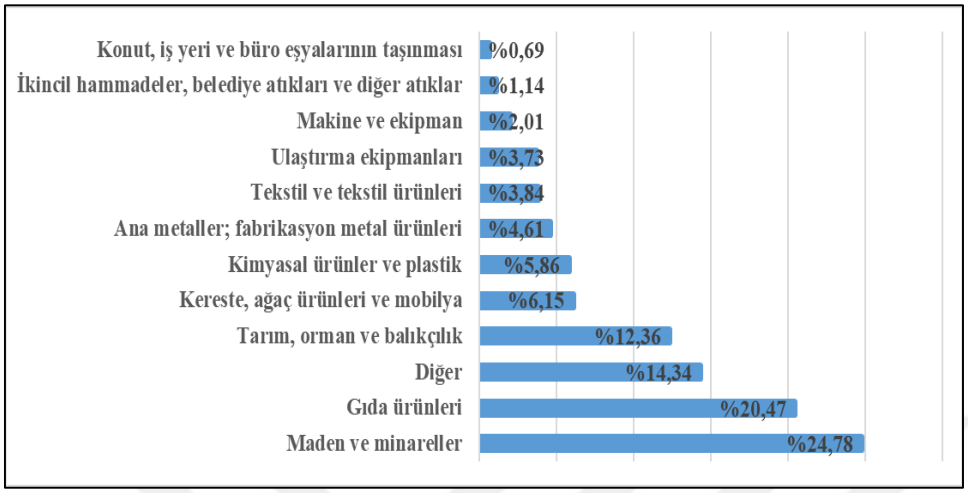
Şekil 2.1. Türkiye'de ulaşım türlerine göre yurtiçi yolcu ve yük taşıma oranları



Şekil 2.2. Yük ve yolcu taşıma miktarları [2]

Yük cinsleri dağılımının tespiti amacıyla etütlerde Avrupa Birliği'nin kullandığı ulaştırma istatistikleri için standart mal sınıflaması dikkate alınarak 17 yük gurubuna göre toplanan veriler 12 yük grubuna indirgenerek analizler gerçekleştirilmiştir [4]. Bu analiz sonuçları Şekil 2.3'de yer verilmiştir. Bu yük grupları içerisinde tehlikeli madde özelliğine sahip

olabileceği düşünülen Kimyasal Maddeler ve Plastik grubunun payı %5,86 olarak hesaplanmıştır [4].



Şekil 2.3. Yük türleri dağılımı [4]

2.2. İlgili Ulusal Mevzuat

Ülkemizde karayolu ile tehlikeli maddelerin taşımacılığı:

i. 4925 Sayılı Karayolu Taşıma Kanunu,
ii. 2918 Sayılı Karayolları Trafik Kanunu,
iii. Karayolu Taşıma Yönetmeliği,
iv. Karayolları Trafik Yönetmeliği,
v. Karayolu Taşımacılık Faaliyetleri Mesleki Yeterlilik Eğitimi Yönetmeliği,
vi. Tehlikeli Maddelerin Karayoluyla Taşınması Hakkında Yönetmelik,
vii. Tehlikeli Madde Taşıyan Araç ve Üst Yapıların Teknik Muayeneleri Hakkında Yönetmelik

hükümlerine uygun olarak yapılmak zorundadır.

1. 4925 sayılı Karayolu Taşıma Kanunu'nun 5 inci maddesinin

- 1 inci fıkrası; "Taşımacılık, acentelik ve taşıma işleri komisyonculuğu ile nakliyat ambarı ve kargo işletmeciliği yapılabilmesi için Bakanlıktan yetki belgesi alınması zorunludur." hükmüne,

- 2 nci fıkrası; "…Ayrıca, karayoluyla yük ve yolcu taşımacılığı faaliyetlerinde kullanılan ticari araçlarda çalışan şoförlerin, sürücü mesleki yeterlilik belgesi almaları zorunludur…" hükmüne,
- 3 üncü fıkrası; "Taşımacılara, yetki belgesinden ayrı olarak taşımalarda kullanılacak taşıtların niteliğini ve sayısını gösteren taşıt belgesi ile taşımacının taşıt belgesinde kayıtlı her taşıt için düzenlenen ve taşıtta bulunması gereken taşıt kartı verilir." hükmüne
- 5 inci fıkrası; "Tehlikeli yük taşıyan taşıtlar ve bunların bağlı olduğu taşımacılar, taşıyacakları yüklerin özelliğine uygun olduğunu gösteren bilgi ve belgelere dayanarak birinci fıkrada belirtilen yetki belgesinden ayrı olarak ilgili mercilerden ayrıca izin almakla yükümlüdürler." hükmüne,

2. 2918 Sayılı Karayolları Trafik Kanunu'nun

- 34 üncü maddesinin 1 inci fıkrası; "Trafiğe çıkarılacak motorlu araçların teknik şartlara uyup uymadığı ekonomik yapıları da, dikkate alınmak suretiyle belirli zamanlarda muayene edilerek tespit edilir." hükmüne,
- 65 inci maddesinin 1 inci fıkrası;
  - "b) Azami yüklü ağırlığın veya izin verilen azami yüklü ağırlığın aşılması,
  - c) (b) bendindeki ağırlıklar aşılmamış olsa bile azami dingil ağırlıkları aşılacak şekilde yüklenmesi,
  - d) Karayolu yapısı ve kapasitesi ile trafik güvenliği bakımından tehlikeli olabilecek tarzda yükleme yapılması,
  - e) Tehlikeli ve zararlı maddelerin gerekli izin ve tedbirler alınmadan taşınması, yasaktır.",
  - 91 inci maddesinin 1 inci fıkrası; "İşletenlerin, bu Kanunun 85 inci maddesinin birinci fıkrasına göre olan sorumluluklarının karşılanmasını sağlamak üzere mali sorumluluk sigortası yaptırmaları zorunludur."

hükmüne amirdir.

Buna göre;

1. Karayolu Taşıma Yönetmeliğinin 6 ncı maddesi uyarınca "C", "K", ve "L" türü yetki belgesi alması ve yetki belgesi sahiplerinin faaliyetlerinde kullanacağı taşıtlar, yetki belgesi eki taşıt belgesine kaydedilmesi,

2. Karayolu Taşımacılık Faaliyetleri Mesleki Yeterlilik Eğitimi Yönetmeliği'nin 6 ncı maddesi uyarınca sürücülerin SRC5 türü mesleki yeterlilik belge alması,
3. Tehlikeli Maddelerin Karayoluyla Taşınması Hakkında Yönetmelik'in 5 inci maddesi uyarınca taşımacı, dolduran, paketleyen, yükleyen, gönderen, boşaltan, alıcı ve tank-konteyner/portatif tank işletmecilerinin, "Tehlikeli Madde Faaliyet Belgesi" almaları,
4. Karayolları Trafik Yönetmeliğinin

- 98. maddesinde belirlenen Araç Kullanma ve Dinlenme Sürelerine Uyma Mecburiyeti ve Denetleme Esasları'na göre sürücülerin çalışması,
- 128 inci maddesinde belirtilen şekilde araçlara yükleme yapılması,

5. Araç Muayene İstasyonlarının Açılması, İşletilmesi ve Araç Muayenesi Hakkında Yönetmelik'in 14 üncü maddesi uyarınca araçların her yıl muayeneye tabi tutulması,
6. Tehlikeli Madde Taşıyan Araç ve Üst Yapıların Teknik Muayeneleri Hakkında Yönetmelik'13 üncü maddesi uyarınca araçların her yıl muayeneye tabi tutulması

zorunludur.

Tehlikeli maddelerin taşınması yukarıda anılan Kanun ve Yönetmeliklerin ilgili diğer maddelerine, Tehlikeli Maddelerin Karayoluyla Taşınması Hakkında Yönetmelik ve Tehlikeli Madde Taşıyan Araç ve Üst Yapıların Teknik Muayeneleri Hakkında Yönetmelik'in diğer hükümlerine ve Tehlikeli Malların Karayolu ile Uluslararası Taşımacılığına İlişkin Anlaşması (ADR) hükümlerine de uygun olmak zorundadır.

01.01.2021 tarihi itibarıyla, Tehlikeli Maddelerin Karayoluyla Taşınmasına İlişkin Uluslararası Anlaşma (ADR) hükümleri çerçevesinde tehlikeli madde taşımacılığının önemli unsuru olan tehlikeli madde taşıyan araç şoförü yaklaşık 62.000 kişiye uluslararası geçerliliği olan Tehlikeli Mal Taşımacılığı Sürücü Eğitimi Sertifikası (SRC-5 Belgesi), 11000 kişiye ise Tehlikeli Madde Güvenlik Danışmanı Sertifikası düzenlenmiştir [4].

Tehlikeli Maddelerin Karayoluyla Taşınması Hakkında Yönetmelik'in; 5. maddesinin 10. fıkrasında; Tehlikeli maddelerin; yüklenmesi, doldurulması, taşınması veya boşaltılması sırasında ADR 1.8.5.3'te belirtilen şekilde ciddi bir kaza veya olay olması durumunda kazanın gerçekleştiği yerdeki sorumlu tarafça bu olayın, Bakanlığın belirlediği formda eksiksiz bir şekilde 7 iş günü içerisinde www.türkiye.gov.tr üzerinden Bakanlığa bildirilmesi gerekir." hükmü, 29. Maddesinin 2. fıkrasında; "Bakanlık, taşımacılık yetki belgesi/tehlikeli

madde faaliyet belgesi sahibi işletmecilerden, faaliyet konularına ilişkin yıllık faaliyet raporu isteyebilir.” hükmü, yer almaktadır.

2.3. İlgili Uluslararası Mevzuat

Tehlikeli madde taşımacılığının uluslararası çerçevesini;

- Deniz Yoluyla Taşınan Tehlikeli Yüklere İlişkin Uluslararası Kod (IMDG Kodu)
- Tehlikeli Malların Demiryolu İle Uluslararası Taşınmasına İlişkin Kural (RID)
- Tehlikeli Malların Karayolu ile Uluslararası Taşımacılığına İlişkin Anlaşma (ADR)
- Uluslar Arası Hava Taşımacılığı Birliği Tehlikeli Yük Mevzuatı (IATA-DGR)

oluşturmaktadır.

"Tehlikeli mallar" taşınması ADR tarafından yasaklanmış veya yalnızca burada öngörülen koşullar altında taşınmasına izin verilmiş maddeler ve nesneler olarak tanımlanmış ve Çizelge 2.1’de tehlike madde sınıflarına yer verilmiştir.

Çizelge 2.1. Tehlikeli madde sınıfları [10]

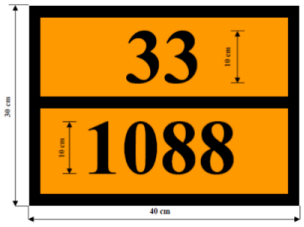
Sınıf 1- Patlayıcı Maddeler/Nesneler
Sınıf 2.1- Yanıcı Gazlar
Sınıf 2.2- Yanıcı/Zehirli Olmayan Gazlar
Sınıf 2.3- Zehirli Gazlar
Sınıf 3- Alevlenir Sıvı Maddeler
Sınıf 4.1- Alevlenir Katı Maddeler
Sınıf 4.2- Kendiliğinden Tepkimeye Girmeye Yatkın Maddeler
Sınıf 4.3- Su ile Temasında Alevlenir Gaz Açığa Çıkaran Maddeler
Sınıf 5.1- Yükseltgen Maddeler
Sınıf 5.2- Organik Peroksitler (2007’de yılında değişmiştir; Alt sarı-üst kırmızı-orta alev).
Sınıf 6.1- Zehirli Maddeler
Sınıf 6.2- Bulaşıcı Maddeler
Sınıf 7- Radyoaktif Malzemeler
Sınıf 8- Aşındırıcı Maddeler
Sınıf 9- Muhtelif Tehlikeli Maddeler/Nesneler

İşaretleme Levhaları aracın her iki yanına ve arka tarafına takılmalıdır. Tanker veya araçta taşınan sökülebilir tankın birden fazla bölmeye sahip olduğu ve iki veya daha fazla tehlikeli mal taşıdığı durumlarda, uygun levhalar ilgili bölmelerin her iki tarafı boyunca yerleştirilmeli ve her bir bölmenin yanında gösterilen her modele ilişkin bir levha, aracın arkasında yer almalıdır. Tüm bölmelerin aynı levhayı taşıması gerektiği durumlarda, bu

levhalar her iki taraf boyunca ve aracın arkasında bir defaya mahsus olmak üzere yer almalıdır. Tehlike tanımlama numaraları iki veya üç rakamdan oluşur. Şekil 2.4.'de tehlikeli maddelere örnek olarak gazlara ait işaretlemeler, Şekil 2.5.'de yanabilir gazlara ait tehlike tanımlama numarasının yer aldığı levha örneği verilmiştir.



Şekil 2.4. Tehlike işaretleri [25]



Şekil 2.5. Turuncu levha örneği [10]

2.4. Tehlikeli Madde Taşımacılığı Kazalarına Yönelik Kaza Veri Tabanları

Tehlikeli madde içeren kazalarla ilgili MHIDAS (Major Hazard Incident Data Service), Analysis, Research and Information on Accidents (Kazalar Üzerine Analiz, Araştırma ve Bilgi (ARIA)) ve FACTS Chemical Accident Database (Arızalar ve Kazalar Teknik Bilgi Sistemi (FACTS) veri tabanları bulunmaktadır [38].

MHIDAS, büyük tehlike olayları hakkında Birleşik Krallık Sağlık ve Güvenlik İdaresi (HSE) tarafından kaza veya olaya neden olan toksik salınımlar ve tehlikeli maddeler

hakkında verileri elde etmek için geliştirilen veri tabanı, 1950'den 1990'ların sonuna kadar olan dönemleri kapsayan 9 000'den fazla tehlikeli madde/materyal kaza raporu bulunmaktadır [39].

FACTS, son 90 yılda tüm dünyada meydana gelen, tehlikeli maddeler veya tehlikeli maddeler içeren 25.700'den fazla (endüstriyel) kaza (olay) hakkında bilgi veren veritabanıdır. BLEVE, büyük sızıntılar, büyük patlamalar ve raydan çıkmalar gibi ciddi hasar veya tehlike içeren kazaların yanı sıra ramak kala kayıtları da bulunmaktadır [44].

ARIA veri tabanı, atölyeler, depolar, şantiyeler, taş ocakları, yetiştirme çiftlikleri vb. yerlerde gerçekleştirilen faaliyetler, tehlikeli maddelerin demiryolu, karayolu, nehir/kanal veya deniz yoluyla taşınması, gaz dağıtımı ve kullanımı, basınçlı ekipman operasyonları, madenler ve yeraltı depolama tesisleri, bentler ve barajlar gibi alanlarda Fransa'da veya yurtdışında meydana gelen 46.000'den fazla kaza ve olayın verileri bulunmaktadır [45].

Uluslararası Karayolu Trafiği ve Kaza Veri Tabanı (IRTAD) veri tabanı, 1970'den itibaren 32 ülkeden doğrulanmış güncel çarpışma ve maruz kalma verileri ile ülke ve yıl bazında toplanan güvenlik ve trafik verilerini içermektedir [46].

IRAD (Entegre Karayolu Kazaları Veri tabanı), Hindistan'ın Karayolu Ulaştırma ve Karayolları Bakanlığı projesidir. Proje ile ulusal bir karayolu kazaları veri tabanına sahip olunarak, elde edilen verilerin, yetkililerin karayolu trafiği, kazalar, yolların durumu vb. ile ilgili çeşitli yönleri incelemesine ve çeşitli politikaları sonuçlandırmasına, kazaların en aza indirilmesi için yolların durumunu iyileştirmeye yönelik karar vermelerine yardımcı olması amaçlanmaktadır [47].

Ulusal İstatistik ve Analiz Merkezi (NCSA), çarpışma sıklığı ve yaralanmalarla ilgili olarak insan, araç, çevre ve karayolu özellikleri, motorlu araç kazalarında yaralanma mekanizmalarını ve ilgili çarpışma dinamiklerini belirleme, çarpışmaya dayanıklılık, çarpışmadan kaçınma ve trafik güvenliği çabalarının etkinliğinin değerlendirilmesi, trafik güvenliği sorununun boyutunun izlenmesi Önerilen ajans kurallarından kaynaklanan faydaların ölçülmesi gibi konularda sorumlu Ulusal Karayolu Trafik Güvenliği İdaresi'nin (NHTSA) kuruluşudur [48].

ARDD (Australian Road Deaths Database), polis tarafından her ay bildirilen, Avustralya'daki trafik kazası ölümlerinin temel ayrıntılarını sağlamaktadır [49].

Asya Pasifik Yol Güvenliği Gözlemevi (APRSO), Asya Kalkınma Bankası (ADB), Dünya Bankası Grubu, Uluslararası Otomobil Federasyonu (FIA), Uluslararası Taşımacılık Forumu (ITF) ve Birleşmiş Milletler Ekonomik ve Sosyal Komisyonu ile bir grup uluslararası kalkınma kuruluşu tarafından kurulan Asya ve Pasifik'teki yollarda insan yaşamının korunmasını sağlamak için karayolu güvenliği verileri, politikaları ve uygulamaları hakkında bölgesel bir forumdur [50].

TUİK (Türkiye İstatistik Kurumu), "Ulaştırma İstatistikleri" başlığı altında Trafik Kaza İstatistikleri, Motorlu Kara Taşıtlarına ait istatistikler ile diğer ulaşım türlerine ait istatistikler ilgili kamu kurumlarından temin edilerek resmi istatistik olarak yayınlamaktadır [13].

Ülkemizde her yıl 1 Milyon civarında trafik kazası olmaktadır. 2020 yılında 150 000 [13], 2021 yılında 188 000 [14], 2022 yılında 197 000 [15] ve 2023 yılında 235 000 [16] civarında kaza ölümle veya yaralanmaya sonuçlanmıştır. (Çizelge 2.2.). Ancak, tehlike madde taşıyan araçların kaza sayılarına etkileri bilinmemektedir. Benzer şekilde, trafik kaza istatistiklerine bakıldığında kazaya dahil taşınan tehlikeli maddelerin neden olduğu patlama, yangın ve toksik yayılım fiziksel veya kimyasal olayların envanterinin oluşturulmadığı görülmüştür.

Çizelge 2.2. TÜİK, Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri, 2023 [16]

Yıl	Toplam kaza sayısı	Ölümlü yaralanmalı kaza sayısı	Maddi hasarlı kaza sayısı	Ölü sayısı			Yaralı sayısı
				Toplam	Kaza yerinde	Kaza sonrası	
2009	1 053 346	111 121	942 225	4 324	4 324	-	201 380
2010	1 106 201	116 804	989 397	4 045	4 045	-	211 496
2011	1 228 928	131 845	1 097 083	3 835	3 835	-	238 074
2012	1 296 634	153 552	1 143 082	3 750	3 750	-	268 079
2013	1 207 354	161 306	1 046 048	3 685	3 685	-	274 829
2014	1 199 010	168 512	1 030 498	3 524	3 524	-	285 059
2015	1 313 359	183 011	1 130 348	7 530	3 831	3 699	304 421
2016	1 182 491	185 128	997 363	7 300	3 493	3 807	303 812
2017	1 202 716	182 669	1 020 047	7 427	3 534	3 893	300 383
2018	1 229 364	186 532	1 042 832	6 675	3 368	3 307	307 071
2019	1 168 144	174 896	993 248	5 473	2 524	2 949	283 234
2020	983 808	150 275	833 533	4 866	2 197	2 669	226 266

Çizelge 2.2. (devam) TÜİK, Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri, 2023 [16]

2021	1 186 353	187 963	998 390	5 362	2 421	2 941	274 615
2022	1 232 957	197 261	1 035 696	5 229	2 282	2 947	288 696
2023	1 314 136	235 071	1 079 065	6 548	2 984	3 564	350 855

Çizelge 2.3.'de ölümlü ve yaralanmalı trafik kazalarına neden olan kusurların dağılımı verilmiştir. Trafik kaza istatistiklerine [17-19] bakıldığında kazaya dahil taşınan tehlikeli maddelerin neden olduğu patlama, yangın ve toksik yayılım fiziksel veya kimyasal olayların envanterinin oluşturulmadığı görülmüştür.

Çizelge 2.3. Kaza oluş türleri

KAZA OLUŞ TÜRÜ	TOPLAM KAZA SAYISI		
	2020	2021	2022
Yandan Çarpma veya Yandan Çarpışma	46 502	61 003	63 040
Yoldan Çıkma	22 161	30 072	34 466
Yayaya Çarpma	21 821	23 323	23 342
Devrilme, Savrulma, Takla	17 191	21 455	22 271
Arkadan Çarpma	16 633	20 977	21 206
Karşılıklı Çarpışma	9 324	11 562	11 230
Engel/Cisim ile Çarpışma	8 481	9 603	9 971
Yan Yana Çarpışma	2 047	2 486	2 970
Duran Araca Çarpma	2 047	2 411	2 786
Araçtan Düşen İnsan	1 233	1 495	1 708
Park Etmiş Araca Çarpma	1 186	1 482	1 630
Hayvana Çarpma	854	975	1 011
Zincirleme Çarpışma	368	534	815
Çoklu Çarpışma	362	494	736
Araçtan Düşen Cisim	65	91	79
TOPLAM	150 275	187 963	197 261

Tehlikeli Maddelerin Karayoluyla Taşınması Hakkında Yönetmelik'in; 5. maddesinin 10. fıkrasında; tehlikeli maddelerin; yüklenmesi, doldurulması, taşınması veya boşaltılması sırasında ADR 1.8.5.3'te belirtilen şekilde ciddi bir kaza veya olay olması durumunda kazanın gerçekleştiği yerdeki sorumlu tarafça bu olayın, Bakanlığın belirlediği formda eksiksiz bir şekilde 7 iş günü içerisinde www.türkiye.gov.tr üzerinden Bakanlığa bildirilmesi gerekir." hükmü uyarınca tehlikeli madde taşımacılığında faaliyet gösteren kişilerce kaza ve olay bilgileri www.türkiye.gov.tr üzerinden Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığına bildirilmektedir. Bu şekilde tehlike maddelerin karayolu ile taşınması esnasında yaşanan kaza ve olaylara ilişkin bir veri tabanı oluşturulmuştur. Ancak, kaza ve olay bilgilerinin bildirilmesinde herhangi bir zorunluluk ve cezai müeyyide bulunmamaktadır.

2.5. Tehlikeli Madde Taşımacılığı Kaza Örnekleri

Taşıma, depolama, proses tesisleri ve nakil esnasında meydana gelen 202 BLEVE kazası kazanın olduğu faaliyet türleri, neden olan etkenler, en sık rastlanan maddeler, zaman aralıkları ve nerede görüldükleri analiz edilmiş ve LPG'nin (%59) bu kazalarda en sık rastlanan madde olduğu ve su (%11) ile LNG'nin (%4) de BLEVE'ye neden olduğu sonucu elde edilmiştir. Bu kazaların en çok darbe (%44,8) ve insan kaynaklı (%30,3) olduğu tespit edilmiştir. BLEVE'lerin taşıma esnasında (%43,1), demiryolu tankerleri (%26,2) ve karayolu tankerlerinin (%26,2) karıştığı kazalarda meydana geldiği görülmüştür [38].

Birçok büyük kazada bu etki hem sabit tesislerde hem de tehlikeli maddelerin karayolu veya demiryolu ile taşınmasında kazanın şiddetinin artmasında domino etkisinin önemi büyüktür. Bir domino etkisi dizisindeki ilk olay genellikle bir patlama veya yangındır. Termal radyasyon, alev çarpması veya aşırı basınç ve fırlayan parçalar daha fazla muhafaza kaybına ve dolayısıyla kazanın artmasına neden olabilmektedir. Ülkelerin ve teknolojinin gelişimleri göz önüne alınarak ve verilerin daha sağlıklı sonuç vereceği düşünülerek 1 Ocak 1960'dan sonra araştırma tarihinde kadar yaşanan proses tesislerinde, depolama alanlarında, karayolu, demiryolu ve deniz ulaşımında, deprem veya sel gibi doğal olaylar nedeniyle meydana gelen 167 BLEVE kazası analiz edilmiştir. 40 kazada, tek bir kaza olarak bir BLEVE meydana geldiği ve 127 vakada ise bir domino dizisine rastlanmıştır [38]. Bu 127 kazanın meydana geldiği tesis veya faaliyet türleri Çizelge 2.4.'de verilmiş olup; bazı kazalar iki farklı kökene dahil edildiği için kazaların toplam sayısı (143) gerçek kazalardan daha fazladır [40]. Domino etkisi ile BLEVE kazalarının spesifik kaynağı Çizelge 2.5.'de, BLEVE kazalarına karışan maddeler Çizelge 2.6.'da ve kazaların genel nedenleri Çizelge 2.7.'de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Domino etkisi olan BLEVE kazalarının genel kökeni [40]

Genel köken	Kaza sayısı	Genel yüzde (%)
Ulaşım	60	47
Depolama alanı	39	31
Aktarma	22	17
Proses tesisi	12	9
Yurtiçi/ticari binalar	6	5
Diğer	4	3
Toplam	143	112

Çizelge 2.5. Domino etkisi ile BLEVE kazalarının spesifik kaynağı [40]

Spesifik kaynağı	Kaza sayısı	Yüzde (%)
Demiryolu tankeri	40	31
Basınçlı depolama kabı	24	19
Kara tankeri	22	17
Taşınabilir taşıma kapları	17	13
Tesis borularında ve ilgili vanalarda	6	5
Atmosferik basınçlı depolama kapları	5	4
Isı eşanjörleri	4	3
Reaktör	3	2
Gemi	3	2
Hortum	3	2
Diğer	8	7

Çizelge 2.6. Domino etkisi ile BLEVE kazalarına karışan maddeler [40]

Madde	Kaza sayısı	Yüzde (%)
LPG	90	71
Petrol/benzin/benzin/dizel/gazyağı	14	12
Vinil klorür	10	8
Etilen oksit	7	6
LNG	4	3
Propilen	4	3
Diğer kimyasal maddeler	70	56
Toplam	199	159

Çizelge 2.7. Kazaların genel nedenler [40]

Genel neden	Kaza sayısı	Yüzde (%)
Darbe	52	47
Harici olaylar	39	35
İnsan faktörü	31	28
Mekanik arıza	30	28
Enstrüman arızası	5	5
Şiddetli tepki	5	5
Hizmet Hatası	1	1
Toplam	163	148

2.5.1. Ülkemizde gerçekleşen tehlikeli madde taşımacılığı kazaları

Lice'de LPG yüklü tanker kazası

Diyarbakır-Bingöl karayolu üzerinde 21 Temmuz 2014 tarihinde Lice'de LPG tankeri (Resim 2.1.) kazası meydana gelmiştir. Bu kazada, Bingöl yönünden hareket eden bir LPG

tankerinin sürücüsü aracın kontrolünü kaybederek takla attı. Kamyonun treyler kısmı ön kısımdan ayrılmış ve yaklaşık 40-50m kaymıştır. Bu sırada ani genleşme ve tankerin tepesindeki emniyet supabının yerinden çıkması nedeniyle BLEVE nedeniyle en geç 15 dakika içinde LPG sızarak çevreye yayıldı. LPG, havadan ağır olduğu için zemin boyunca ve tepeden 500-600 m aşağıya yayıldı ve alev alarak patladı. Olay esnasında olay yerinde bulunan araçlar alevlerle çevrildi ve bu araçlarda bulunan 69 kişi alevlerle çevriliydi ve bunlardan 34'ü olaydan sonraki 3 ay içinde hayatını kaybetmiştir [37].



Resim 2.1. Diyarbakır Lice'de meydana gelen kazaya ait bir görüntü [37]

2.5.2. Dünyada gerçekleşen tehlikeli madde taşımacılığı kazaları

Aeroporto di Bologna-Guglielmo Marconi kazası

6 Ağustos 2018 tarihinde, İtalya'nın Bologna kentindeki Aeroporto di Bologna-Guglielmo Marconi havaalanına giden otoyolda iki aracın çarpıştığı bir trafik kazası (Resim 2.2.) meydana gelmiştir. Kaza, tankerden LPG sızmasına ve bir patlamaya neden olmuştur. Kazanın olduğu viyadükte kısmi bir çökme yaşanmış ve bu kaza toplam 4 ölüm ve 145'ten fazla yaralanma ile sonuçlanmıştır [41].



Resim 2.2. Aeroporto di Bologna-Guglielmo Marconi kazasına ait görüntü [41]

Viareggio treninin raydan çıkması

9 Haziran 2009 Pazartesi günü, her biri 46,7 ton kapasiteye sahip (yaklaşık 110 000 L) 14 tank vagondan olan trenin ilk tanker vagonu Viareggio istasyonundan yaklaşık 1 km önce raydan çıkmıştır. Raydan çıkmanın ardından ilk tanktan yoğun bir muhafaza kaybı yaşanmıştır. Patlayan tankerin tüm içeriği, bir yarıktan salınmış ve bir gaz bulutu oluşmuş ve bilinmeyen bir ateşleme kaynağı nedeniyle gecikmeli bir tutuşma meydana gelmiştir. Çıkan yangın, demiryoluna yakın evlere ve araçlara ağır hasar vermiş ve toplam 32 kişi hayatını kaybetmiştir [42].

Ahmedpur Sharqia petrol tankeri kazası

25 Haziran 2017 sabahı 05:07'de, 50 000 litre benzin taşıyan bir tanker (Resim 2.3.) Pakistan'ın Ahmedpur Sharqia kasabası yakınlarındaki 799 North Bound, N5 Otoyolunda devrilmiş, tankerin ön bölmesi delinmiş ve döküntü meydana gelmiştir. Çevre köylerden vatandaşlar benzin toplamak için tankerin etrafına toplanmıştır. Kazadan yaklaşık bir saat sonra alev alan döküntü, döküntünün etrafına toplanan kalabalığı sararak sürücü dahil toplam 217 kişinin ölümüne, 400'den fazla kişinin yaralanmasına neden olmuştur [43].



Resim 2.3. Ahmedpur Sharqia petrol tankeri kazasına ait görüntü [43]

2.6. Kaza Verilerinin İstatistiksel Analizi ve Değerlendirmesi

Verilerin analizi aşamalarında Microsoft Office Excel, SPSS, Jamovi, STATİSTİCA, MATLAB gibi programların yanı sıra R programlama dili gibi programlar veya yazılım dilleri kullanılmaktadır.

Microsoft office excel

Microsoft Excel bütün temel matematiksel işlemlere, istatistik, mühendislik ve finansal fonksiyonları içermektedir. Çizgisel grafikler, histogramlar, çizelgeler ve 3 boyutlu grafikler elde edilebilmektedir. Verileri farklı açılardan çeşitli bağımlılıklarına göre sınıflandırma imkanı bulunmaktadır. Diferansiyel denklemleri çözme ve sonuçlarını tabloya imkanı bulunmaktadır. Farklı formattaki veri kaynaklarında yer alan verilerin de analizine olanak sağlamaktadır [51].

SPSS (Statistical package for the social sciences)

SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), özellikle " istatistiksel analiz için çok geniş olarak kullanılmaktadır. Pazar araştırmacıları, sağlık araştırmacıları, anket şirketleri, devlet kurumları, eğitim araştırmacıları, pazarlama kurumları, "veri madencileri" vb. tarafından da pratik olarak kullanılan bir istatistik yazılımıdır.

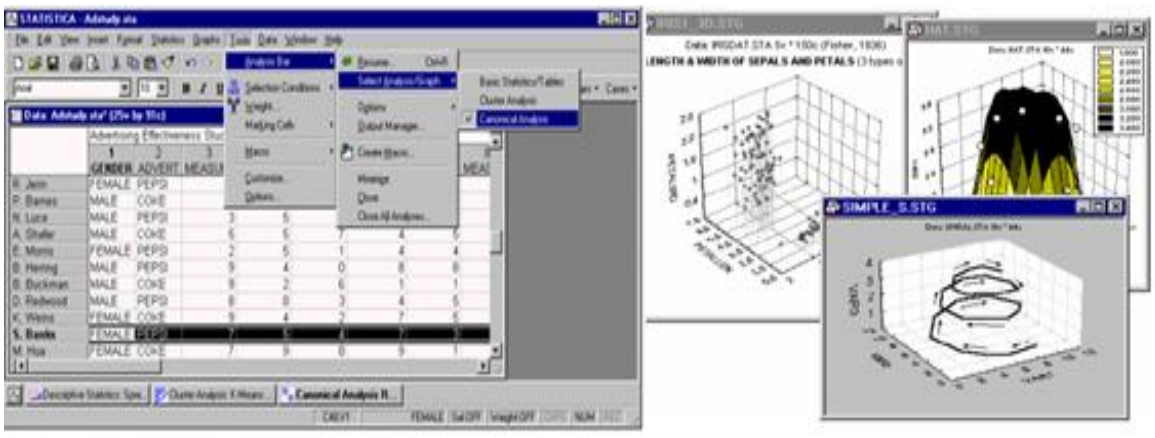
Veri operasyonları ve istatistiksel analizleri;

- Tanımlayıcı istatistik: (karşılıklı tabülasyon, frekanslar, tanımlayıcılar, araştırma tanımlayıcı oran istatistikleri)
- İki değişkenli istatistik: (ortalamalar, t-testi, varyant analizi, korelasyon (iki değişkenli, kısmî, uzaklıklar) parametrik olmayan sınamalar
- Sayısal sonuçların tahmin edilmesi: Doğrusal regresyon
- Grupları tespit etmek için tahminler: Faktör analizi, kümeleşme analizi (iki-basamaklı, K-ortalamalar, hiyerarşik), Diskriminant analizi

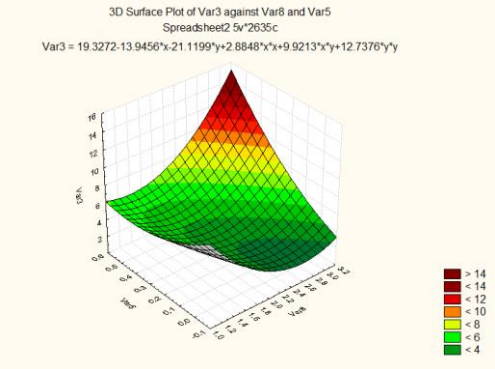
kısımları kullanılarak yapılabilmektedir [52].

STATISTICA

İstatistiksel, grafiksel ve analitik veri yönetimi yanı sıra veri analizi için veri madenciliği, işletme, sosyal bilimler, biyomedikal araştırma veya mühendislik uygulamalarını içermektedir (Resim 2.4.). Sinir ağı modelleri oluşturmak ve dağıtmak için kendi içinde Otomatik Sinir Ağları modülleri geliştirilmiştir. Sinir ağı modülleri; regresyon, sınıflandırma, zaman serisi regresyonu, zaman serisi sınıflandırması, küme analizini içermektedir. Sağlam istatistikler, faktöriyel olmayan analizler, faktöriyel olmayan tablolar, Düzeltilmiş ortalamalar, ayıklanan ortalamalar, Grubbs aykırı değerler testi, Varyasyon Katsayısı, örnek standart sapması için güven aralığı ve geçerli gözlemlerin yüzdesi, gruplara göre bağımsız t testi, Korelasyon matrisleri, Box-Cox dönüşümü işlemleri de yapılabilmektedir. 2 veya 3 boyutlu grafikleri (Şekil 2.6.) dahil olmak üzere matris grafikleri, simge grafikleri, kategorize edilmiş grafikler, kullanıcı tanımlı grafikler, blok veri grafikleri ve girdi veri grafikleri tüm grafik türlerini oluşturma imkanı bulunmaktadır [53].



Resim 2.4. STATISTICA'ya ait bir görüntü [53]



Şekil 2.6. 3 boyutlu grafik örneği [53]

Jamovi

R istatistik dili kullanılarak üretilmiştir. T-Testleri, Varyans analizi (ANOVA), Kovaryans analizi (ANCOVA), Çok Değişkenli (Eş)Varyans Analizi (MANCOVA), regresyon, Korelasyon matrisi, kısmi korelasyon, doğrusal regresyon, binom lojistik regresyon, çok terimli lojistik regresyon, sıralı lojistik regresyon, oran testleri, güvenilirlik analizi, temel bileşenler analizi, keşif faktörü analizi, doğrulayıcı faktör analizi işlemleri yapılmaktadır [54].

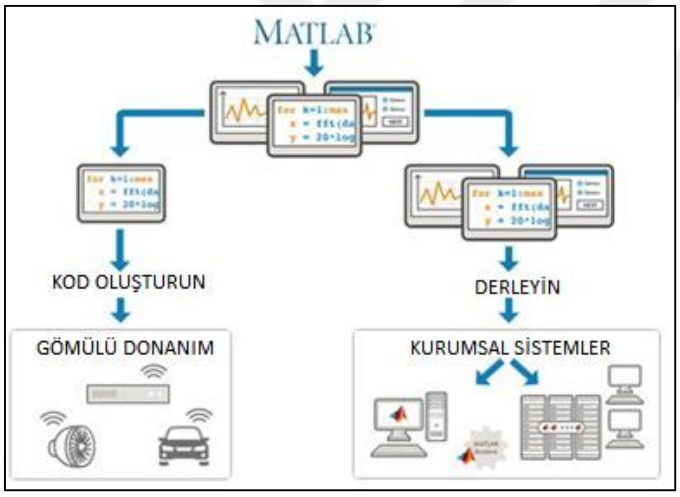
R programlama dili

R, istatistiksel hesaplama ve grafikler için yazılım ortamı olup aynı zamanda programlama dilidir. Çok geniş istatistiki (doğrusal ve doğrusal olmayan modelleme, klasik istatistik testleri, zaman serileri analizi, sınıflandırma, kümeleme ve diğer) ve grafik çizim teknikleri sunmaktadır. Yeni fonksiyonlar tanımlayarak ek özellikler geliştirme imkânı sunmaktadır. Matematiksel sembolleri de içeren grafikler çizme imkânı bulunmaktadır [55].

MATLAB

Verileri analiz etmek, algoritmalar geliştirmek ve modeller oluşturmak makine öğrenmesi için kullanılan bir programlama ve sayısal hesaplama platformudur (Resim 2.5.). Merkezi eğilim, dağılım, şekil, korelasyon ve kovaryans ölçümleri dahil olmak üzere tanımlayıcı istatistikleri kullanarak potansiyel olarak büyük veri kümeleri analiz edilebilmektedir. K-araçları, hiyerarşik ve diğer kümeleme yöntemlerini uygulayarak ve verileri gruplara veya kümelere bölerek kalıpları ve özellikleri belirlenebilir. Aykırı değerleri ve yenilikleri

belirlemek için anormallikleri tespit edebilmektedir. Tek yönlü, iki yönlü, çok yönlü, çok değişkenli ve parametrik olmayan ANOVA'nın yanı sıra kovaryans analizi (ANOCOVA) ve tekrarlanan varyans ölçümleri analizi (RANOVA) yapılabilmektedir. Doğrusal regresyon, Gauss süreçleri, destek vektör makineleri, sinir ağları ve topluluklar gibi modelleri programlı olarak eğitilebilme ve değerlendirme imkânı sağlamaktadır. Sürekli ve ayrık dağılımlarının uyum iyiliğini değerlendirmek için istatistiksel grafikleri kullanılabilmekte ve 40'tan fazla farklı dağılım için olasılık yoğunluk fonksiyonlarını ve kümülatif dağılım fonksiyonlarını hesaplanabilmektedir. Bir örneklemden istatistiksel kanıtlara dayalı olarak bir popülasyon hakkında çıkarımlar yapılabilmektedir. Bir, eşleştirilmiş veya bağımsız örnekler için t testleri, dağıtım testleri ve parametrik olmayan testler gerçekleştirebilmektedir. Otomatik düzeltmeyi ve rastgeleliği test edin ve dağılımlarının karşılaştırılmasına imkân sağlamaktadır. Sınıflandırma ve regresyon modelleri, tanımlayıcı istatistikler ve olasılık dağılımları çıkarımı için C/C++ ile kod oluşturulabilmektedir [56].



Resim 2.5. MATLAB uygulama örneği [56]

2.7. Tehlikeli Madde Taşımacılığına Yönelik Risk Analizi

2.7.1. Risk ve risk analizi

Risk "bir zarara, bir kayba, bir tehlikeye yol açabilecek bir olayın ortaya çıkma olasılığı" olarak tanımlanmaktadır [57]. Bir olayın meydana gelme sıklığı ile olası sonuçlarının büyüklüğünün çarpılmasıyla hesaplanmaktadır.

(Risk = Sıklık x Sonuçların büyüklüğü)

Risk analizi, belirli bir endüstriyel kurulum, belirli bir faaliyet veya tehlikeli maddelerin taşınmasıyla ilişkili çeşitli risk türlerini değerlendirmek için kullanılır. Risk analizi metodolojileri, olası kazalar, bu kazaların sıklığı ve etkilerinin ve sonuçlarının büyüklüğü hakkında makul ölçüde doğru tahminler sağlayabilir. Şekil 2.7.'de belirli bir proje, faaliyet veya tesise için risk analiz adımları gösterilmektedir.

İlk adım olarak dış olayların, tesis, faaliyet veya sistemin dışındaki tehlikeleri herhangi bir metodoloji gerek duyulmadan yapılır. Daha sonra Tarihsel analiz, benzer bir tesiste veya faaliyette önceki kazaların tarihsel bir analizi genellikle bir kaza veri tabanı kullanılarak yapılır. Anormal operasyon veya operasyondan kaynaklanan potansiyel riskleri değerlendirmek için bir tesisinin veya bir projenin kritik, resmi ve sistematik olarak HAZOP (tehlike ve çalışabilirlik) analizi yapılır. HAZOP (tehlike ve çalışabilirlik) analizi, potansiyel kazaları belirlemek için güçlü bir araçtır. Bir kaza meydana geldiğinde, bir veya daha fazla değişken normal değerlerinden sapmıştır. Tüm sapmaların olası sonuçlarını tanımlamak için farklı çalışma değişkenlerine (debi, seviye, sıcaklık, basınç, vb.) ayrıntılı olarak bir dizi kılavuz sözcük (hayır, daha az, daha fazla, dışında, vb.) uygulanır.

HAZOP analizi, meydana gelmesi makul olarak beklenebilecek olası kazaları ve gerekli ek güvenlik önlemlerini belirlediğinden, belirli bir ünitedeki arıza veya kaza sıklığını azaltır.

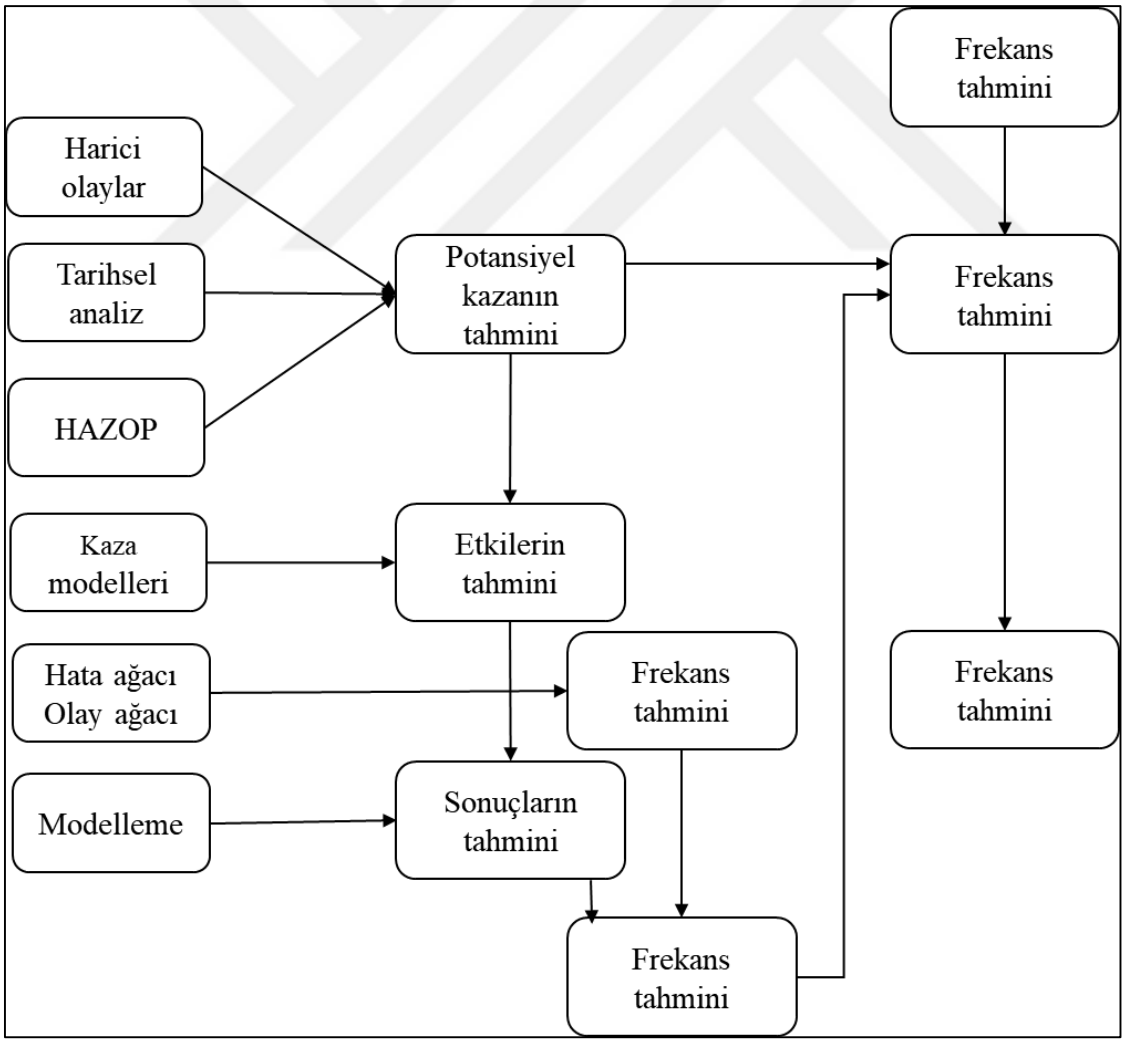
Tehlikeler tanımlandıktan sonra etkilerini ve sonuçlarını ölçmek gerekir. Etkileri (bir yangından kaynaklanan termal radyasyonun yoğunluğu, bir patlamadan kaynaklanan aşırı basınç veya atmosfere salınan bir malzemenin konsantrasyonu) belirlemek için farklı kaza türlerinin matematiksel modelleri kullanılır. Bir kazanın sonuçları, etkilerinin hissedildiği mesafeye göre yoğunluğunun belirlenmesi ve hassas unsurların (nüfus, ekipman, vb.) dağılımının belirlenmesi yoluyla tahmin edilir. Bu, bir etkinin yoğunluğu ile belirli bir hedefe verilen hasarın derecesi arasındaki ilişkiyi gösteren zarar görebilirlik modelleri kullanılarak yapılabilir. Potansiyel kazaları belirler ve etkilerini ve sonuçlarını tahmin eder. Ancak, riski daha kapsamlı bir şekilde değerlendirmek, farklı potansiyel kaza senaryolarının beklenen sıklıklarını tahmin etmek için bir adım daha gereklidir. Bu, uygun hata ağaçlarını ve olay ağaçlarını çizerek ve çözerek yapılabilir.

Hata ağacı, bir üst olaya, yani belirli bir kazaya ulaşmak için gerçekleşmesi gereken mantıksal olaylar dizisinin şematik bir temsilidir. Bu tekniği uygulayarak, oldukça olası

olmayan bir olaydan (kaza) bir valf veya kontrol cihazının arızalanması gibi birincil olaylara inmek mümkündür. Hata ağacı oluşturulduktan sonra, en büyük olayın veya kazanın meydana geleceği beklenen sıklığa ilişkin makul ölçüde doğru bir tahmin sağlamak için bu değerleri mantıksal olarak birleştirmek mümkündür. Hata ağaçları da HAZOP analizinden elde edilebilir.

Olay ağaçları, bir başlatıcı olaydan (örneğin, bir borudaki bir delikten çevreleme kaybı) çeşitli kaza senaryolarına (havuz yangınları, yanıcı bulutlar veya patlamalar) yol açan farklı dizilerin grafiksel temsilleridir.

Olayın sıklığı, farklı kaza senaryolarının sıklığını tahmin etmek için kullanılabilir. Risk, sonuçların büyüklüğünden ve bir kazanın meydana gelme sıklığından tahmin edilir.



Şekil 2.7. Risk analizi adımları [57]

2.7.2. Kantitatif risk analizi (QRA)

Kalitatif ve yarı kalitatif risk analizi

Kalitatif risk analizi, temel olarak, tehlikelerin, sonuçların, olasılığın veya risk seviyesinin çok az nicelleştirilmesiyle, tarihsel deneyim ve mühendislik yargısını kullanarak tanımlamaya ve karşılaştırmaya dayanmaktadır.

Yarı kalitatif risk analizi, bir dereceye kadar sonuç, olasılık ve/veya risk düzeyinin nicelleştirilmesini içermektedir. Sonuç ve olasılığın birleşimi yoluyla değerlendirildikten sonra, analizden riske dayalı bir karar alınabilir veya sonuç veya olasılıkta ek iyileştirme gerekebilmektedir. Risk endeksleme veya bir risk matrisi kullanılarak yarı kantitatif bir risk değerlendirmesi yapılabilmektedir.

Risk endeksleri, tek sayılar veya riskin büyüklüğü ile ilişkili sayıların bir tablosudur. Bazı risk endeksleri, belirli birimleri olmayan ve yalnızca risk endeksi hesaplama metodolojisinin belirli bağlamında anlamı olan göreceli değerlerdir. Tehlike dereceleri Çizelge 2.8.'de, örnek bir risk endeksi hesaplaması Çizelge 2.9.'da verilmiştir.

Çizelge 2.8. Tehlike dereceleri [58]

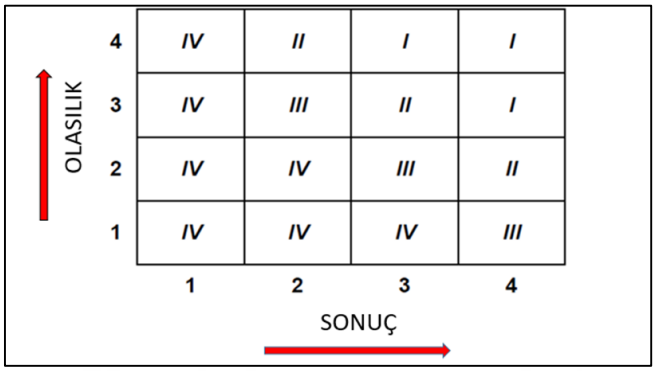
Tehlike dereceleri	
• Zehirli soluma tehlikeleri	10
• Yanıcı maddeler	5
• Çevresel etki potansiyeli	2
• Sınırlı/etki yok	0

Çizelge 2.9. Örnek bir risk endeksi hesaplaması [58]

Ürün	Sevkiyat Sıklığı	Önceki Olaylar	Taşınan Miktar	Tehlike Derecesi	Güzergâh Boyunca Duyarlı Nüfus	Risk Endeksi
Klor	5	2	10	10	5	32
Gaz Kokuları	2	1	2	0	10	15
Etilen Oksit	10	5	10	5	7	37
Soğutucu akışkanlar	5	10	2	2	5	24

Risk matrisi (Şekil 2.8.), bilinçli bir karar verilmeden önce ek ayrıntı gerektirebilecek sorunların yanı sıra risk azaltma gerektirebilecek sorunları belirlemek için kullanılan

grafiksel bir araçtır. Risk matrisleri ile analiz yaparken Çizelge 2.11.'da örnek olarak verilen sonuç kategorileri, Çizelge 2.12.'de verilen olasılık kategorileri kullanılır ve Çizelge 2.13.'de yer alan kriterlere göre değerlendirme yapılır.



Şekil 2.8. Örnek risk matrisi [58]

Çizelge 2.10. Sonuç kategorileri [58]

Çok düşük	Güvenlik: Yaralanma yok
	Çevresel: Dökülme müdahalesi yok veya çok az
	Mülk: Hasar < X (para birimi)
Düşük	Güvenlik: Olası küçük yaralanmalar
	Çevresel: Geniş çaplı dökülme yanıtı
	Mülk: X–Y (para birimi)
Yüksek	Güvenlik: Potansiyel ciddi yaralanmalar
	Çevresel: Kısa vadeli iyileştirme
	Mülk: Y–Z (para birimi)
Çok Yüksek	Güvenlik: Olası ölümler
	Çevresel: Uzun vadeli iyileştirme
	Mülk: Hasar > Z (para birimi)

Çizelge 2.11. Olasılık kategorileri [58]

Olasılık Düzeyi	Açıklama
1. Çok düşük olasılık	Gerçekçi olarak gerçekleşmesi beklenmiyor
2. Çok Olası Değil	Gerçekleşmesi beklenmiyor (ancak inandırıcı)
3. Olası değil	Olmaması muhtemel değil, (ancak benzer nakliye operasyonları için meydana geldi)
4. Olası	Taşıma operasyonunun ömrü boyunca en az bir kez meydana gelebilir

Çizelge 2.12. Değerlendirme kriterleri [58]

Sayı	Tanım
I	Risk azaltılmalı
II	Risk azaltıcı önlemler dikkate alınmalıdır
III	Prosedürler ve kontroller doğrulandı
IV	Azaltma gerekli değil

Kantitatif risk analizi (QRA)

Kazaların sonuçlarını tahmin etmek için gerekli araçlar, kaza etkilerini (termal radyasyon, aşırı basınç, doz) tahmin etmek için yapılan matematiksel modellemelerdir. Risk, bu sonuçların zaman içindeki kaza sıklığı ile çarpılmasıyla belirlenir. Kantitatif risk analizi (QRA), belirli bir sistem tarafından insan kaybı veya bazı durumlarda ekonomik kayıp açısından oluşturduğu riski tahmin etmek için Şekil 2.9.'da gösterilen bir dizi aşamadan oluşmaktadır.

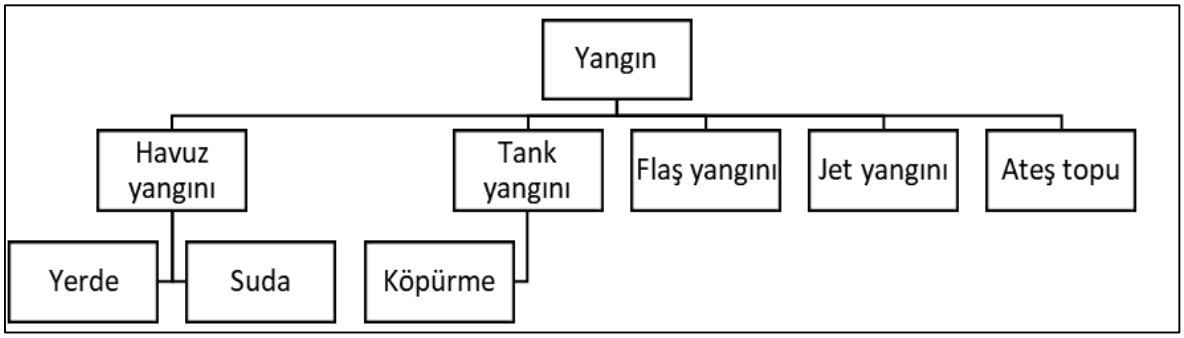


Şekil 2.9. Kantitatif risk analizi aşamaları [57]

İncelenen alanın konumu hakkındaki bilgiler (düz veya dağlık olup olmadığı, nehirlerin varlığı, enlem ve boylamı gibi coğrafi bilgileri, nem, güneş radyasyonu, rüzgâr yönü ve hızı (rüzgârgülü), atmosferik kararlılık gibi iklim verileri, ilgili maddelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri ve sistem hakkında bilgiler elde edildikten farklı tehlike senaryolarını belirlemek mümkündür. Olası senaryoları belirlendikten sonra sıklıklarını hesaplamak gerekir. Daha sonra karşılık gelen olay ağaçlarının geliştirilmesi gerekmektedir. Sıralamadaki her dalda karşılık gelen olasılığı ortaya koyarak, farklı kaza senaryolarının sıklığını/frekansını hesaplamak mümkündür.

Yangınlar

Yangın kazası türleri Şekil 2.10.'da gösterilmektedir.



Şekil 2.10. Yangın kazası türleri [57]

Havuz yangınları

Belirli bir boyut ve şekle sahip yanıcı sıvı havuzunun (genellikle bir hidrokarbon) kararlı hal yanması, bir setin varlığı veya zemin eğimi ile belirlenir; havuz yangınlarının çoğu açık havada çıkar. Yanma zayıftır ve büyük miktarda siyah duman çıkar. Büyük havuz yangınları, değişken alev uzunluğu (aralıklı) ile türbülanslıdır. Su üzerine yanıcı, karışmayan bir sıvı döküldüğünde de bir havuz yangını meydana gelebilir.

Tank yangınları

Havuz yangınlarına benzer, ancak çapın tank boyutuna göre belirlendiği, genellikle dairesel bir şekle sahiptir; alevler yerden belirli bir yükseklikte bulunur.

Jet yangınları

Yanıcı gaz veya buhardan oluşan türbülanslı bir jetin ateşlenmesinden kaynaklanan, büyük boy/çap oranına sahip, kararlı hal türbülanslı difüzyon alevleri. Havanın içeri girmesi havuz yangınlarından çok daha verimli olan yanmayı iyileştirir. Jetin şekli ve konumu esas olarak jet hızı etkisi ile belirlenir (özellikle yüksek hızlı jetler durumunda) ve jet ateş ucunda yüzdürme etkileri gözlemlenir.

Parlama (Flaş) yangınları

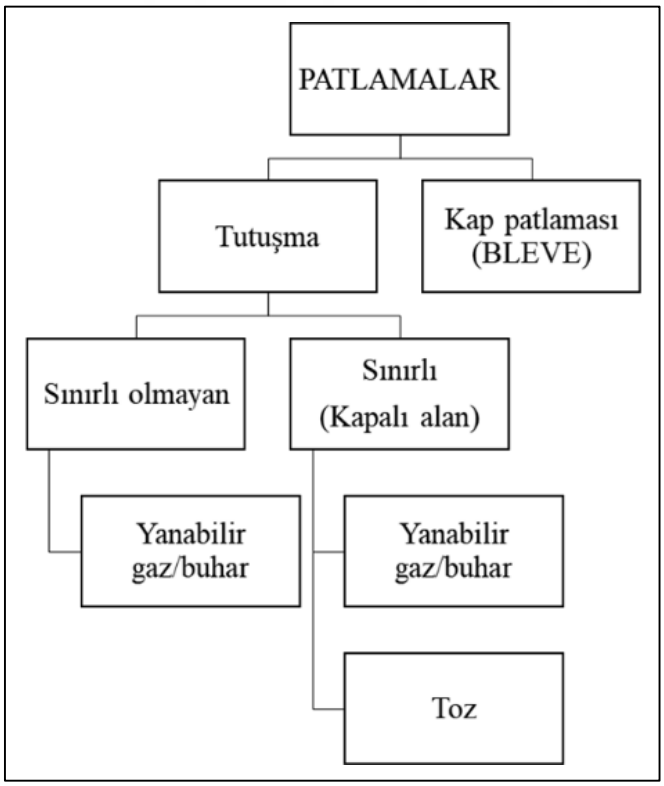
Alevlenme sınırları içinde alevlerin hava ve yanıcı gaz veya buhar karışımı ile yayıldığı ani yangınlardır. Belirli koşullarda patlama da meydana gelebilir.

Ateş topu

Aşırı ısıtılmış yanıcı bir sıvı içeren bir kabın patlaması ile bir sıvı/buhar karışımı kütlesinin tutuşmasıdır. Bulutun içinde oksijen olmadığı için ateş sadece ateş topunun dışında oluşur. Termal radyasyon etkisi nedeniyle damlacıklar buharlaştıkça karışımın yoğunluğu azalır ve ateş topunun çapı artar.

Patlamalar

Basınçlı bir gaz veya buharın genleşmesi, bir sıvının ani buharlaşması (fiziksel patlamalar) veya hızlı bir kimyasal reaksiyon (genellikle yanma) nedeniyle hacimde hızlı bir artış olduğunda patlamalar meydana gelmektedir. Patlama türleri Şekil 2.11.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.11. Patlama türleri [57]

Buhar bulutu patlamaları (VCE)

Yanıcı sıvıların veya buhar-sıvı karışımlarının salınımı ile oluşur. Her zaman ani yangın oluşur ve mekanik etkilerin (patlama) şiddeti, ilgili kütle ve ortamın özellikleri ile (kapalılık/tıkanıklık) belirlenmektedir.

Tank patlamaları ve BLEVE'ler

Basınçlı bir gaz veya aşırı ısıtılmış bir sıvı (yani, atmosferik basınçta kaynama noktasından önemli ölçüde daha yüksek bir sıcaklıktaki bir sıvı) içeren bir kabın buharı ile dengede ani arızalanmasının neden olduğu fiziksel patlamalardır. BLEVE (Kaynayan Sıvı Genişleyen Buhar Patlaması) olarak adlandırılmaktadır.

Toz patlamaları

Çok küçük parçalanmış katılar (un, şeker, mantar, alüminyum, aspirin ve kömür gibi) havada dağıldıklarında çok hızlı yanmaya uğrarlar ve patlamalar oluşur. İlk patlama genellikle büyük miktarda tozu dağıtan güçlü bir türbülans oluşturur; ardından ikinci, çok daha güçlü bir patlama gelir.

Toksik yayılım

Toksik bir materyalin salınması halinde, yoğunluğuna, (havadan ağır veya hava yoğunluğuna eşit veya daha az) rüzgâr hızına ve meteorolojik koşullara bağlı olarak, hızla atmosfere dağılır ya da yere yakın hareket edebilmektedir.

2.7.3. Etkiler, sonuç analizi ve ALOHA yazılımı

Zarar görebilirlik

Bir kazanın, termal radyasyon, aşırı basınç, toksik madde salınımının etkileri belirlendikten sonra, bireyler, binalar, ekipman ve çevre üzerindeki etkileri tahmin edilmelidir. Bir popülasyondaki bireylerin her biri, kazanın termal radyasyon, toksik madde dozu, patlamadan kaynaklanan aşırı basınç gibi etkilerine aynı şekilde tepki vermeyeceklerdir.

i)Termal radyasyon

Bir yangın durumunda, alev alanı içinde (bir flaş yangını için LFL konturu), yüksek termal akı ve giysilerin tutuşması nedeniyle, açık havada insanlar arasındaki ölüm oranının %100 olduğu varsayılmaktadır. Ani yangınlarda, bina içinde bulunan kişiler doğrudan alev temasına maruz kalmazlar ancak yangın ikincil yangınlara yol açacağından insanların hayatta kalması koşullara bağlı olur ve genellikle %100 ölüm oranı varsayılmaktadır.

Havuz yangını, jet yangını ve ateş topu için dışarıdaki insanlar üzerindeki sonuçlar, termal radyasyon yoğunluğunun ve maruz kalma süresinin bir fonksiyonudur (maksimum maruz kalma süresi: 20 s). Bir binanın içindeki insanlar, binanın tutuşması dışında güvendedir; bu durumda muhtemelen içerideki tüm insanlar ölecektir. Binaların tutuşma eşiğinin 35 kW/m^2 olduğu varsayılır ancak bu değer malzemelere göre değişmektedir.

ii) Patlama

Bir patlama durumunda, bina çökerse veya ciddi şekilde hasar görürse içerideki insanlar ölecek veya yaralanacaktır.

iii) Toksik maruziyet

Bulut geçişi sırasında içerideki konsantrasyon dışarıdakinden daha düşük olduğundan, içeride kalmak maruziyeti önemli ölçüde azaltır. Bulut geçtikten sonra içeride bir miktar kirletici kalır ve bu nedenle insanlar havalandırılması gereken binayı terk etmelidir.

Büyük kazalarda öldürülen kişi sayısı ile yaralanan kişi sayısı arasındaki ilişki

Kaza senaryolarının nicel risk değerlendirmesinde, sonuçların büyüklüğünü değerlendirmek için genellikle kaba hipotezler kullanılır. Bu hipotezler, fiziksel etki ve zarar görebilirlik hesaplamalarını tamamladıklarından izo-risk eğrileri çizmek için bazen gereklidir.

Risk analizi, özellikle büyük kaza senaryoları söz konusu olduğunda, etkilenen toplam insan sayısını ölümler, yaralanmalar ve muhtemelen tahliye edilenler tahmin etmeye yarar. Standart nicel risk değerlendirmesi, ölü sayısı ile tahliye edilecek alanları tanımlayan

mesafeleri hesaplamaya odaklanmaktadır. Yaralı insan sayısı nadiren değerlendirilir. Bu tahminler, bir kazanın etkilerinin hesaplanmasına dayalıdır ve birbirinden bağımsızdır.

Tehlikeli maddelerin karıştığı bir kazadaki ölüm sayısını (N_K) yaralı insan sayısına (N_I) bağlamak için istatistiksel bir ilişki bulunmaktadır. Gaz bulutu (Eş. 2.2), yangın (Eş. 2.3.), patlama olayları (Eş. 2.4) ve tüm kazalar (Eş. 2.1) için ölüm sayısının bir fonksiyonu olarak olası yaralı insan sayısını tahmin etmek mümkündür [57].

$$N_I = 6.N_K^{0,77} \quad (2.1)$$

$$N_I = 34.N_K^{0,54} \quad (2.2)$$

$$N_I = 3.N_K^{0,86} \quad (2.3)$$

$$N_I = 7.N_K^{0,76} \quad (2.4)$$

En fazla sayıda insanın yaralanmasına gaz bulutlarının karıştığı kazalar neden olmaktadır. Bunu, sırasıyla patlama ve yangın kazaları izlemektedir.

Zarar görebilirliğe göre tehlikeli bölgeleri.

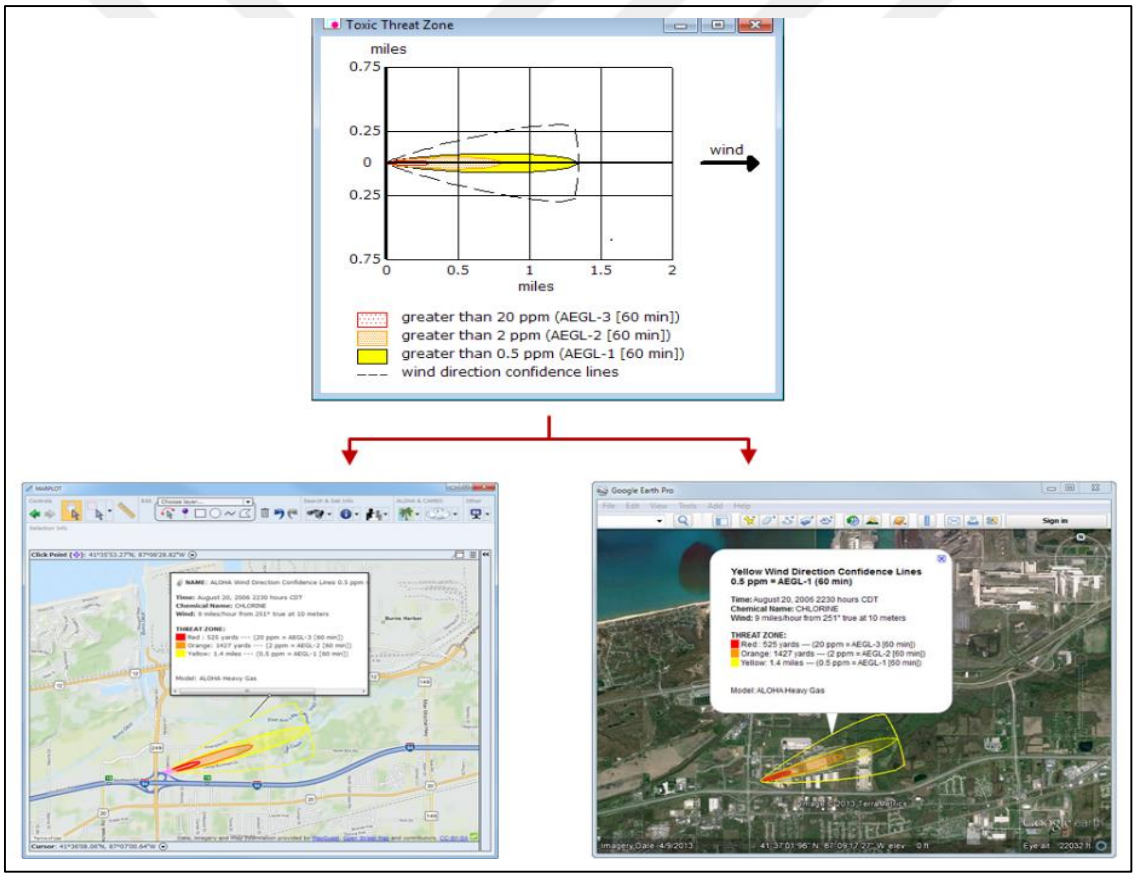
Bir kazadan potansiyel olarak etkilenecek alan, tehlikenin tipine (kimyasal, mekanik veya termal), etkilerin yoğunluğuna ve insanların ve mülkün savunmasızlığına bağlıdır [58].

- Müdahale Bölgesi (MB: Kazalar, koruyucu önlemlerin derhal uygulanmasını garanti eden bir dereceye kadar hasar içerir.
- Uyarı Bölgesi (UB): Kazalar, nüfus tarafından algılanabilmesine rağmen, kritik insan gruplarını korumak dışında müdahaleyi haklı göstermeyen etkileri içerir.
- Domino Etki Alanı (DB): Potansiyel kaza yayılımının dikkate alınması gereken bölgelerdir.

ALOHA yazılımı

ALOHA (Tehlikeli Atmosferlerin Alansal Konumları), zehirli gaz bulutları, yangınlar ve patlamalar dahil olmak üzere tehlikeli kimyasal salınımlarla ilişkili tehdit bölgelerini tahmin eden bir modelleme programıdır. Tehdit bölgeleri, belirli konumlardaki tehdit ve kaynak

gücü grafikleri dahil olmak üzere çeşitli senaryoya özel çıktılar üretir (Resim 2.6.). Kimyasalların tanklardan, su birikintilerinden (hem karada hem de suda) ve gaz boru hatlarından ne kadar hızlı kaçtığını hesaplar ve bu salınım oranlarının zaman içinde nasıl değiştiğini tahmin eder. Zehirli gaz bulutları, BLEVE'ler (Kaynayan Sıvı Genişleyen Buhar Patlamaları), jet yangınları, buhar bulutu patlamaları, havuz yangınları ve yanıcı alanlar birçok salınım senaryosunu modeller. Toksisite, yanıcılık, termal radyasyon ve aşırı basınç gibi farklı tehlike türlerini değerlendirir. MARPLOT haritalarında (ve ayrıca ALOHA ArcMap Import ToolExternal bağlantısıyla Esri'nin ArcMap'inde ve KML olarak dışa aktarma özelliğini kullanarak Google Haritalar ve Google Earth'te) tehdit bölgeleri görüntülenebilir [59].



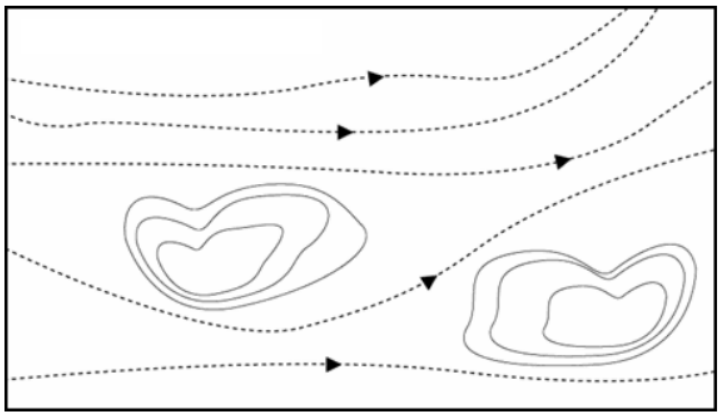
Resim 2.6. Örnek bir tehdit bölgesi gösterimi [59]

Aşağıdaki koşullarda ALOHA'nın sonuçları güvenilmez olabilir:

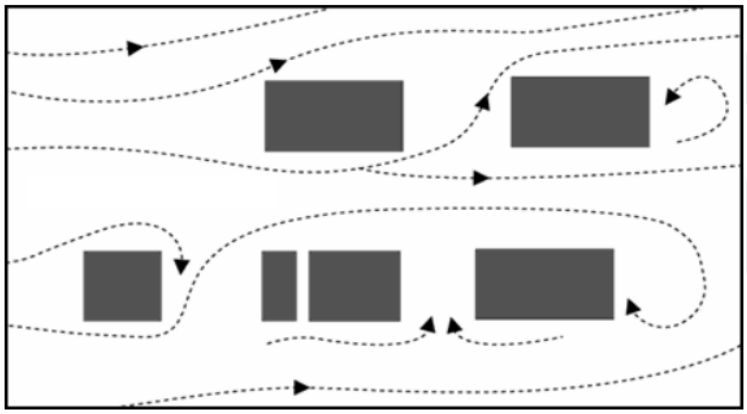
- Çok düşük rüzgâr hızları: Rüzgâr yönü girilen değerden farklıysa ALOHA'nın tehdit bölgesi konumları doğru olmayacaktır. Genel olarak, rüzgâr hızı düşük olduğunda rüzgâr

yönü en az doğrulukla tahmin edilebilir. ALOHA tarafından kabul edilebilir en düşük rüzgar hızları 10 metre yükseklikte yaklaşık 2 deniz mili veya 1 metre/saniyedir.

- Çok kararlı atmosferik koşullar: En kararlı atmosferik koşullar altında (en yaygın olarak gece geç saatlerde veya sabahın çok erken saatlerinde), genellikle çok az rüzgar vardır ve salınan kimyasal bulutun çevredeki havayla neredeyse hiç karışması yoktur. Bulut içindeki gaz konsantrasyonları, kaynaktan uzakta yüksek kalabilir. Bulut yavaş yayılır ve yüksek gaz konsantrasyonları vadilerde veya çöküntülerde birikebilir ve salınım noktasından çok uzak mesafelerde bile uzun süre kalabilir. ALOHA, alçak alanlarda yüksek gaz konsantrasyonlarının birikmesini hesaba katmaz.
- Salım kaynağının yakınında yoğunlaşma düzensizliği: ALOHA, ortalama konsantrasyonların salınım noktasının yakınında ve herhangi bir kirletici bulutun merkez hattı boyunca en yüksek olacağını ve rüzgar yönü ve yan rüzgar yönlerinde yumuşak ve kademeli olarak düşeceğini tahmin eder. Bununla birlikte, özellikle bir salınımın kaynağının yakınında, rüzgar girdapları bir bulutu tahmin edilemez bir şekilde iter ve gaz konsantrasyonlarının herhangi bir anda bir yerde yüksek, diğerinde düşük olmasına neden olur. Bu arada, ortalama konsantrasyonların yaklaşık olarak ALOHA'nın öngördüğü gibi davranması muhtemeldir. Bulut, salınım noktasından rüzgar yönünde hareket ettikçe, bu girdaplar bulutu değiştirir ve yayar, bulut içindeki konsantrasyonları eşitler, böylece ALOHA'nın tahminlerine daha benzer hale gelirler.
- Rüzgar yön değişimleri ve arazi yönlendirme etkileri: ALOHA, kimyasal salınımın rüzgar yönündeki alanı boyunca rüzgar hızının ve yönünün (belirli bir yükseklikte) sabit olduğunu varsayar. ALOHA ayrıca dağılan bir bulutun altındaki zeminin düz ve engelsiz olmasını bekler. Gerçekte ise rüzgar, yokuşlarda yukarı veya aşağı, tepeler arasında veya vadilere doğru akarken, arazi özelliklerinin döndüğü yere dönerken tipik olarak hız ve yön değiştirir. Arazi özelliklerinin hava akışı modellerini değiştirme şekline arazi yönlendirmesi denir. Arazi yönlendirmesinden kaynaklanan rüzgar yön değişimleri Şekil 2.12.'de, sokak kanyonlarının neden olduğu rüzgar yönündeki küçük ölçekli değişiklikleri Şekil 2.13.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.12. Rüzgar yön değişimlerinin gösterimi [59]



Şekil 2.13. Sokak kanyonlarındaki rüzgar yönündeki değişimleri [59]

Kentsel alanlarda, büyük binaların etrafında akan rüzgar girdaplar oluşturur ve yön ve hızı değiştirerek bulutun şeklini ve hareketini önemli ölçüde değiştirir. Büyük binalarla çevrili sokaklar boyunca, dağılan bir bulutu sınırlayan ve yönlendiren bir sokak kanyonu rüzgar deseni oluşturabilir. ALOHA, bir tehdit bölgesi tahmini ürettiğinde bu etkileri yok sayar; tehdit bölgesi, binalar gibi engellerin tam üzerinden veya içinden geçiyor gibi görünecektir.

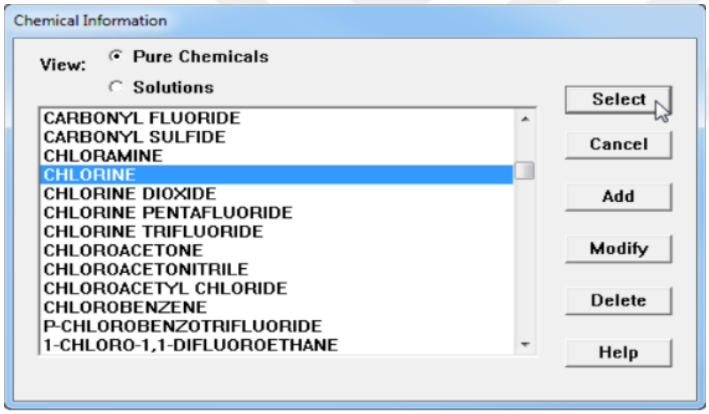
Rüzgarın yön değiştirmesi ve hızı hem mesafe hem de zaman içinde değiştirmesi muhtemel olduğundan, ALOHA, bir serbest bırakma başladıktan sonra bir saatten fazla veya serbest bırakma noktasından 10 kilometreden (6,2 mil) fazla mesafeler için tahminde bulunmayacaktır (10 kilometreden daha uzun tehdit bölgelerini keser) [59].

ALOHA aşağıdakilerin etkilerini hesaba katmaz:

- Yangın, patlama veya kimyasal reaksiyonlardan kaynaklanan yan ürünler: ALOHA, yanmanın (duman gibi) veya kimyasal reaksiyonların yan ürünlerini hesaba katmaz.

ALOHA, dağılan bir kimyasal bulutun, oksijen ve su buharı gibi atmosferi oluşturan gazlarla reaksiyona girmediğini varsayar. Bununla birlikte, birçok kimyasal madde kuru veya nemli hava, su, diğer kimyasallar ve hatta kendileriyle reaksiyona girer. Bu kimyasal reaksiyonlar nedeniyle, rüzgar yönünde dağılan kimyasal, başlangıçta muhafazadan kaçan kimyasaldan çok farklı olabilir. Bu fark, ALOHA'nın dağılım tahminlerini hatalı çıkmasına neden olabilmektedir.

- Partiküller: ALOHA partiküllerin (radyoaktif partiküller dahil) dağılımını etkileyen süreçleri hesaba katmaz.
- Kimyasal karışımlar: ALOHA, öncelikle saf kimyasalların salınımını modelleyebilmektedir. Herhangi bir modelin bir kimyasal karışımının davranışını doğru bir şekilde tahmin etmesi zordur, çünkü karışımlar için buhar basıncı gibi kimyasal özellikleri doğru bir şekilde tahmin etmek zordur (Resim 2.7.).



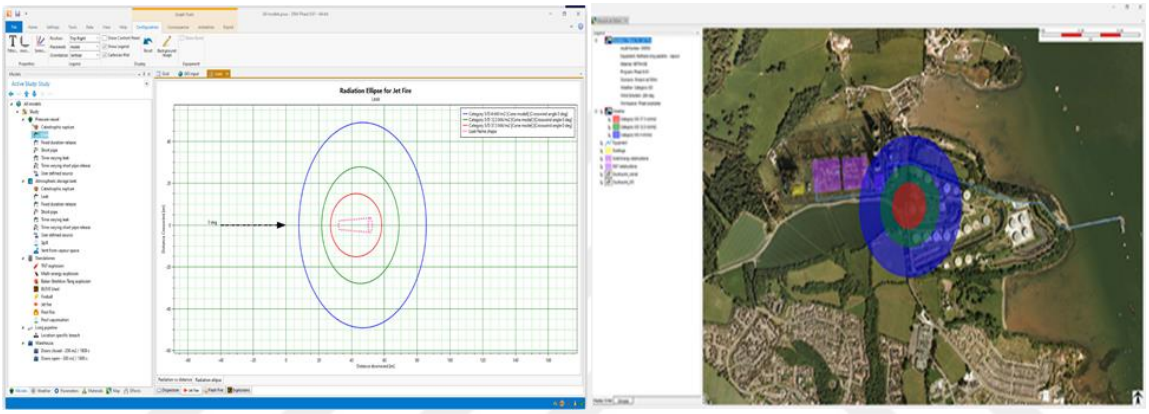
Resim 2.7. Kimyasal seçimi [59]

- Arazi: ALOHA, zeminin düz olduğunu varsayar ve bu, sürüm senaryosuna bağlı olarak farklı sonuçlar doğurur. Sıvı salınımları için ALOHA, çöküntüler içinde birikmeyi veya eğimli zemin boyunca sıvı akışını hesaba katmaz. ALOHA, sıvının her yöne eşit olarak yayıldığını ve bunun zemin düz olmadığında su birikintisi boyutunun ve salınım hızının fazla tahmin edilmesine neden olabileceğini varsayar. Gaz salınımları için, ALOHA, bulutun yüksek binalar ve dağlar tarafından yönlendirilmesinden dolayı meydana gelebilecek rüzgar akışındaki değişiklikleri hesaba katmaz.
- Tehlikeli parçalar: Bir kimyasal salımı bir patlama içeriyorsa, konteynırdan ve çevresinden uçan enkaz olacaktır. ALOHA, tehlikeli parçaların yörüngelerini modellemez [59].

Sonuç analizlerinde ALOHA dışında farklı yazılımlar da kullanılmaktadır. Bunların çoğu lisanslıdır.

PHAST

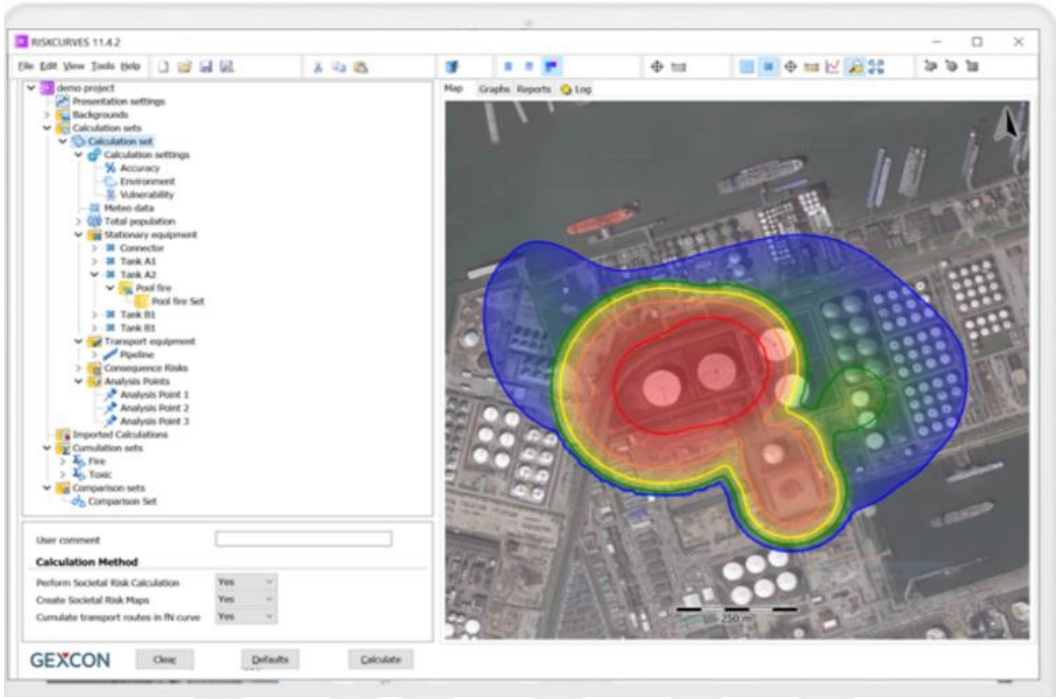
Çok çeşitli muhafaza kaybı senaryolarının deşarj, dağılma, yangınlar, patlamalar ve toksik etkileri modellemek için küresel olarak kabul edilen bir programdır (Resim 2.8.). Basınçlı kaplar, depolama tankları, boru tesisatı ve boru hatlarından kaynaklanan muhafaza kaybı senaryolarının oluşturulması modellenebilmektedir [60].



Resim 2.8. Phast Yazılımı ekran görüntüsü [60]

EFFECTS

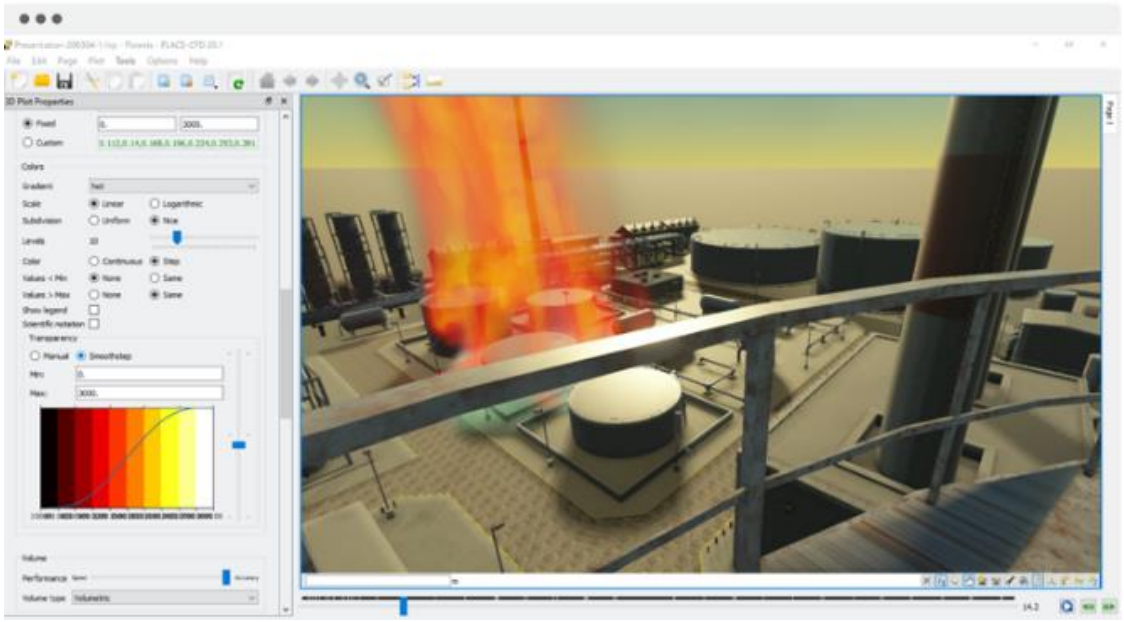
Tehlikeli kimyasalların proses, kimyasal ve petrokimya tesislerinde kazara salınmasının etkilerini ve sonuçlarını analiz etmek için geliştirilmiş bir yazılımdır. Yangınlardan kaynaklanan ısı radyasyonunu, patlamalardan kaynaklanan aşırı basınçları, dağılmadan kaynaklanan toksik konsantrasyonları ve dozları hesaplanabilmektedir. Sonuçlar grafikler, raporlar, tablolar ve entegre CBS ortamında (Resim 2.9.) sunulmaktadır [61].



Resim 2.9. GEXON- EFFECTS ekran görüntüsü [61]

FLACS-CFD

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) yazılımı, tehlikeli maddelerin dağılımını, yangını ve patlamayı üç boyutlu (Resim 2.10.) simule edebilmektedir. 1 800 kimyasal bileşen için yanıcı ve toksik salım senaryoları modellenebilmektedir [62].



Resim 2.10. FLACS- CFD'ye ait görüntü [62]

2.7.4. Bireysel risk, sosyal risk ve risk haritalari

Bireysel risk

Bir tehlikenin yakınında bulunan bir kişiye yönelik risktir. Bu tanım, bireyin zarar görebilmesini, her bir yaralanma türünün olasılığını ve yaralanmanın meydana gelebileceği süreyi içerir. Bireysel risk ölümler cinsinden ifade edilirse, olasılığı temsil eden mekansal koordinatların bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Bireysel riski ölçmek için kullanılan birim yıl^{-1}'dir.

Belirli bir konumdaki bireysel risk Eş. 2.5 ile ifade edilmektedir.

$$IR_{x,y} = \sum_{i=1}^{i=n} IR_{x,y,i} \quad (2.5)$$

$IR_{x,y,i}$: kaza senaryosu i kapsamında x, y coğrafi konumunda bireysel ölüm riskidir (yıl^{-1} başına ölüm olasılığı) (Eş. 2.6), n: analizde dikkate alınan toplam kaza senaryosu sayısıdır.)

$$IR_{x,y,i} = fi \times P_{Fi} \quad (2.6)$$

f_i: kaza senaryosu i'nin (yıl^{-1}) sıklığıdır. P_{Fi}: kaza senaryosu i'nin x,y konumunda bir ölümle sonuçlanma olasılığıdır. P_{Fi} değeri, (Eş. 2.7) kaza etki ve zarar görebilirlik modelleri uygulanarak elde edilir.

$$f_i = f_{olay\ i} \times P_{sonuç\ i} \quad (2.7)$$

$f_{olay\ i}$, olayın veya başlatan olayın meydana gelme sıklığıdır (yıl^{-1}) ve $P_{sonuç\ i}$, i kaza senaryosuna yol açan olaylar dizisinin genel olasılığıdır.

Sosyal risk

Büyük kazalar, çok sayıda insanın yoğunlaştığı alanları etkileyebilir. Bu durumlarda sosyal risk, bir grup insana yönelik riski ölçmek için kullanılır. Sosyal risk, kazazedeler yıl^{-1} olarak ölçülen, her yıl beklenen kazazede sayısıdır. Belirli bir alan için demografik veriler kullanılarak hesaplanır (Eş. 2.8).

$$Sosyal\ Risk = \int Bireysel\ Risk \times [Nüfus\ yoğınluğu(x,y)]dx.dy \quad (2.8)$$

Ortalama bireysel risk

Belirli bir tesisten riske maruz kalan tüm kişilerin bireysel riskinin ortalaması olarak hesaplanmaktadır. Ortalama bireysel risk belirli bir alandaki toplam nüfus içinde, tesisten kaynaklanan riske maruz kalan kişilerin tamamının veya bir kısmı olduğu dikkate alınmadan da Eş. 2.9 ile hesaplanabilir.

Ortalama bireysel risk:

$$IR_{\text{av}} = \sum_{x,y} IR_{\text{x,y}} \times p_{\text{x,y}} \qquad (2.9)$$

(IR_{av}, ortalama bireysel risk ($yıl^{-1}$) ve $p_{x,y}$ x, y konumundaki kişi sayısıdır.)

Bireysel risk konturları

Bireysel risk konturları veya izo-risk eğrileri, analiz edilen kurulum etrafındaki bireysel risk seviyelerini temsil eder. Bir izo-risk eğrisi, eşit bir bireysel riske sahip tehlikeli bir faaliyet etrafındaki tüm coğrafi konumları, yani tüm konumların aynı genel ölümcül olasılığı olan konumları birbirine bağlar. Belirli bir alan üzerindeki riskin grafiksel bir temsilini üretmenin en açık ve en yaygın yoludur. Bir izo-risk eğrisi oluşturmak için, her biri kendi olasılık ve ölümcüllüğüne sahip olan farklı kaza senaryolarının ilgili katkılarını hesaplamak gerekir. Sonuçta ortaya çıkan genel risk, kaza senaryolarının her birine karşılık gelen risklerin toplamıdır.

İzo-risk eğrilerini oluşturmak için:

- farklı kaza senaryoları (boruda delik, tankın çökmesi vb.),
- belirli bir olaya sistemin farklı tepkileri (sistem arızası, operatör müdahalesi vb.),
- farklı meteorolojik koşullarının (atmosferik stabilite, rüzgar yönü ve hızı),
- farklı ateşleme yerleri ve süreleri

hesaplamalarının yapılması gereklidir.

Bireysel risk eğrilerini hesaplamak için;

1. Bireysel riski hesaplamak için bir noktalar ağı tanımlanır. Ağ, analiz edilen faaliyeti/fabrikayı içermeli ve en azından, kaza senaryolarının herhangi bir ölümcül sonucunun gözlemlendiği maksimum mesafeyi kapsamalıdır.

2. Kaza senaryosunun (j) başladığı nokta için (x, y) koordinatlarını belirlenir. Bu kaza senaryosu için başlatıcı olayın sıklığını (f_{ji}) belirlenir.
3. Meteorolojik verileri belirleyin: kararlılık sınıfı ve buna karşılık gelen olasılık (PM), her sektör (rüzgar gülü) (Pw) için rüzgar yönünün olasılığı belirlenir. Termal radyasyon üreten kaza senaryoları için P = 1'dir.
4. Nihai kaza senaryosunun (P_{jf}) olasılığını belirleyin. Her bir denge sınıfı için öldürücü etkilerin kapsadığı alanı ve ölüm olasılıklarını (P_d) ve her ağ noktası için rüzgar yönünü belirlenir.
5. Başlayan olayın sıklığı, nihai kaza senaryosunun olasılığı, stabilite sınıfının olasılığı, rüzgar olasılığı dahil olmak üzere, dikkate alınan kaza senaryosu için bireysel riske katkı ($\Delta IR_{ji,jf,M,w}$) hesaplanır. Yön ve ağın belirli bir noktasında ölüm olasılıkları Eş. 2.10 ile hesaplanır.
6.

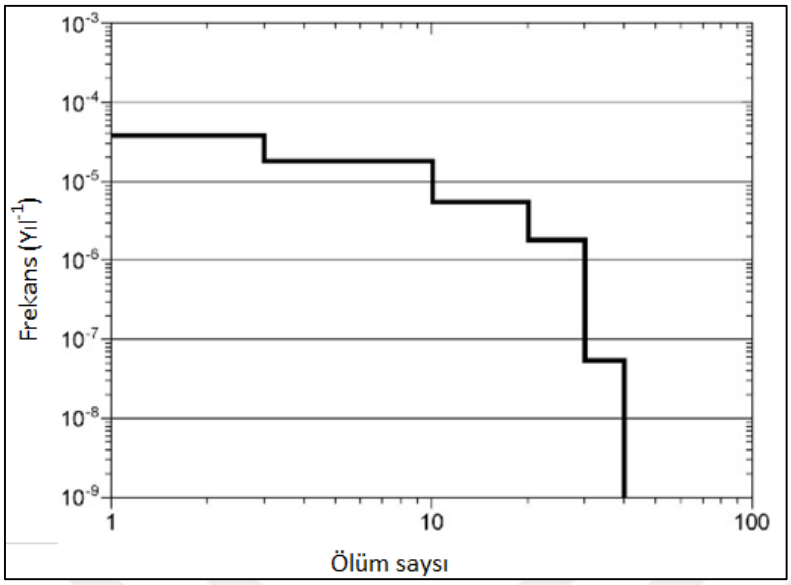
$$\Delta IR_{ji,jf,M,w} = f_{ji} \times P_{jf} \times P_M \times P_w \times P_d \quad (2.10)$$

7. Ağın belirli bir noktasındaki genel bireysel risk (IR) Eş. 2.11 ile hesaplanır.

$$IR = \sum_{ji} \sum_{jf} \sum_{M} \sum_{w} \Delta IR_{ji,jf,M,w} \quad (2.11)$$

adımları uygulanır.

Sosyal risk, Şekil 2.14.'deki f-N eğrileri ile gösterilir. Bu eğriler, yılda N veya daha fazla ölüme neden olan kaza senaryolarının kümülatif sıklığının (f) N'nin bir fonksiyonu olarak çizilmesiyle elde edilir.



Şekil 2.14. Örnek bir f-N eğrisi [57]

Bir sosyal risk f-N eğrisini hesaplamak için, ölüm sıklıklarının ve sayısının doğru bir şekilde birleştirilmesi önemlidir. Her kaza senaryosunda ölümlü N_i sayısı Eş. 2.12 ile hesaplanır.

$$N\mathrm{i} = \sum_{x,y} p_{\mathrm{x,y}} \times P_{\mathrm{Fi}} \tag{2.12}$$

Her kaza senaryosu için ölüm sayısı ve ilişkili sıklık tahmin edilmelidir. Veriler daha sonra kümülatif frekanslar (Eş. 2.13) olarak ifade edilir.

$$f\mathrm{N} = \sum_i f\mathrm{i} \tag{2.13}$$

tüm tesadüfi senaryolar i için $N_i \geq N$, f-N, N veya daha fazla ölümlü tüm kaza senaryolarının sıklığıdır (yıl^{-1}), fi, kaza senaryosu i'nin (yıl^{-1}) sıklığıdır ve Ni, kaza senaryosu i'deki ölümlülerin sayısıdır. f-N eğrileri esas olarak yerleşim alanlarının, okulların, hastanelerin ve diğer kamusal alanların belirli risk konturlarının dışında kalmasını sağlamak için planlamalarda kullanılır.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

3.1. Karayolu Tehlikeli Madde Taşımacılığına Yönelik Kazaların, Kaza Verilerinin Değerlendirilmesi

Stolecka (2020) tarafından tehlikeli maddelerin karayolu taşımacılığında karşılaşılabilecek tehlikeler incelenerek klor, amonyak, benzin, dizel veya LPG gibi seçilmiş tehlikeli maddelerden kaynaklanan kazaların olası etkileri ve tehlike bölgeleri analiz edilmiştir. Çalışmada, Avrupa Birliği ve Polonya içerisindeki ve bazı ülkelerdeki eşya taşımacılığına dair istatistiklere yer verilmiştir. LPG, benzin veya motorin, amonyak ve klor taşınması durumunda oluşacak salınımları için kaza senaryoları her bir madde için ayrı ayrı PHAST yazılımında modellenmiştir. Bir kazanın tehlike seviyesi ve olası sonuçlarının türünün, maddeye bağlı olarak değiştiği belirtilmiştir. İnsan ölümüne neden olan tehlike bölgesinin; yanıcı bir karışım (LPG) için yaklaşık 80 metre, yanıcı sıvı için (benzin veya motorin) yaklaşık 20 metre ve zehirli bir madde (amonyak) için yaklaşık 75 m^2'lik bir alanı kapsayabileceği gösterilmiştir [20].

Dumlupınar ve Öztürkoğlu (2019) tarafından tehlikeli madde taşımacılığı yapan lojistik firmalar için bir ölçek çalışması yapılarak elde edilen faktörler ADR bakış açısı ile analiz edilmiştir. Literatür taraması ile tehlikeli madde taşımacılığının bu ana faktörlerinin altında yer alan 35 risk faktörü belirlenerek açıklayıcı faktör analizi uygulayarak tehlikeli madde taşımacılığı için bahsedilen faktörlerin ilişkisi incelenmiştir. İnsan faktörleri, şirketle ilgili faktörler, malzeme ve ambalaj, araçların durumu, çevre ve trafik olmak üzere 5 temel faktör olmak üzere 24 risk unsuru tespit edilmiştir [26].

Kuzmin ve Freze (2019) tarafından Rusya Federasyonu'nda, karayolu ile tehlikeli madde taşımacılığı sırasında çevre güvenliğinin sağlanması sorunu tartışılmıştır. Rusya Federasyonu'nda tehlikeli maddelerin karayoluyla taşınması esnasında yaşanan kaza verileri ile düzenleyici yasal düzenlemeler analiz edilmiştir. Rusya Federasyonu'nda tehlikeli maddelerin taşınmasına ilişkin verilerin toplanması, depolanması ve konsolidasyonu için bir sistemin geliştirilmesi, GLONASS sistemi kullanılarak düzenlenmiş rotaya uygun olarak tehlikeli maddelerin taşınmasına yönelik özel araçların takibinin düzenlenmesi, yolun fiziksel ve geometrik özelliklerini, trafik akış koşullarını ve insan yapımına katkıda bulunan diğer faktörleri dikkate alınarak, tehlikeli maddelerin taşınması sırasında motorlu taşıtlar için rasyonel bir rotayı doğrulamak için bilimsel ve

metodolojik bir çerçeve geliştirmek için ilgili araştırmalar yapılması önerileri sunulmuştur [32].

Banabakova ve Minevski (2017) Tehlikeli madde taşıma seçenekleri olarak demiryolu ve karayolu taşımacılığının avantajlarını ve dezavantajlarını incelemiştir. Örnek bir karayolu kazası olasılığı, tehlikeli maddelerin çevreye yayılım, patlama veya yangın olasılığı ile çeşitli formüller üzerinden analiz edilmiştir. Tehlikeli maddelerin karayoluyla taşınmasında taşınacak tehlikeli maddelerin cinsine ve miktarına ve taşınacakları güzergahın uzunluğuna bağlı olarak doğru kara taşımacılığı türünün seçimi, mevcut ulaşım ağının yoğunluğunu, türünü ve özelliklerini dikkate alarak en uygun rota, en az riskle ve en az maliyetli şekilde, seçilen güzergah üzerindeki trafik akışı ve günün farklı saatlerindeki nüfus yoğunluğu dikkate alınarak tehlikeli maddelerin taşınması için günün saatinin seçimi yapılması önerilmiştir [34].

Zengin ve arkadaşları (2015) Diyarbakır-Bingöl karayolu Lice'de LPG tankerinde meydana gelen patlamanın neden olduğu yangın felaketini sunmak, bir acil servisin karşı karşıya olduğu çeşitli zorlukları ve hasta gruplarını belirlemek ve benzer afetler için daha etkin müdahalelerin tartışılmasını amaçlamıştır. Hasta bilgilerini hastane kayıt sistemleri, Sağlık Bakanlığı Kriz masası bilgileri ve medya kullanılarak elde etmişler ve istatistiksel analizini SPSS 18.0 (Statistical Package for Social Science,) yazılımı kullanarak yapmıştır. Bu kazada mortaliteyi etkileyen faktörler; ağır yanıkların oluşması, inhalasyon yaralanması varlığı, santral venöz kateter kullanımı, fasyotomi uygulaması, trakeostomi, endotrakeal entübasyon kullanımı ve ve sedoanaljezi ve hastaların şehir dışındaki yanık bakım ünitelerine nakli olduğunu ifade etmiştir. Kurtarma ve ilk müdahale personelinin yanı sıra, üretimden kullanıma kadar LPG ile ilgili işlerde çalışan tüm personelin kapsamlı bir şekilde eğitilmesini ve ileri teknolojik yangın ekipmanlarının kullanılması önermiştir [37].

Hemmatian ve arkadaşları (2019) MHIDAS (Major Hazard Incident Data Service), Kazalara İlişkin Analiz, Araştırma ve Bilgiler (ARIA), Büyük Kaza Raporlama Sistemi (MARS) ve Arıza ve Kazalar Teknik Bilgi Sistemi (FACTS)'de bulunan 202 BLEVE kazasından oluşan en büyük BLEVE kazası örnekleri üzerinde tarihsel bir araştırma yapılmasını amaçlamıştır. Elde ettikleri verileri Microsoft Access kullanılarak analiz etmiştir. BLEVE ile ilişkili en yaygın maddenin LPG, en yaygın faaliyetlerin taşıma, depolama ve işleme tesisleri ve transfer (yükleme/boşaltma) olduğunu tespit etmiştir [38].

Hemmatian ve arkadaşları (2015) MHIDAS (Major Hazard Incident Data Service), Kazalara İlişkin Analiz, Araştırma ve Bilgiler (ARIA), Büyük Kaza Raporlama Sistemi (MARS) ve Arıza ve Kazalar Teknik Bilgi Sistemi (FACTS)'de verileri bulunan domino etkisi içeren 127 BLEVE kazasını analiz ederek Domino etkisi dizisinde yangınların ilk olay olduğunu, BLEVE kazalarında, vakaların yaklaşık %70'inde ilk olayın yangın olduğunu, BLEVE'nin 1 dakika ile 1 saatten fazla sürebileceğini tespit edilmiştir [40].

Qureshi ve arkadaşları (2020) Pakistan'ın Ahmedpur Sharqia kasabası yakınlarında 25 Haziran 2017 tarihinde meydana gelen kaza koşullarını ve felakete katkıda bulunan olaylar dizisinin soruşturma, sürücü, araç tasarımı, yol tasarımı, döküntü ve polis yönetimi dahil ayrıntılı bir analiz yapılmasını amaçlamıştır. Olay yerinde yanan tankerin enkazı incelenerek kazanın şeklini belirlendi. Tankın yapısal özellikleri, bölgedeki tüm polis araçlarının GPS veri kayıtlarını, zaman damgaları ve güneş konumları için görgü tanıklarından alınan resimler ve videolar inceleyerek bir olaylar dizisi ve bir Haddons matrisi oluşturmuştur. Kazanın ilk nedeninin sürücünün direksiyon başında uyumasına bağlı olarak domino etkisini takip eden tam bir sistem arızası olduğunu, tankın yeterli teknik donanıma sahip olmadığını tespit etmiştir [43].

Çizelge 3.1. Kazaların, kaza verilerinin değerlendirilmesi literatür özet çizelgesi

Referans	Çalışmanın başlığı	Çalışmanın amacı	Kullanılan yöntemler	Çalışmada elde edilen sonuçlar
Katarzyna STOLECKA, System Safety: Human-Technical Facility-Environment, 2020	Tehlikeli maddelerin karayolu taşımacılığındaki tehlikeleri	Tehlikeli maddelerin karayolu taşımacılığında karşılanabilecek tehlikeler incelenerek klor, amonyak, benzin, dizel veya LPG gibi seçilmiş tehlikeli maddelerden kaynaklanan kazaların olası etkileri ve tehlike bölgelerinin analiz edilmesi	LPG, benzin veya motorin, amonyak ve klor taşınması durumunda oluşacak salınımları için kaza senaryoları her bir madde için ayrı ayrı PHAST yazılımında modellenmiştir.	• Bir kazanın tehlike seviyesi ve olası sonuçlarının türünün, maddeye bağlı olarak değiştiği belirtilmiştir. • İnsan ölümüne neden olan tehlike bölgesi; LPG için 80 metre, benzin veya motorin için 20 metre ve amonyak için 75 m2'lik bir alanı kapsar nitelikte bulunmuştur.

Çizelge 3.1. (devam) kaza verilerinin değerlendirilmesi literatür özet çizelgesi

M. Tuğçe DUMLUPINAR, Yücel ÖZTÜRKOĞLU, Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 2019	Tehlikeli madde taşıma risklerinin ADR'ye göre analiz edilmesi	Tehlikeli madde taşımacılığı yapan lojistik firmalar için bir ölçek çalışması yapılarak elde edilen faktörlerin ADR'ye göre analiz edilmesi	Literatür taraması ile tehlikeli madde taşımacılığının bu ana faktörlerinin altında yer alan 35 risk faktörü belirlenerek açıklayıcı faktör analizi uygulayarak tehlikeli madde taşımacılığı için bahsedilen faktörlerin ilişkisini incelenmiştir.	İnsan faktörleri, şirketle ilgili faktörler, malzeme ve ambalaj, araçların durumu, çevre ve trafik olmak üzere 5 temel faktör olmak üzere 24 risk unsuru tespit edilmiştir.
A V KUZMIN, T Yu FREZE, Materials Science and Engineering, 2019	Tehlikeli maddelerin karayoluyla taşınması güvenli midir? (Karayolu ile tehlikeli madde taşımacılığı ile ilgili çevre güvenliği)	Rusya Federasyonu'nda, karayolu ile tehlikeli madde taşımacılığı sırasında çevre güvenliğinin sağlanması sorununu tartışılması	Rusya Federasyonu'nda tehlikeli maddelerin karayoluyla taşınması esnasında yaşanan kaza verileri ile düzenleyici yasal düzenlemeler analiz edilmiştir.	Rusya Federasyonu'nda tehlikeli maddelerin taşınmasına ilişkin verilerin toplanması, depolanması ve konsolidasyonu için bir sistemin geliştirilmesi, GLONASS sistemi kullanılarak düzenlenmiş rotaya uygun olarak tehlikeli maddelerin taşınmasına yönelik özel araçların takibinin düzenlenmesi, Yolun fiziksel ve geometrik özelliklerini, trafik akış koşullarını ve insan yapımına katkıda bulunan diğer faktörleri dikkate alarak, tehlikeli maddelerin taşınması sırasında motorlu taşıtlar için rasyonel bir rotayı doğrulada bilimsel ve metodolojik bir çerçeve geliştirmek için ilgili araştırmalar yapılması önerilmiştir.

Çizelge 3.1. (devam) kaza verilerinin değerlendirilmesi literatür özet çizelgesi

Vanya BANABAKOVA, Ivan MINEVSKI, Globalization, the State and the Individual, 2017	Tehlikeli maddelerin taşınması için sorunlar ve risk yönetimi seçenekleri.	Tehlikeli madde taşıma seçenekleri olarak demiryolu ve karayolu taşımacılığının avantajlarını ve dezavantajlarını incelenmesi	Örnek bir karayolu kazası olasılığı, tehlikeli maddelerin çevreye yayılım, patlama veya yangın olasılığı ile çeşitli formüller üzerinden analiz edilmiştir	• Tehlikeli maddelerin karayoluyla taşınmasında tehlikeli maddelerin cinsine ve miktarına ve taşınacakları güzergahın uzunluğuna bağlı olarak doğru kara taşımacılığı türünün seçimi, • Mevcut ulaşım ağının yoğunluğunu, türünü ve özelliklerini dikkate alarak en uygun rota, en az Riskle ve en az maliyetli şekilde, seçilen güzergah üzerindeki trafik akışı ve günün farklı saatlerindeki nüfus yoğunluğu dikkate alınarak tehlikeli maddelerin taşınması için günün saatinin seçimi yapılması önerilmiştir.
Zengin, Y., Dursun, R., İçer, M., Gündüz, E., Durgun, H.M., Erbatur, S., Damar, Ö., Güloğlu, C. *Burns* 2015.	Diyarbakır Lice'de (Türkiye) LPG tankerinde meydana gelen patlamanın yol açtığı yangın felaketi: 21 Temmuz 2014	Diyarbakır-Bingöl karayolu Lice'de LPG tankerinde meydana gelen patlamanın neden olduğu yangın felaketini sunmak, bir acil servisin karşı karşıya olduğu çeşitli zorlukları ve hasta gruplarını belirlemek ve benzer afetler için daha etkin müdahalelerin tartışılması	Hasta bilgileri hastane kayıt sistemleri, Sağlık Bakanlığı Kriz masası bilgileri ve medya kullanılarak elde edilmiştir. statistiksel analiz SPSS 18.0 (Statistical Package for Social Science,) yazılımı kullanılarak yapılmışıtır.	• Bu kazada mortaliteyi etkileyen faktörler; ağır yanıkların oluşması, inhalasyon yaralanması varlığı, santral venöz kateter kullanımı, fasyotomi uygulaması, trakeostomi, endotrakeal entübasyon kullanımı ve ve sedoanaljezi ve hastaların şehir dışındaki yanık bakım ünitelerine nakli olduğu ifade edilmiştir. • Kurtarma ve ilk müdahale personelinin yanı sıra, üretimden kullanıma kadar LPG ile ilgili işlerde çalışan tüm personelin kapsamlı bir şekilde eğitilmesini ve ileri teknolojik yangın ekipmanlarının kullanılması önerilmiştir.

Çizelge 3.1. (devam) kaza verilerinin değerlendirilmesi literatür özet çizelgesi

Hemmatian, B., Casal, J., Planas, E., Rashtchian, D. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2019	BLEVE: Su örneği ve tarihsel bir araştırma	202 BLEVE kazasından oluşan bir dizi - şimdiye kadar araştırılan en büyük BLEVE kazası örneği- üzerinde tarihsel bir araştırma yapılması	MHIDAS (Major Hazard Incident Data Service), Kazalara İlişkin Analiz, Araştırma ve Bilgiler (ARIA), Büyük Kaza Raporlama Sistemi (MARS) ve Arıza ve Kazalar Teknik Bilgi Sistemi (FACTS)'de bulunan veriler Microsoft Access kullanılarak analiz edilmiştir.	BLEVE ile ilişkili • en yaygın maddenin LPG, • en yaygın • faaliyetlerin taşıma, depolama ve işleme tesisleri ve transfer (yükleme/boşaltma olduğu tespit edilmiştir.
Hemmatian, B., Casal, J., Planas, E. Reliability Engineering and System Safety. 2015.	Kaza domino dizilerinin birincil olayı olarak yangın: BLEVE örneği	Domino etkisi içeren 127 BLEVE kazasının analiz edilmesi	MHIDAS (Major Hazard Incident Data Service), Kazalara İlişkin Analiz, Araştırma ve Bilgiler (ARIA), Büyük Kaza Raporlama Sistemi (MARS) ve Arıza ve Kazalar Teknik Bilgi Sistemi (FACTS)'de bulunan veriler analiz edilmiştir.	• Domino etkisi dizisinde yangınların ilk olay olduğu, • BLEVE kazalarında, vakaların yaklaşık %70'inde ilk olayın yangın olduğu, • BLEVE'nin 1 dakika ile 1 saatten fazla sürebileceği Tespit edilmiştir.
Qureshi, O.M., Hafeez, A., Kazmi, S.S.H. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2020.	Ahmedpur Sharqia petrol tankeri trajedisi: Tarihin en büyük trafik kazalarından birinden alınan dersler.	Kaza koşullarının ve felakete katkıda bulunan olaylar dizisinin soruşturma, sürücü, araç tasarımı, yol tasarımı, döküntü ve polis yönetimi dahil ayrıntılı bir analiz yapılması	Olay yerinde yapılan inceleme sonucunda yanan tankerin enkazı incelenerek kazanın şekli belirlendi. Tankın yapısal özellileri, bölgedeki tüm polis araçlarının GPS veri kayıtları, zaman damgaları ve güneş konumları için görgü tanıklarından alınan resimler ve videolar incelenerek bir olaylar dizisi ve bir Haddons matrisi oluşturulmuştur.	• Kazanın ilk nedeninin sürücünün direksiyon başında uyumasına bağlı olarak domino etkisini takip eden tam bir sistem arızası olduğu, • Tankın yeterli teknik donanıma sahip olmadığı tespit edilmiştir.

3.2. Karayolu Tehlikeli Madde Taşımacılığına Yönelik Kazaların Risk Analizi ve Risk Değerlendirmesi

Janno (2019), tehlikeli madde taşımacılığı zincirinde (DGTC) insan kaynaklı riskler açısından risk yönetiminin kısa görüşlü olduğu ve proaktif olarak güvenliği sağlamak yerine sonuçların ortadan kaldırılmasına odaklandığı sorununu ile insan faktörüne bağlı risklerin yönetimine vurgu yaparak evrensel bir risk yönetimi modeli geliştirmeyi amaçlamaktadır. Yol özelliklerine, hava koşullarına ve trafik faktörlerine dayalı olarak acil durum müdahalesini iyileştirmeyi, meydana gelme sıklığı, kaza sonuçları ve özelliklerini kaza riski analizi metodolojileri ile araç kapasitesi ve rota seçimini iyileştirmeyi amaçlayan yöntemler kullanmıştır. Sunmuş olduğu Risk yönetimi modelinin tehlikeli maddeleri taşırken karşılaşılabilecek darboğazlar hakkında farklı tarafları açısından değerli bilgiler sağlayacağı ve personelin nasıl eğitileceği konusunda kesin rehberlik sağlayarak belirli riskleri öngörmeye ve dolayısıyla yönetmeye yardımcı olabileceğini belirtmiştir [21].

Bęczkowska ve arkadaşları (2020) tarafından, risk değerlendirmesinin tahmin edilmesi ve bir trafik kazasının ana nedeni olarak insan faktörlerinin modellenmesi amaçlamıştır. İnsan faktörünü karakterize eden parametrenin değerini üretmek için bulanık mantık teknikleri kullanılmıştır. Tehlikeli ürünlerin taşınmasında trafik kazası olasılığının hesaplanmasında "bant" modeli kullanılmıştır. Risk değerlendirmesine yönelik bant modeli yöntemi yol bölümlerinin sınıflandırılmasına bağlı olarak hem planlanan hem de mevcut güzergahlarda insan faktörünü, tehlikeli madde sınıflarına ayrılmasını, olası senaryoların etkisini ve taşıma güvenliği üzerindeki riskleri dikkate alarak risk değişkenliğini tahmin etmek için yararlı olduğu belirtilmektedir [22].

Gromek (2017) tarafından Polonyadaki Tehlikeli madde taşımacılığı ile ilgili kurumların görevleri ve birbirleri ile olan ilişkileri ile ADR güvenlik sistemi (ADR SaS) analiz edilmiştir. Sistem metodolojik varsayımlarının kullanımıyla emniyetin tanımı, emniyet sistemi verimliliğine praksiolojik bakış açısı ve ağ verimliliğinin belirlenmesi aşamalarından oluşan araştırma metodolojisi uygulanmıştır. Verimliliğin sağlanması için yönetim otoriteleri, insan kaynakları ve teknik kaynakların eşit dağılımını sağlaması, ADR SaS'da açık bir karar verme yapısına ihtiyaç duyulduğundan uzman kişilerden oluşan kriz yönetim ekipleri toplanarak, göndericiler, nakliyeciler, alıcılar ve ayrıca yükleme ve boşaltma personeli, taşıma süreçlerine dahil edilmelidir. Verimliliğin artırılması için, acil

durum prosedürleri ile ilk müdahale ekipleri oluşturulması ekonomik tasarruf sağlanabileceği belirtilmiştir [23].

Łukasik ve arkadaşları (2017) tarafından tehlikeli maddelerin Avrupa Birliğinde karayolu ile taşınmasına ilişkin yapılan denetimler yasal düzenlemelerin analizi yapılmıştır. Avrupa Birliği ve üye ülkelerine ait Eurostat veri tabanındaki tehlikeli madde taşımacılığı istatistikleri ve yasal düzenlemeler incelenmiştir. Yasal düzenlemelere ve İş sağlığı ve güvenliği (İSG) düzenlemelerine uymamanın cezalarının, arıza durumunda onarım maliyetleri kadar yükseltilmesi önerisi sunulmuştur [24].

Çalış Boyacı ve Gencer (2018) tarafından Geleneksel risk modeliyle uyumlu, Glickman vd. (2007) tarafından geliştirilen demiryolu risk modeli temel alınarak bazı değişikliklerle Türkiye'ye uyarlanmıştır. Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları İşletmesi Genel Müdürlüğü (TCDD)'nden elde edilen veriler doğrultusunda demir yolu taşımacılığındaki risk değeri hesaplanmıştır [25].

Janno ve Koppel (2018) tarafından tehlikeli madde taşımacılığında Estonya'da insan faktörünün önemi ve operasyonel risklerin belirlenmesine ve analizine odaklanılmıştır. Yarı kantitatif risk değerlendirme yöntemini uygulayarak, tehlikeli maddelerin karayollarında taşınması sırasında operasyonel risklerin seviyelerine göre kabul edilebilir, tolere edilebilir ve kabul edilemez operasyonel risklerin olarak ayrıştırılmasına olanak tanınmıştır. Estonya'daki tehlikeli maddelerin karayollarında taşınması sırasında insan faktörünün kazaların meydana gelmesindeki en önemli faktörlerden biri olduğu sonucunda varılmıştır [27].

Vagiokas ve Zacharias (2021) tarafından gerçek zamanlı veriler (trafik akışları, meteorolojik koşullar vb.) kullanılarak yapılacak bir risk analizinin topluma ve personele daha yüksek düzeyde güvenlik sağlayıp sağlayamayacağını kanıtlayacak Tehlikeli Madde Taşımacılığı ile ilgili bir ön araç geliştirmek amaçlanmıştır. Seçilen iki güzergah için tüm kritik parametreler dikkate alınarak kantitatif Risk Değerlendirme Modeli (QRAM) uygulanmıştır. Tehlikeli madde (DG) Risk taşımacılığını bir çevrimiçi GPS platformu aracılığıyla gerçek zamanlı veri toplama ve gerçek zamanlı risk değerlendirmesi ile bir risk yönetimi süreci olarak tamamen dijital hale getirmek ve güvenliği artırmak için tehlikeli madde taşımacılığının daha fazla araştırılması ve iyileştirilmesi önerilmiştir [28].

Weng ve arkadaşları (2021) Şanghay'daki tehlikeli madde taşımacılığıyla ilgili verilerle olası tüm kaza senaryolarının sıklığını ve sonuçlarını birleştiren tehlikeli madde taşımacılığı kaza riskini değerlendirmek için kantitatif bir risk değerlendirme (QRA) modeli geliştirilmesi amaçlamıştır. Olası tüm kaza senaryolarını belirlemek için, QRA modeli için kaza süresi, rüzgar hızı, kazaya karışan araç sayısı, sızıntı deliği boyutu, tehlikeli madde kamyonunun yaralanması/ölümünü içeren altı ara olaydan oluşan olay ağacı yöntemi ile ALOHA yazılımını kullanmıştır. Şiddetli rüzgarlı hava koşulları için daha az ciddi tehlikeli madde taşıma kazalarının (yani sadece az sayıda ölüme neden olan) oluşma sıklığının artacağı, Pudong yeni bölgesinin tehlikeli madde taşımacılığı kazalarından kaynaklanan daha yüksek sosyal riskle Şanghay'daki diğer bölgelere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir [29].

Ghaleh ve arkadaşları (2019) Tehlikeli maddelerin karayolu filosu taşımacılığının güvenlik riskinin değerlendirilmesi ve taşıtların bir güvenlik yaklaşımı ile sınıflandırılması modelini önermeyi amaçlamıştır. Güvenlik riskine katkıda bulunan faktörler (SRCF)S) ve alt güvenlik riskine katkıda bulunan faktörler (Sub-SRCF)S) karayolu petrol taşıtlarının iş tehlikesi analizi (JHA) yöntemi ile Karayolu petrol aşıtlarında güvenlik riski değerlendirme modeli, hata türleri ve etki analizi (FMEA) yaklaşımı kullanmıştır. Gelecekte yeni bir güvenlik riski değerlendirmesi modeli geliştirilebilmesi için kombine araçların (taşıyıcı ve sökülebilir tanklı) araştırılması önermiştir [30].

Yalçınkaya ve arkadaşları (2020) tarafından tehlikeli maddelerin taşınması sırasında meydana gelebilecek 4 farklı senaryo belirlenmiş ve Hata Ağacı Analizi yardımıyla süreç değerlendirmeleri yapılmıştır. Hata ağacında yer alan temel risklerin belirlenmesinde, yüz yüze görüşmeler (İSG uzmanları ve TMGD) ve kayıt tarama (ramak kala kayıtları) süreçleri yürütülmüştür. Çalışmanın sonucunda, senaryolar kapsamındaki hatalı olaylar/davranışlar doğrultusunda halk sağlığının ve çevresel sürdürülebilirliğin desteklenmesine yönelik çözüm önerileri sunulmuştur [31].

Garrido ve Bronfman (2017) tarafından farklı nüfus yoğunluklarına sahip düzensiz bölgeler üzerinde yattığı bir kentsel ulaşım ağındaki bir varış noktasına bir köken oluşturan tehlikeli maddelerin taşınması sorunu incelenmiştir. Birden fazla tehlikeli madde türünün taşıma sürecindeki risklerin yanı sıra eksojen(dış kaynaklı) kaynaklardan diğer temel riskler de dahil olmak üzere çeşitli eşzamanlı rotalar boyunca dağıtılması gerektiğinde, riskin

mekansal dağılımına eşitlik kavramını dahil etmek için bir metodoloji geliştirilmeye çalışılmıştır. Sonuçta ortaya modelleme yaklaşımı, riskin doldurulan bölgeler arasında adil bir şekilde dağıtılmasına izin veren ve toplam risk düzeyini sosyal olarak kabul edilebilir bir eşiğin altında kısıtlayan esnek bir doğrusal kısıtlama kümesini içeren doğrusal kesirli bir programlama modeli iki varsayımsal örneğe ve Santiago, Şili'deki gerçek bir vakaya uygulanmıştır. Önerilen modelleme yaklaşımı, herhangi bir sosyal hedefi doğrusal kısıtlamalar çerçevesine dahil etmek için yeterli olduğu belirtilmiştir [33].

Zhong ve arkadaşları (2018) tarafından karayolu taşımacılığı risk yönetimi seviyesinin iyileştirilmesine yardımcı olabilecek her bir bağlantının zarar görebilirliğini değerlendirmek için tehlikeli madde karayolu ulaşım ağının kantitatif bir zarar görebilirlik analizi geliştirilmesi amaçlanmıştır. Karayolu ulaşım ağı topolojisi ve tehlikeli maddelerin karayolu ulaşım riski özelliklerinin kapsamlı analizine dayanarak iki bağlantı arasındaki alaka düzeyini ölçmek ve tehlikeli maddelerin karayolu taşımacılığı zarar görebilirliğini değerlendirmek için klasik Gravity modeline dayanan bir Darbe dayanımı modeli geliştirilmiştir. Guangzhou'nun tehlikeli maddelerin karayolu ulaşımı ele alınmıştır. Verilerin analizinde ArcGIS yazılımı kullanılmıştır. Tehlikeli Madde ulaşım ağlarında yüksek risk içeren bağlantıları belirlemek için riskin tek perspektifinden gelen dezavantajları etkin bir şekilde ortadan kaldırması ve daha yüksek riskli ve önemli trafik ağı topolojisine sahip yol bölümünü doğru bir şekilde konumlandırmayı başarması nedeniyle Darbe dayanımı modelinin kullanılması önerilmiştir [35].

Toretta ve arkadaşları (2017) Tehlikeli maddelerin işlenmesinden kaynaklanan riskteki azaltmada (kaza olasılığı ve olası sonuçlar) karar vericileri en yeterli stratejik, taktik ve operasyonel çözümleri bulmada destekleyen Karar Destek Sistemleri (DSS) geliştirmeyi amaçlamıştır. Son 15 yılda geliştirilen HAMER (HAzardous Material Emergency Response), HAZMAT path SDSS, TrHaM (Transport of Hazardous Materials), TrHazGis– Transportation Hazardous GIS, TRAT-GIS 4.1 (Transportation Risk Analysis), DESTINATION project 2014, SIIG (Sistema Informativo Integrato Globale – Global Integrated Information System) hakkında bir inceleme yapılmış ve ilgili literatür incelemiş ve bu yazılımların özellikleri ve faydaları karşılaştırılmıştır. İncelenen karar destek sistemlerinin oldukça ileri düzeyde oldukları ancak geliştirilmeye devam etmesinin gerektiğini önermiştir [36].

Nakhal A ve arkadaşları (2021) MHIDAS'ta rapor edilen endüstriyel olaylara ilişkin yeni bir anlayış sağlamayı ve tanımlayıcı ve kantitatif analizler yoluyla mesleki/operasyonel olayları keşfetmenin olası yollarını ortaya çıkarmayı amaçlamıştır. İş zekası (BI) veri modeli oluşturarak MHIDAS verilerin analizi ve Makine öğrenmesi (ML) güdümlü kümeleme algoritmaları ile entegrasyon yapmıştır. Dinamik veri görselleştirmeyi kolaylaştırmak için İş Zekası (BI) araçlarının uygulanması ve farklı veri girişlerinden bilginin çıkarılması için Makine Öğrenimi (ML) algoritmaları önermiştir [39].

Wang ve arkadaşları (2022) LPG tank römorkunun kazasının LPG dağılımını ve patlamayı tetiklediğini göstermeyi amaçlamıştır. Buhar bulutu patlamaları (VCE) veya BLEVE senaryolarından sıcaklık, alev hızı ve patlayıcı aşırı basıncın sayısal simülasyonları için FLACS yazılımı kullanmıştır. LPG tankerlerinin basınçlı kaplarında meydana gelen arızanın kaza nedeni olduğu, buhar bulutu patlaması (VCE) sonucunda sürekli salınımın patlamaya neden olduğu şok dalgasının oluşturduğu aşırı basıncın ve ateş topundan gelen termal dağılımın kaza mahallinden farklı yönlere yayıldığını ve çok büyük hasarların olduğunu tespit etmiştir [41].

Landucci ve arkadaşları (2017) tarafından Viareggio LPG kazasının, tehlikeli madde taşımacılığı risk analizi perspektifinde kantitatif risk analizi yapılmıştır. Ciddi senaryolar nedeniyle riski kontrol etmek için birkaç güvenlik bariyerlerinin düşünülmesi bu bariyerlerin detaylı tasarımı yapılırken CFD modelleri kullanılması tavsiye edilmiştir [42].

Jacob ve Hassim (2017), 1995-2015 yılları arasında tehlikeli madde taşımacılığının tehlike ve risk değerlendirmesi için mevcut yöntemlerin karayolu, deniz, demiryolu, hava ve boru hattı sistemini dikkate alarak kapsamlı bir incelemesini sunmayı amaçlamaktadır. 1995'ten 2015'e kadar Tehlikeli Madde taşımacılığına ilişkin literatür taraması yapmış ve bunlar arasından seçilen 151 yayın kalitatif, kantitatif veya hibrit teknikler üzerinden incelenmiştir. Tehlikeli Madde taşımacılığının güvenliğini artırabilecek uygun risk değerlendirme yöntemlerinin geliştirilmesine olanak tanıyan bir referans kaynağı oluşturmuştur [63].

Walendzik ve arkadaşları (2021) tarafından Polonya'da tehlikeli maddelerin karayoluyla taşınmasıyla ilgili tehlikelerin azaltılmasına yönelik kurumsal ve yasal olanakların belirlenmesi amaçlanmıştır. Polonya'daki Yanıcı, patlayıcı, aşındırıcı, toksik ve radyoaktif maddeler de dahil olmak üzere tüm tehlikeli malların taşınmasını izleme ve kontrol etmede

görevli kurumlardan elde edilen verilerin analizi yapılmıştır. Tehlikeli maddelerin taşınmasının terör saldırıları tehdidi de göz önüne alınarak, bir izleme ve gözetleme sisteminin uygulanması ve bu amaçla yasal düzenlemelerin yapılması [64].

Izdebski ve arkadaşları (2022) bir trafik kazası olasılığını, en aza indirme bağlamında, tehlikeli maddelerin taşınmasında araçların rotalarının belirlenmesi sorununu incelenmiştir. Polonya'nın orta doğusundaki Mazowieckie Eyaletinde bulunan bir bölge için bir ulaşım ağı ele almıştır. STATISTICA programı ve tehlikeli madde taşıma güzergahlarının belirlenmesinde karınca kolonisi ve genetik algoritma kullanmıştır. Karınca kolonisi ve genetik algoritmalarının, tehlikeli madde taşımacılığı yapan araçların karıştığı kaza riskini en aza indirmek için tehlikeli madde taşımacılığı organizatörleri için gerekli analizleri yapmak için etkili bir araç olabileceğini göstermiştir [65].

Çizelge 3.2. Kazaların risk analizi ve risk değerlendirmesi literatür özet çizelgesi

Referans	Çalışmanın başlığı	Çalışmanın amacı	Kullanılan yöntemler	Çalışmada elde edilen sonuçlar
Jelizaveta JANNO, Tallinn University Of Technology School of Engineering Department of Mechanical and Industrial Engineering, 2019	Risk Yönetim Modeli: Tehlikeli Maddelerin Karayolu Taşımacılığında İnsan Faktörüne Bağlı Riskler ve Etkileri	Tehlikeli madde taşımacılığı zincirinde (DGTC) insan kaynaklı riskler açısından risk yönetiminin kısa görüşlü olduğu ve proaktif olarak güvenliği sağlamak yerine sonuçların ortadan kaldırılmasına odaklandığı sorununu ile insan faktörüne bağlı risklerin yönetimine vurgu yaparak evrensel bir risk yönetimi modeli geliştirilmesi	Yol özelliklerine, hava koşullarına ve trafik faktörlerine dayalı olarak acil durum müdahalesini iyileştirmeyi, meydana gelme sıklığı, kaza sonuçları ve özelliklerini kaza riski analizi metodolojileri ile araç kapasitesi ve rota seçimini iyileştirmeyi amaçlayan yöntemler kullanılmıştır.	Sunulan Risk yönetimi modelinin, tehlikeli maddeyi (DG) taşırken karşılaşılabilecek darboğazlar hakkında farklı tarafları açısından değerli bilgiler sağlayacak ve personelin nasıl eğitileceği konusunda kesin rehberlik sağlayarak belirli riskleri öngörmeye ve dolayısıyla yönetmeye yardımcı olabileceği belirtilmiştir.

Çizelge 3.2. (devam) Kazaların risk analizi ve risk değerlendirmesi literatür özet çizelgesi

Sylwia BĘCZKOWSKA, Włodzimierz CHOROMAŃSKI, Iwona GRABAREK, Transport Problems, 2020	Tehlikeli maddelerin karayolu ile taşınmasında risk ve insan faktörü	Risk değerlendirmesinin tahmin edilmesi ve bir trafik kazasının ana nedeni olarak insan faktörlerinin modellenmesi	İnsan faktörünü karakterize eden parametrenin değerini üretmek için bulanık mantık teknikleri kullanılmıştır. Tehlikeli ürünlerin taşınmasında trafik kazası olasılığının hesaplanmasında "bant" modeli kullanılmıştır	Risk değerlendirmesine yönelik bant modeli yöntemi yol bölümlerinin sınıflandırılmasına bağlı olarak hem planlanan hem de mevcut güzergahlarda insan faktörünü, tehlikeli madde sınıflarına ayrılmasını, olası senaryoların etkisini ve taşıma güvenliği üzerindeki riskleri dikkate alarak risk değişkenliğini tahmin etmek için yararlı olduğu belirtilmiştir.
Zbigniew ŁUKASIK, Aldona KUŚMIŃSKA-FIJAŁKOWSK, JacekKOZYRA, Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport. 2017	Avrupa açısından tehlikeli maddelerin karayoluyla taşınması	Tehlikeli maddelerin Avrupa Birliğinde karayolu ile taşınmasına ilişkin yapılan denetimler yasal düzenlemelerin analizi	Avrupa Birliği ve üye ülkelerine ait Eurostat veri tabanındaki tehlikeli madde taşımacılığı istatistikleri ve yasal düzenlemeleri incelenmiştir.	Yasal düzenlemelere ve İSG düzenlemelerine uymamanın cezaları, arıza durumunda onarım maliyetleri kadar yükseltilmesi önerisi sunulmuştur.
Pawel GROMEK, Procedia Engineering, 2017	Verimlilik koşullandırmada ADR güvenlik sistemi,	Polonyadaki Tehlikeli madde taşımacılığı ile ilgili kurumların görevleri ve birbirleri ile olan ilişkileri ile ADR güvenlik sisteminin (ADR SaS) analiz edilmesi	Sistem metodolojik varsayımlarının kullanımıyla emniyetin tanımı, emniyet sistemi verimliliğine praksiolojik bakış açısı ve ağ verimliliğinin belirlenmesi aşamalarından oluşan araştırma metodolojisi uygulanmıştır.	Verimliliğin sağlanması için yönetim otoriteleri, insan kaynakları ve teknik kaynakların, ADR SaS'da açık bir karar verme yapısına ihtiyaç duyulduğundan uzman kişilerden oluşan kriz yönetim ekipleri toplanması, taşıma süreçlerindeki kişilern doğrudan dahil dilmesi, Verimliliğin artırılması için, acil durum prosedürleri, ilk müdahale ekipleri oluşturulmasını ekonomik tasarruf sağlayacağı, belirtilmiştir.

Çizelge 3.2. (devam) Kazaların risk analizi ve risk değerlendirmesi literatür özet çizelgesi

Aslı ÇALIŞ BOYACI, Cevriye GENCER, International Journal of Economic and Administrative Studies, 2018	Tehlikeli madde taşımacılığında demir yolu risk modeli önerisi.	Geleneksel risk modeliyle uyumlu, demir yolu risk modeli temel alınarak bazı değişikliklerle Türkiye'ye uyarlanması	Geleneksel risk modeliyle uyumlu, Glickman vd. (2007) tarafından geliştirilen demiryolu risk modeli temel alınarak bazı değişikliklerle Türkiye'ye uyarlanmıştır.	Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları İşletmesi Genel Müdürlüğü (TCDD)'nden elde edilen veriler doğrultusunda demir yolu taşımacılığındaki risk değeri hesaplanmıştır.
Jelizaveta JANNO, Otto KOPPEL, Journal of Logistics, 2018	Karayollarında tehlikeli madde taşıma zincirinde operasyonel riskler	Tehlikeli madde taşımacılığında Estonya'da insan faktörünün önemi ve operasyonel risklerin belirlenmesi ve analizi	Yarı kantitatif risk değerlendirme yöntemini uygulayarak, tehlikeli maddelerin karayollarında taşınması sırasında operasyonel risklerin seviyelerine göre kabul edilebilir, tolere edilebilir ve kabul edilemez operasyonel riskler olarak ayrıştırılmasına olanak tanımıştır.	Estonya'daki tehlikeli maddelerin karayollarında taşınması sırasında insan faktörünün kazaların meydana gelmesindeki en önemli faktörlerden biri olduğu sonucuna varılmıştır.
Nikolaos VAGIOKAS, Christos ZACHARIAS, Open Access Library Journal, 2021	Tehlikeli maddeli taşımacılığı riskleri analiz etmek için araç	Gerçek zamanlı veriler (trafik akışları, meteorolojik koşullar vb.) kullanılarak yapılacak bir risk analizinin topluma ve personele daha yüksek düzeyde güvenlik sağlayıp sağlayamayacağını kanıtlayacak Tehlikeli Madde Taşımacılığı ile ilgili bir ön araç geliştirilmesi	Seçilen iki güzergah için tüm kritik parametreler dikkate alınarak risk analizi yapılmıştır. Kantitatif Risk Değerlendirme Modeli (QRAM) F-N eğrileri ve Sosyal Risk hesaplamaları uygulanmıştır.	Tehlikeli Madde Risk taşımacılığını bir çevrimiçi GPS platformu aracılığıyla gerçek zamanlı veri toplama ve gerçek zamanlı risk değerlendirmesi ile bir risk yönetimi süreci olarak tamamen dijital hale getirmek için güvenliği artırmada tehlikeli madde taşımacılığının daha fazla araştırılması ve iyileştirilmesi önerilmiştir.

Çizelge 3.2. (devam) Kazaların risk analizi ve risk değerlendirmesi literatür özet çizelgesi

Jinxian WENG, Xiafan GAN, Zheyu ZHANG, Safety Science, 2021	Tehlikeli madde taşımacılığı kaza riskini değerlendirmek için kantitatif bir risk değerlendirme modeli	Şanghay'daki tehlikeli madde taşımacılığıyla ilgili verilerle olası tüm kaza senaryolarının sıklığını ve sonuçlarını birleştiren tehlikeli madde taşımacılığı kaza riskini değerlendirmek için kantitatif bir risk değerlendirme (QRA) modeli geliştirilmesi	Olası tüm kaza senaryolarını belirlemek için, Kantitatif Risk Analizi (QRA) modeli için kaza süresi, rüzgar hızı, kazaya karışan araç sayısı, sızıntı deliği boyutu, tehlikeli madde kamyonunun yaralanması/ölümünü içeren altı ara olaydan oluşan olay ağacı yöntemi ile ALOHA yazılımı kullanılmıştır.	Şiddetli rüzgarlı hava koşulları için daha az ciddi tehlikeli madde taşıma kazalarının (yani sadece az sayıda ölüme neden olan) oluşma sıklığının artacağı, Pudong yeni bölgesinin, tehlikeli madde taşımacılığı kazalarına karşı Şanghay'daki diğer bölgelere göre daha yüksek riskte olduğu tespit edilmiştir.
Sahar GHALEH, Manouchehr OMIDVARI, Parvin NASSIRI, Mansour MOMENI, Seyed MOHAMMADRE ZA, Miri LAVASANI, Safety Science, 2019	Tehlikeli maddelerin (petrol ürünleri) karayolu filosu taşımacılığında güvenlik riski değerlendirmesi modeli.	Tehlikeli maddelerin karayolu filosu taşımacılığının güvenlik riskinin değerlendirilmesi ve taşıtların bir güvenlik yaklaşımı ile sınıflandırılması modelinin önerilmesi	Bu araştırmada öncelikle güvenlik riskine katkıda bulunan faktörler (SRCF)S) ve alt güvenlik riskine katkıda bulunan faktörler (Sub-SRCF)S) karayolu petrol taşıtlarının iş tehlikesi analizi (JHA) yöntemi kullanılmıştır. Karayolu petrol aşıtlarında güvenlik riski değerlendirme modeli, arıza modları ve etki analizi (FMEA) yaklaşımı kullanılmıştır.	Gelecekte yeni bir güvenlik riski değerlendirmesi modeli geliştirilebilmesi için kombine araçların (taşıyıcı ve sökülebilir tanklı) araştırılması önerilmiştir.
Nermin Merve YALÇINKAYA, Emine DEMİREL, Nuriye SAY, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 2020	Tehlikeli maddelerin karayolu ile taşınması sürecinde ortaya çıkan çevresel risklerin hata ağacı analizi (HAA) ile değerlendirmesi.	Tehlikeli maddelerin taşınması sırasında meydana gelebilecek 4 farklı senaryo belirlenmiş ve kalitatif risk analizi teknikleri arasında yer alan Hata Ağacı Analizi yardımıyla süreç değerlendirilmesi	Hata ağacı analizi (HAA) tekniği kullanılmıştır. Hata ağacında yer alan temel risklerin belirlenmesinde, yüz yüze görüşmeler (İSG uzmanları ve TMGD) ve kayıt tarama (ramak kala kayıtları) süreçleri yürütülmüştür	Çalışmanın sonucunda, senaryolar kapsamındaki hatalı olaylar/davranışlar doğrultusunda halk sağlığının ve çevresel sürdürülebilirliğin desteklenmesine yönelik çözüm önerileri sunulmuştur.

Çizelge 3.2. (devam) Kazaların risk analizi ve risk değerlendirmesi literatür özet çizelgesi

Nakhal A, A.J., Patriarca, R., Di Gravio, G., Antonioni, G., Paltrinieri,N. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2021	İş Zekası ve Makine Öğrenimi aracılığıyla mesleki ve operasyonel endüstriyel güvenlik verilerinin araştırılması	MHIDAS'ta rapor edilen endüstriyel olaylara ilişkin yeni bir anlayış sağlamayı ve tanımlayıcı ve nicel analizler yoluyla mesleki/ operasyonel olayları keşfetmenin olası yollarını ortaya çıkarmayı amaçlanmıştır.	İş zekası (BI) veri modeli oluşturularak MHIDAS verilerin analizi ve Makine öğrenmesi (ML) güdümlü kümeleme algoritmaları ile entegrasyon yapılmıştır.	Dinamik veri görselleştirmeyi kolaylaştırmak için İş Zekası (BI) araçlarının uygulanması ve farklı veri girişlerinden bilginin çıkarılması için Makine Öğrenimi (ML) algoritmaları önerilmiştir
Huiling ZHONG, Jun WANG, Tsz Leung YİP, Yimiao GU, Transportation Research Part D, 2018	Tehlikeli madde karayolu ulaşım ağının kırılganlığını değerlendirmek için yerçekimi tabanlı yenilikçi bir yaklaşım: Guangzhou, Çin vaka çalışması.	Karayolu taşımacılığı risk yönetimi seviyesinin iyileştirilmesine yardımcı olabilecek her bir bağlantının zarar görebilirliğini değerlendirmek için tehlikeli madde karayolu ulaşım ağının kantitatif bir zarar görebilirlik analizi geliştirilmesi	Tehlikeli maddelerin; Karayolu ulaşım ağı topolojisi ve taşıma riski özelliklerinin kapsamlı analizine dayanarak iki bağlantı arasındaki bağlantıyı ölçmek ve tehlikeli maddelerin karayolu taşımacılığı zarar görebilirliğini değerlendirmek için klasik Gravity modeline dayanan bir Darbe dayanımı modeli geliştirilmiştir. ArcGIS yazılımı kullanılmış ve Guangzhou karayolu ulaşımı ele alınmıştır.	Tehlikeli Madde ulaşım ağlarında yüksek risk içeren bağlantıları belirlemek için riskin tek perspektifinden gelen dezavantajları etkin bir şekilde ortadan kaldırması ve daha yüksek riskli ve önemli trafik ağı topolojisine sahip yol bölümünü doğru bir şekilde konumlandırmayı başarması nedeniyle Darbe dayanımı modelini kullanılması önerilmiştir.
Landucci, G., Antonioni, G., Tugnoli, A., Bonvicini, S., Molag, M., Cozzini, V. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2017	Tehlikeki maddelerin taşınmasında güvenlik değerlendirmesi: Viareggio LPG kazası perspektifinden bir yeniden değerlendirme.	Viareggio LPG kazasının, tehlikeli madde taşımacılığı risk analizi perspektifinde analizi	Viareggio senaryosunun kantitatif risk analizi yapılmıştır.	• Ciddi senaryolar nedeniyle riski kontrol etmek için birkaç güvenlik bariyerlerinin düşünülmesi • bu bariyerlerin detaylı tasarımı yapılırken CFD modelleri kullanılması tavsiye edilmiştir.

Çizelge 3.2. (devam) Kazaların risk analizi ve risk değerlendirmesi literatür özet çizelgesi

Rodrigo A. GARRIDO, Andrés C. BRONFMAN, Transportation Research Part A, 2017	Kentsel alanlardan geçen çoklu tehlikeli maddelerde eşitlik ve sosyal kabul edilebilirlik.	Farklı nüfus yoğunluklarına sahip düzensiz bölgeler üzerinde yattığı bir kentsel ulaşım ağındaki bir varış noktasına sorun oluşturan tehlikeli maddelerin taşınması incelenmiştir. Birden fazla tehlikeli madde türünün taşıma sürecindeki risklerin yanı sıra dış kaynaklı kaynaklardan diğer temel riskler de dahil olmak üzere çeşitli eşzamanlı rotalar boyunca dağıtılması gerektiğinde, riskin mekansal dağılımına eşitlik kavramını dahil etmek için bir metodoloji geliştirilmesi	Sonuçta ortaya modelleme yaklaşımı, riskin doldurulan bölgeler arasında adil bir şekilde dağıtılmasına izin veren ve toplam risk düzeyini sosyal olarak kabul edilebilir bir eşiğin altında kısıtlayan esnek bir doğrusal kısıtlama kümesini içeren doğrusal kesirli bir programlama modeli iki varsayımsal örneğe ve Santiago, Şili'deki gerçek bir vakaya uygulanmıştır.	Önerilen modelleme yaklaşımı, herhangi bir sosyal hedefi doğrusal kısıtlamalar çerçevesine dahil etmek için yeterli bulunmuştur.
Mohd Najib YACOB, Mimi Haryani HASSIM, Journal of Advanced Review on Scientific Research, 2017	1995-2015 yılları arasında HAZMAT taşımacılığı için risk değerlendirme metodolojileri hakkında kapsamlı inceleme	1995-2015 yılları arasında tehlikeli madde taşımacılığının tehlike ve risk değerlendirmesi için mevcut yöntemlerin karayolu, deniz, demiryolu, hava ve boru hattı sistemini dikkate alarak kapsamlı bir incelemesi	1995'ten 2015'e kadar Tehlikeli Madde taşımacılığına ilişkin literatür taraması yapılmış ve bunlar arasından seçilen 151 yayın kalitatif, kantitatif veya hibrit teknikler üzerinden incelenmiştir.	Tehlikeli Madde taşımacılığının güvenliğini artırabilecek uygun risk değerlendirme yöntemlerinin geliştirilmesine olanak tanıyan bir referans kaynağı oluşturulmuştur.

Çizelge 3.2. (devam) Kazaların risk analizi ve risk değerlendirmesi literatür özet çizelgesi

Małgorzata WALENDZIK, Tomasz KAMIŃSKI, Piotr PAWLAK, Konstantinos DEMESTICHAS, Journal of KONBiN, 2021	Polonya'da tehlikeli maddelerin karayolu taşımacılığı ile ilgili tehlikeleri azaltmak için organizasyonel ve yasal olanakların analizi	Polonya'da tehlikeli maddelerin karayoluyla taşınmasıyla ilgili tehlikelerin azaltılmasına yönelik kurumsal ve yasal olanakların belirlenmesi	Polonya'daki Yanıcı, patlayıcı, aşındırıcı, toksik ve radyoaktif maddeler de dahil olmak üzere tüm tehlikeli malların taşınmasını izleme ve kontrol etmede görevli kurumlardan elde edilen verilerin analizi yapılmıştır.	Tehlikeli maddelerin taşınmasının terör saldırıları tehdidi de göz önüne alınarak, bir izleme ve gözetleme sisteminin uygulanması ve bu amaçla yasal düzenlemelerin yapılması önerilmiştir
Mariusz IZDEBSKI, Ilona Jacyna-GOŁDA, Paweł GOŁDA, Reliability Engineering and System Safety, 2022	Tehlikeli madde taşımacılığında ciddi trafik kazası olasılığının en aza indirilmesi	Bir trafik kazası olasılığını, en aza indirme bağlamında, tehlikeli maddelerin taşınmasında araçların rotalarının belirlenmesi sorununun incelenmesi.	Polonya'nın orta doğusundaki Mazowieckie Eyaletinde bulunan bir bölge için bir ulaşım ağı ele alınmıştır. STATISTICA programı ve tehlikeli madde taşıma güzergahlarının belirlenmesinde karınca kolonisi ve genetik algoritma kullanılmıştır.	Karınca kolonisi ve genetik algoritmalarının, tehlikeli madde taşımacılığı yapan araçların karıştığı kaza riskini en aza indirmek için tehlikeli madde taşımacılığı organizatörleri için gerekli analizleri yapmada etkili bir araç olabileceği gösterilmiştir.
Wang, K., Hu, Q., Qian, X., Li, M., Shi, T. Engineering Failure Analysis. 2022	LPG tankerini içeren vaka incelemesi ile patlayıcı imha neden analizi ve hasar mekanizması	LPG tank römorkunun kazasının LPG dağılımını ve patlamayı tetiklediğini gösterme	Buhar bulutu patlamaları (VCE) veya BLEVE senaryolarından sıcaklık, alev hızı ve patlayıcı aşırı basıncın sayısal simülasyonları için yeterli doğrulukla FLACS yazılımı kullanılmıştır.	• LPG tankerlerinin basınçlı kaplarında meydana gelen arızanın kaza nedeni olduğu, • Buhar bulutu patlaması (VCE) sonucunda sürekli salınımın patlamaya neden olduğu • şok dalgasının oluşturduğu aşırı basıncın ve ateş topundan gelen termal dağılımın kaza mahallinden farklı yönlere yayıldığını ve çok büyük hasarların olduğu tespit edilmiştir.

4. MATERYAL VE METOD

Tez çalışmasında, öncelikle 2020-2021 yılları arasında ülkemizde meydana gelen tehlikeli madde taşımacılığı kazaları analiz edilmiş ve lokasyon, atmosferik koşullar, bütünlük kaybı türü ve kazalara dahil olan tehlikeli madde türleri ile araçları değerlendirilmiştir. Ardından, risk analizi çalışmaları yürütülecek pilot uygulama alanı belirlenmiştir. Son aşamada kantitatif risk analizi uygulanarak bireysel ve sosyal risk haritaları üretilmiştir.

4.1. Karayolu Tehlikeli Madde Taşımacılığı Kazalarının İstatistiksel Değerlendirmesi

Karayolu ile tehlikeli madde taşınmasına ilişkin faaliyet gösteren gerçek veya tüzel kişiler ile bu kişilere ait araçlar ve tehlikeli madde taşınması esnasında yaşanan kaza ve olaylara ait bilgiler sadece Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığında bulunmaktadır. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığından 2020 ve 2021 yıllarındaki tehlike madde taşımacılığı faaliyetinde bulunan gerçek veya tüzel kişilerce bildirilen faaliyet raporları, Ulaştırma Elektronik Takip ve Denetim Sistemi (U-ETDS) ve Yol Kenarı Denetim İstasyonlarında temin edilen tehlikeli madde taşımacılığına ilişkin veriler ile 2015-2021 yılları arasındaki kaza veya olay bilgileri analiz edilmiştir:

1. Ulaştırma Elektronik Takip ve Denetim Sistemi (U-ETDS)'den elde edilen verilerden eşyanın cinsi, miktarı, teslim alma ve teslim edilme yerleri, taşıma süresi, taşıt cinsi, üst yapı bilgileri,
2. Yol kenarı Denetim istasyonlarında veya yapılan diğer denetimlerde, tehlikeli madde taşıyan araçlarda taşıyan eşyanın cinsi, miktarı, teslim alma ve teslim edilme yerleri, taşıma süresi, taşıt cinsi, üst yapı bilgileri, tespit edilen kural ihlali, denetimin yapıldığı noktalara ait bilgileri,
3. Ön ihbar sistemlerinde denetime tabi tutulan tehlikeli madde taşıyan araçlar ve üst yapı bilgileri ile ön ihbar sistemlerinin bulunduğu noktaların bilgileri,
4. Karayolu Taşıma Yönetmeliği ve Tehlikeli Maddelerin Karayoluyla Taşınması Hakkında Yönetmelik uyarınca yetki belgesine kayıtlı araçlar ile net ağırlıkları ve azami yüklü ağırlıkları, taşıt cinsi, üst yapı bilgileri, yetki belgesi türü bilgileri,
5. Tehlikeli Madde Taşıyan Araç ve Üst Yapıların Teknik Muayeneleri Hakkında Yönetmelik uyarınca, üst yapı ve donanımları muayene raporunda bulunması gereken bilgilerden araç sahibi ve araç marka ve modeli haricindeki tüm bilgileri,

6. Tehlikeli Maddelerin Karayoluyla Taşınması Hakkında Yönetmelik'in 29. Maddesi uyarınca faaliyet raporlarındaki bilgileri,
7. Tehlikeli Maddelerin Karayoluyla Taşınması Hakkında Yönetmelik'in 5. maddesinin 10. Fıkrası uyarınca kaza veya olaya ilişkin veriler,

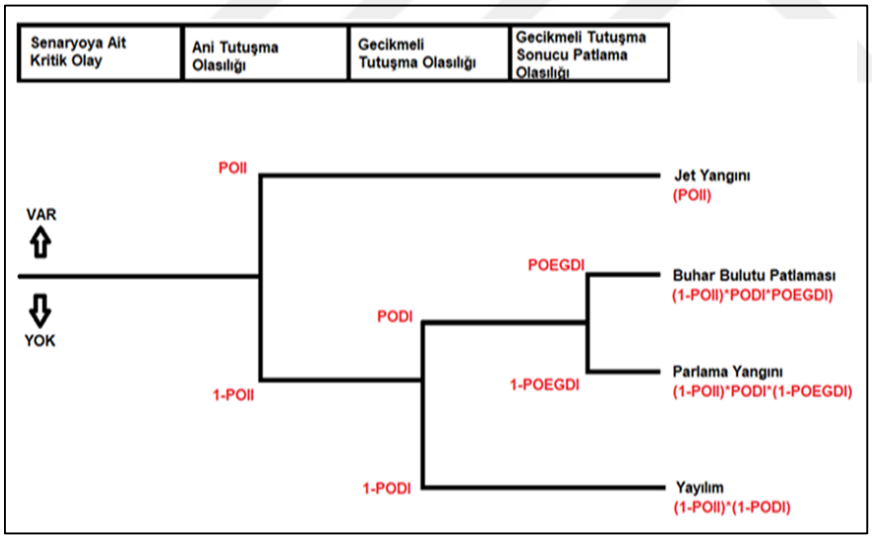
4.2. Pilot Uygulama Alanı Seçimi ve Kaza Senaryo Girdilerinin Belirlenmesi

İstatistiksel değerlendirme sonucunda, tehlikeli madde taşımacılığı kazalarının en sık yaşandığı il ve güzergah belirlenmiştir. Geçmiş kaza verilerinden yararlanılarak ilgili tehlikeli kimyasal türleri, atmosferik koşullar ve bütünlük kayıpları ortaya konulmuştur.

4.3. Kantitatif Risk Analizi

Kaza senaryosu belirleme, frekans tahmini ve olay ağaçları

Tez çalışmasında temel alınan örnek olay ağacı Şekil 4.1.'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Örnek olay ağacı [57]

Olay ağacı analizinde değerlendirilen parlayıcı veya patlayıcı gazların / sıvıların kontrolsüz bir şekilde açığa çıktıklarında tutuşma olasılıklarını bulmak üzere bazı hesaplamaların yapılması gerekmektedir. Hesaplamalar için CCPS tarafından oluşturulan Tutuşma Olasılığı Hesaplama Modülü kullanılmıştır. Şekil 4.1'deki örnek Olay Ağacı Analizi'nde kullanılacak olan olasılıklar aşağıdaki şekilde tanımlanır (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)

Modül içerisinde 3 farklı seviyede analiz yapan farklı algoritmalar bulunmaktadır. Tutuşma olasılıklarını detaylıca tahmin etmek adına bu analiz algoritmalarından en ileri seviye olan ve birçok parametreye bağlı Seviye 3 Analiz Algoritması kullanılmıştır. Tutuşma Olasılıkları Hesaplama Modülü içerisinde kaynama noktası, minimum tutuşma enerjisi, parlama noktası, kendiliğinden tutuşma sıcaklığı ve reaktivite gibi kimyasal bilgileri kayıtlı kimyasallar bulunmakta olup sistem, ilgili bilgiler ile yeni kimyasal kaydetmeye de izin vermektedir. Sonrasında, belirlenen senaryo için proses sıcaklığı, proses basıncı, sızıntı çapı, sızıntı süresi gibi sızıntı koşulları modüle girilerek senaryo özelindeki sızıntı için veriler oluşturulmuştur.

Bir olay ağacındaki çeşitli kaza senaryolarının olası frekanslarını tahmin etmek için başlatıcı olayın frekansına ve kaza sonucu (örneğin, yanıcı bir bulutun tutuşması veya patlama oluşumu) olasılığına değer atanması gerekir. Tutarlı bir kantitatif risk analizinin gerçekleştirilmesi için olay frekansı ve olasılıklarını olabildiğince gerçekçi bir şekilde tanımlamak önemlidir. Bu değerlerin eksik veya fazla tahmin edilmesi, bireysel ve sosyal riskte hataya neden olabilir. Olay ağacı analizi tümevarım mantığını kullanarak, başlatıcı olayı takip eden farklı kaza senaryolarının frekans değerini hesaplamak için kullanılır. Olay ağacı başarılı / başarısız veya var / yok mantığı ile çalışır. Üste giden her bir çizgi için o olayın gerçekleştiği, alta doğru giden çizgiler için ise gerçekleşmediği kabul edilir. Yerleştirilen her bir çizgi, yukarısında bulunan olayın olasılığını ifade eder [57].

Kaza senaryosunu başlatan başlatıcı olay frekansı aşağıdaki denklemlere göre hesaplanmıştır:

$$f_t = \frac{N}{L}.l.m \tag{4.1}$$

$$m = \frac{z.t}{365günx24saat} \tag{4.2}$$

f_t: Başlatıcı olay frekansı ($yıl^{-1}$)

N: kaza sıklığı(kaza/yıl)

L: toplam hat uzunluğu(m)

l: sekment uzunluğu(m)
m: operasyon süresi ve sayısı
z: sefer sayısı
t: sefer süresi
Kaza frekansı ise Eş. 4.3'e göre hesaplanmıştır.

$$f = f_t x P x P_b \quad (4.3)$$

f: Kaza senaryosu frekansı ($yıl^{-1}$)
P: Kaza olasılığı
P_b: Operatör müdahalesine dayalı bariyer olasılığı

Etki alanları içerisinde %100(P=1,0) ölümcül etkiler dikkate alınmıştır. Operatör müdahalesi ise 0,1 olasılıkta alınmıştır. Bu eşik değerden daha küçük bir olasılığın hesaplamalarda kullanılamayacağı mevzuatta ifade edilmektedir [68].

Kaza etkilerinin belirlenmesi

Senaryo edilen kazaların etki modellemesi, ALOHA Yazılımı ve ilgili korelasyonlar kullanılarak belirlenmiştir. İlgili konum seçildikten sonra, kimyasal, atmosferik seçimler ve kaynak seçimine bağlı parametre girişleri yazılıma sağlanarak tehlike alanları elde edilmiştir. Kırmızı tehlike bölgesi en kötü tehlike seviyesini, turuncu ve sarı sırasıyla azalan tehlike seviyelerini temsil etmektedir [59].

ALOHA veri tabanında yer almayan kimyasallar için etki alanları ise korelasyonlar üzerinden belirlenmiştir.

Termal radyasyon tahmini

Termal radyasyon, alevin birim yüzeyi ve birim süre başına yaydığı radyasyon ısısıdır (kWm^{-2}); yangının ışıma özelliklerini temsil eder. Alevden yayılan termal radyasyon, sadece yüzeyinde değil, tüm yangın hacmi (sıcak yakıt gazından, yanma ürünlerinden, kurum partiküllerinden) tarafından üretilir [57].

İki tür termal radyasyon modeli vardır:

a) alevin küçük bir alanı üzerinde ölçülen değerle ilişkili nokta yayma gücü;
b) tüm alev yüzeyinin yayma gücüne karşılık gelen ortalama yayma gücü.

Termal radyasyon, emisivite ve alev sıcaklığının bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir:

$$E = \sigma\varepsilon\left(T_{fl}^4 - T_a^4\right) \quad (4.4)$$

Burada σ, Stefan-Boltzmann sabiti ($Wm^{-2}\ K^{-4}$), Ɛ (-) nesnenin renk ve yüzey yapısına bağlı olan bir katsayıdır. Bu katsayı koyu renkli cisimlerde 1'e yakın iken açık renkli cisimlerde daha düşük değerlere sahiptir. T_{fl} alevin radyasyon sıcaklığı (K) , T_a, ortam sıcaklığı(K)' dır. E'yi hesaplamak çok zordur, çünkü sıcaklık alev üzerinde uniform değildir, zamanla değişir ve emisyon alevde bulunan maddelere bağlıdır. Bu nedenle, farklı yangın türleri için ampirik prosedürler uygulanır; alternatif olarak, benzer yangınlardan elde edilmiş deneysel değerler de kullanılabilir. 20m'den büyük havuz çapları için aşağıdaki ifade uygulanabilir.

$$E \approx E_{soot}\ için\ D \geq 20m \quad (4.5)$$

Dairesel bir havuzda elde edilen deneysel veriler, E_{soot}'un yakıt çapından ve yakıt türünden bağımsız olduğunu göstermiştir. (E_{soot} = 40 kW /m^2).

Havuz yangını boyutu

İlgili yanıcı kimyasallar havuz yangını oluşturabilir. Zemindeki sıvı dökülmesinin neden olduğu havuzun boyutu, döküntünün süresine ve akış hızına bağlıdır. Böylece, sıvı dökülmeleri iki kategoriye ayrılabilir; Ani dökülmeler, sürekli dökülmeler.

Dökülme ani gerçekleşirse, havuz fiziksel bir engel (örneğin bir dayk) bulana kadar veya havuz yangını varsa yanana kadar büyür [57]. Sürekli bir dökülme durumunda, havuz, fiziksel bir engel bulana kadar veya buharlaşma hızı veya yanma hızı dökülme akış hızına eşit oluncaya kadar büyüyecektir.

Herhangi bir bariyer içermeyen ani bir dökülme için havuz çapı, aşağıdaki ifadeyle zamanın bir fonksiyonu olarak belirlenebilir [57].

$$D_{havuz} = D_{max}\left[\frac{\sqrt{3}}{2}\left(\frac{t}{t_{max}}\right)\left[1+\left(\frac{2}{\sqrt{3}}-1\right)\left(\frac{t}{t_{max}}\right)^2\right]\right]^{1/2} \quad (4.6)$$

D_{max}, havuzun ulaşabileceği maksimum çaptır (m):

$$D_{max} = 2\left(\frac{V_1^3.g}{y^2}\right)^{1/8} \quad (4.7)$$

t_{max}, bu maksimum çapa ulaşmak için gereken süredir:

$$t_{max} = 0.6743\left(\frac{V_1}{gy^2}\right)^{1/4} \quad (4.8)$$

y, yakıt yanma hızı (m s^{-1})
v_1 dökülen sıvının toplam hacmidir (m^3).

Rüzgarın alev uzunluğu üzerine etkisi olabilir. Rüzgârın yanma hızı üzerindeki etkisinin $u_{w(rüzgar\ hızı)}$< 2 m/s' de ihmal edilebilir olduğu gösterilmiştir. Daha yüksek rüzgar hızlarında alev sürüklenmesi herhangi bir yakıt için aşağıdaki şekilde tahmin edilebilir [57]:

$$\frac{D^{\cdot}}{D} = 1.5\left(\frac{u_w^2}{gD}\right)^{0.069} \quad (4.9)$$

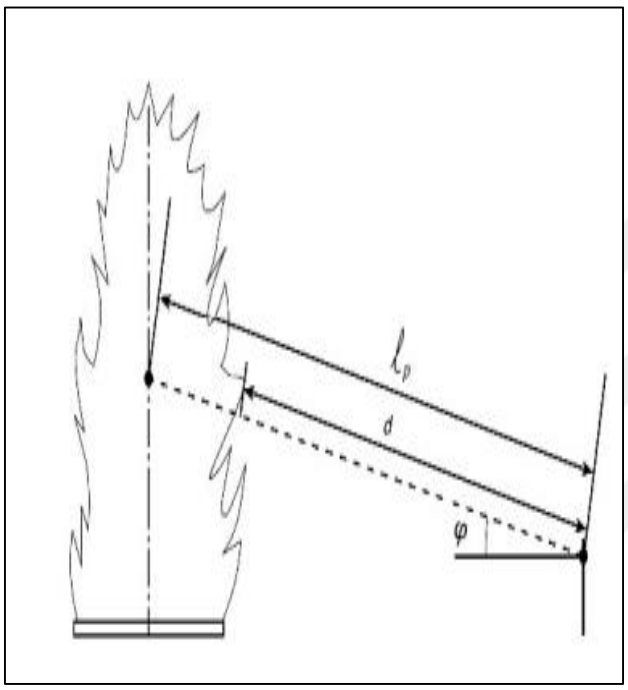
Nokta kaynak modeli

Yangının termal enerjiyi her yöne ışınlayan bir nokta ile temsil edilebileceğini varsaymaktadır. Nokta kaynağı genellikle yangının geometrik merkezinde bulunur (Şekil 4.2.). Yayılan enerji, yanma sonucu açığa çıkan toplam enerjinin bir kısmıdır. Genellikle bu enerjinin her yöne yayıldığı varsayılır. Bu nedenle, kaynaktan uzaklığın ters karesiyle orantılı olduğu varsayılan bir hedefe ulaşan termal radyasyon yoğunluğu Eş. 4.10'ile hesaplanır.

$$I = \frac{Q_r}{4\pi l_p^2} \quad (4.10)$$

Burada I termal radyasyon yoğunluğu (kW m^{-2}) Q_r, birim zaman (kW) başına termal radyasyon olarak salınan ısıdır ve l_p nokta kaynağı ile hedef (m) arasındaki mesafedir. Jet yangınları ve havuz yangınları için Q_r, yanma hızı, yanma ısısı ΔH_c ve radyasyon fraksiyonu veya radyant ısı fraksiyonunun bir fonksiyonudur [57].

$$Q_r = \eta_{rad} m \Delta H_c \tag{4.11}$$



Şekil 4.2. Nokta Kaynağı Modeli [57]

Radyant fraksiyon, tüm yangını etkileyen önemli bir parametredir ve bu da birkaç faktöre bağlıdır: yakıt tipi, alev sıcaklığı, alev tipi, yanma sırasında oluşan duman miktarı, vb. değerler, hidrokarbonlar için deneysel olarak 0.1 ile 0.4 arasında elde edilmiştir [57].

D (m) çaplı havuz yangınları için aşağıdaki ifade önerilmiştir.

$$\eta_{rad} = 0.35e^{-0.5D} \tag{4.12}$$

Nokta kaynağı modeli basit bir yaklaşım benimser ve termal radyasyonun atmosfer tarafından emilimini veya radyasyon alan yüzeyinin pozisyonunu dikkate almaz: Böylece maksimum termal akı [57];

$$l = \frac{\eta_{rad} m \Delta H_c \tau cos\varphi}{4\pi l_p^2} \tag{4.13}$$

Burada φ, alıcı yüzeye dik düzlem ile çizginin arasındaki açıdır.

Atmosferik geçirgenlik, termal radyasyonun atmosfer tarafından, esas olarak karbondioksit ve su buharı tarafından emilimini açıklar. Bu, nihayetinde hedef yüzeye ulaşan radyasyonu azaltır. Atmosferik geçirgenlik, alevler ve hedef arasındaki mesafeye bağlıdır. Atmosferdeki karbondioksit içeriği esasen sabitken, su buharı içeriği sıcaklığa ve atmosferik neme bağlıdır. Aşağıdaki denklemlerden bu tahmin edilebilir [57].

$$\tau = 1.53(P_W d)^{-0.06} \; için \; P_W d<10^4 Nm^{-1} \quad (4.14)$$

$$\tau = 2.02(P_W d)^{-0.09} \; için \; 10^4 \leq P_W d<10^5 Nm^{-1} \quad (4.15)$$

$$\tau = 2.85(P_W d)^{-0.12} \; için \; P_W d < 10^5 Nm^{-1} \quad (4.16)$$

Buradaki P_w, havadaki suyun kısmi basıncıdır (Nm^{-2}) ve d, alevin yüzeyi ile hedef arasındaki mesafedir. P_w aşağıdaki ifadeyle tahmin edilebilir [57]:

$$P_W = P_{Wa} \frac{H_R}{100} \quad (4.17)$$

Burada P_{wa}, atmosferik sıcaklıktaki doymuş su buharı basıncıdır (Nm^{-2}) ve H_R, atmosferin bağıl nemi (%). P_{wa} atmosferin sıcaklığından elde edilebilir [57]:

$$lnP_{Wa} = 23.18986 - \frac{3816.42}{(T-46.13)} \quad (4.18)$$

Burada P_{wa}, Nm^{-2}'de ve T, K' da ifade edilir.

Bireysel ve sosyal risk haritaları

Bölüm 2' de detayları sunulan şekilde önce her bir kaza senaryosu için bireysel riskler hesaplanmıştır (Bkz. Eş. 2.5-2.7). Ardından, sosyal risk elde edilmiştir (Bkz. Eş. 2.8-2.9). Sosyal risk, f-N eğrileri ile gösterilmiştir. Her kaza senaryosunda ölümlü Ni sayısı (Bkz. Eş. 2.12), ölüm sayısı ile ilişkili frekans (Bkz. Eş. 2.13) tahmin edilmiştir. f-N eğrileri esas alınarak çevre unsurlar değerlendirilmiştir

5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1. Karayolu Tehlikeli Madde Taşımacılığı Kazalarının İstatistiksel Değerlendirmesi

2020 ve 2021 yıllarındaki Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığından temin edilen U-ETDS'nde yer alan verilere göre toplam 1 181 136 adet tehlikeli madde taşıması yapılmıştır. Çizelge 5.1.'de tehlikeli madde taşımacılığının en çok yapıldığı güzergâhlar, bu güzergâhların başlangıç noktaları olan iller ve ilçeler Çizelge 5.2.'de, taşımacılıkta kullanılan araç türleri ise Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.1. Tehlikeli madde taşımacılığının en çok yapıldığı güzergâhlar

Sıra	Yükleme il	Yükleme ilçe	Boşaltma il	Boşaltma ilçe	Taşıma adedi
1	İZMİR	ALİAĞA	ÇANAKKALE	BİGA	19 968
2	İZMİR	ALİAĞA	ANKARA	ÇANKAYA	18 092
3	HATAY	DÖRTYOL	ANKARA	ÇANKAYA	16 444
4	ANKARA	ÇANKAYA	ANKARA	MAMAK	16 206
5	İZMİR	ALİAĞA	İZMİR	ALİAĞA	14 568
6	KOCAELİ	KÖRFEZ	ANKARA	ÇANKAYA	14 000
7	İSTANBUL	KARTAL	İSTANBUL	KARTAL	13 231
8	İZMİR	BORNOVA	İZMİR	BORNOVA	12 416
9	İZMİR	ALİAĞA	İZMİR	BORNOVA	11 485
10	TEKİRDAĞ	M.EREĞLİSİ	ANKARA	ÇANKAYA	10 507

Çizelge 5.2. Bazı illerden ve ilçelerden yapılan taşıma adetleri

İL	PLAKA	ADET	İLÇE	ADET
İZMİR	35	254 813	ALİAĞA	190 923
KOCAELİ	41	180 454	KÖRFEZ	122 461
İSTANBUL	34	106 192	MARMARAEREĞLİSİ	74 361
ANKARA	6	87 180	MERKEZ	64 303
TEKİRDAĞ	59	83 348	DÖRTYOL	53 755
HATAY	31	60 990	AKDENİZ	49 289
ANTALYA	7	55 839	KONYAALTI	35 363
MERSİN	33	51 225	KAHRAMANKAZAN	35 287
KIRIKKALE	71	41 090	KARTAL	32 847
BURSA	16	21 170	BORNOVA	29 406

Çizelge 5.3. Tehlikeli madde taşımacılığında kullanılan araç türleri

Araç türü	Adet
Çekici	352 273
Kamyon	528 626
Kamyonet	103 507
Otobüs	6
Özel Amaçlı Taşıt	507
Römork	36
Tanker	183 745
Yarı Römork	12 436

2918 sayılı Karayolları Trafik Kanununda [11];

- Kamyonet: Azami yüklü ağırlığı 3 500 kilogramı geçmeyen ve yük taşımak için imal edilmiş motorlu taşıttır.
- Kamyon: İzin verilebilen azami yüklü ağırlığı 3 500 Kg'dan fazla olan ve yük taşımak için imal edilmiş motorlu taşıttır.
- Otobüs: Yolcu taşımacılığında kullanılan, sürücüsü dahil dokuzdan fazla oturma yeri olan motorlu taşıttır.
- Çekici: Römork ve yarı römorkları çekmek için imal edilmiş olan ve yük taşımayan motorlu taşıttır.
- Özel amaçlı taşıt: Özel amaçla insan veya eşya taşımak için imal edilmiş olan ve itfaiye, Cankurtaran, cenaze, radyo, sinema, televizyon, kütüphane, araştırma araçları ile bozuk veya hasara uğramış taşıt ve araçları çekmek veya taşımak, kaldırmak gibi özel işlerde kullanılan motorlu araçtır.
- Römork: Motorlu araçla çekilen insan veya yük taşımak için imal edilmiş motorsuz taşıttır.
- Yarı römork: Bir kısmı motorlu taşıt veya araç üzerine oturan, taşıdığı yükün ve kendi ağırlığının bir kısmı motorlu araç tarafından taşınan römorktur.

tanımları yer almaktadır.

İlgili yıllar arasında toplam 158 adet kaza veya olay olduğu tespit edilmiştir. ADR' nin 1.8.5.3 numaralı maddesinde tehlikeli mal sızıntısında veya ani ürün kaybı riski olduğunda, kişisel yaralanma, mal veya çevre zararı oluştuğunda veya kurumların olaya dâhil olduğu durumlarda ve bu maddenin devamında yer alan kıstaslardan bir ya da birkaçı oluştuğunda

1.8.5.1 numaralı madde uyarınca rapora tabi bir vaka oluşmuş sayılacağı belirtilmektedir [10] Kaza veya olayların yıllara ve aylara göre dağılımı Çizelge 5.4.' te verilmiştir.

Çizelge 5.4. Kaza veya olayların yıllara ve aylara göre dağılımı

AY	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Genel Toplam	Yüzde
Ocak		5	5	2	4	5	2	23	%14,56
Şubat			1	1	2	4	1	9	%5,70
Mart		1			2	2	1	6	%3,80
Nisan		2	2		1	3	1	9	%5,70
Mayıs			1		5	3		9	%5,70
Haziran		2	1		5	2		10	%6,33
Temmuz			4		4	4		12	%7,59
Ağustos	1	2			6	4		13	%8,23
Eylül		1	3	2	8			14	%8,86
Ekim	1	2	5	4	3	3		18	%11,39
Kasım	2		1	4	5	1		13	%8,23
Aralık	2	1	2	5	4	8		22	%13,92
Genel Toplam	6	16	25	18	49	39	5	158	%100,00

Bu kaza ve olaylarda 15 kişinin hayatını kaybettiği ve 79 kişinin yaralandığı tespit edilmiştir. En çok Aralık (22 adet) ve Ocak (23 adet) aylarında tehlikeli madde taşımacılığı kazalarının meydana geldiği görülmüştür.

Muhafaza türlerine bakıldığında tankerlerin (Çizelge 5.5.) kaza veya olaylara (106 adet) sıklıkla dahil olduğu belirlenmiştir. Taşıt cinslerine göre ölümlü ve yaralanmalı trafik kazalarına karışan taşıtlar incelendiğinde 2020 yılında toplam 176, 2021 yılında 199 ve 2022 yılında 153 adet tankerin kazaya karıştığı görülmüştür [17-19]. Trafik kazaları ile tehlikeli maddelerin taşınması esnasında yaşanan kaza veya olaylarda tanker taşıt türü ön plana çıkmaktadır.

ADR'de Tanker/Sabit tank, bir araca kalıcı olarak eklenmiş veya bir aracın şasisinin gerekli bir parçası olup, 1000 litreden fazla kapasiteye sahip tank olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, "Tanker" sıvı, gaz, toz veya granül maddeleri taşımak için yapılan ve bir veya birden çok tank içeren bir araç olarak ifade edilmektedir [10]. Muhafaza yöntemine göre kaza veya olayların dağılımı Çizelge 5.5.' verilmiştir.

Çizelge 5.5. Muhafaza yöntemine göre kaza veya olayların dağılımı

MUHAFAZA YÖNTEMİ	ADET	ÖLÜ SAYISI	YARALI SAYISI
Ambalaj	19	5	21
Araç	5	0	1
Büyük Ambalaj	2	0	0
Büyük Konteyner	1	1	0
IBC	5	0	0
Küçük Konteyner	1	0	1
Portatif Tank	2	0	3
Sökülebilir Tank	5	0	3
Tanker	106	8	46
Tank-Konteyner	6	1	1
Tank-vagonu	1	0	0
Tüplü gaz tankeri	5	0	3
Genel Toplam	158	15	79

Tankerin dahil olduğu kaza ve olaylar en fazladır. Bu muhafaza türünde en çok ölüm ve yaralanma meydana gelmiştir. ADR'nin 1.8.5.4 numaralı maddesinde tehlikeli malların taşınması sırasında meydana gelecek olaylarda hazırlanacak rapor modeli yer almaktadır. Bu raporda muhafaza yöntemi arıza türleri "Kayıp", "Yangın", "Patlama" ve "Yapısal arıza" olarak belirtilmektedir [10]. Muhafaza yöntemi arıza türlerine göre kaza veya olayların dağılımı Çizelge 5.6.'da sunulmuştur.

Çizelge 5.6. Muhafaza yöntemi arıza türlerine göre kaza veya olayların dağılımı

ARIZA TÜRÜ	ADET	ÖLÜ SAYISI	YARALI SAYISI
Kayıp	75	5	30
Patlama	4	1	14
Yangın	19	8	7
Yapısal Hata	60	1	28
Genel Toplam	158	15	79

Çizelge 5.6.'dan en fazla kayıp ve yapısal hata kaynaklı kazaların yaşandığı; en ciddi etkilerin yangın sonucu oluştuğu tespit edilmiştir.

Tehlikeli madde taşımacılığı kazalarının yaşandığı saat aralıkları Çizelge 5.7.'de, taşınan yüklerin UN No.'larına ve Sınıflarına göre ilk 10 tehlikeli madde türü Çizelge 5.8.'de ve kaza ve olayların yaşandığı ilk 10 il Çizelge 5.9.'da sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 5.7. Saat aralığına göre kaza ve olayların dağılımı

SAAT ARALIĞI	ADET	YARALI SAYISI	ÖLÜ SAYISI	KAZA YÜZDESİ
0	3	0	0	%1,90
1	7	4	2	%4,43
2	5	3	0	%3,16
3	1	0	0	%0,63
4	4	2	0	%2,53
5	5	2	1	%3,16
6	1	1	0	%0,63
7	9	3	2	%5,70
8	7	3	0	%4,43
9	12	6	0	%7,59
10	14	7	2	%8,86
11	12	8	1	%7,59
12	11	3	1	%6,96
13	8	2	2	%5,06
14	3	1	0	%1,90
15	11	4	0	%6,96
16	7	1	0	%4,43
17	11	2	0	%6,96
18	7	5	1	%4,43
19	1	0	0	%0,63
20	2	0	0	%1,27
21	8	6	1	%5,06
22	3	11	2	%1,90
23	6	5	0	%3,80
Genel Toplam	158	79	15	%100,00

Kaza veya olayların en çok sabah saat 07.00 ile öğlen 12.00 saatleri arasında meydana geldiği görülmüştür. 2020 yılında meydana gelen trafik kazalarından 150 275 ölümlü yaralanmalı kazanın %66,9'u gündüz, %30,4'ü gece ve %2,7'si alacakaranlıkta gerçekleşmiştir [13]. 2021 yılında meydana gelen 187 963 ölümlü yaralanmalı kazanın ise %68,9'u gündüz, %28,4'ü gece ve %2,7'si alacakaranlıkta meydana gelmiştir [14]. Çizelge 5.7.'den 08.00 ile 17:00 zaman aralığında oluşan kazaların oranı, %60,76 olarak tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuç literatür ile uyumludur.

Tehlikeli Maddelerin Karayoluyla Taşınması Hakkında Yönetmelikte "UN numarası" Madde veya parçaların Birleşmiş Milletler örnek düzenlemelerinden alınmış dört basamaklı tanımlama numarası olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 5.8. Kaza veya olaylarda taşınan yüklerin UN No. ve sınıflarına göre dağılımı

UN_NO	SINIF	ADET	AÇIKLAMA
1202	3	38	Gaz Yağı veya Dizel Yakıt Veya Isıtma Yağı, Hafif (patlama noktası 60 dereceden daha düşük olan)
1965	2	15	Hidrokarbon gaz karışımı (LPG)
1203	3	10	Benzin
1824	8	10	Sodyum hidroksit çözeltisi
1830	8	10	Sülfürik asit %51 den fazla asit içeren
1972	2	9	Metan, Soğutulmuş Sıvı veya Doğal Gaz, Soğutulmuş Sıvı (LNG)
3082	9	7	Çevre için tehlikeli madde
3257	9	7	Yüksek Sıcaklıkta Sıvı, B.B.B., 100 °C' de veya üstünde ve parlama noktasının altında (erimiş metaller ve erimiş metal tuzları vb. Dahil), 190°C' de veya altında sıcaklıkta doldurulmuş
2211	9	5	Polimerik boncuklar,genleşebilir
1005	2	4	Amonyak, susuz

Tankerler ile taşınan tehlikeli maddelerin Akaryakıt, Asit, Amonyak, LPG, CNG, Oksijen, Yağ vb. olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.9. Kaza veya olayların olduğu ilk 10 il

İL	ADET
İZMİR	7
KOCAELİ	5
İSTANBUL	5
BURSA	5
SAKARYA	5
KONYA	4
MANİSA	4
AFYON	3
DÜZCE	3
BİLECİK	3

Hem tehlikeli madde taşımacılığı hem de tehlikeli madde taşımacılığı esnasında yaşanan kaza ve olayların lokasyonlarının İzmir ili sınırları içerisinde yoğunlaştığı ortaya konulmuştur.

5.2. Pilot Uygulama Alanı Seçimi ve Kaza Senaryo Girdilerinin Belirlenmesi

Çizelge 5.1., Çizelge 5.2. ve Çizelge 5.9.'da yer alan istatistiksel değerlendirme sonucunda tehlikeli madde taşımacılığının başlangıç noktasının sıklıkla İzmir ili görülmüştür. İzmir ili

Aliağa ilçesi sınırları içerisinde TÜPRAŞ İzmir Rafinerisi, PETKİM, Demir-Çelik Fabrikaları, Gemi Söküm Tesisleri, Akaryakıt Dolum Tesisleri, Gübre ve Kâğıt Fabrikası gibi tesislerin bulunması [66] tehlikeli madde taşımacılığının başlangıç noktasının İzmir ilinin olmasını desteklemektedir. Hem tehlikeli maddelerin taşınmasında hem de yaşanan kaza veya olaylarda İzmir ilinin önemini ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, QRA (Kantitatif Risk Analizi) yapılarak veri analizi, kaza senaryosu belirleme ve frekans tahmini, kaza etki modellemesi ve risk haritalarına dayanan metodolojinin saha uygulaması yapılması için pilot alan olarak İzmir İli seçilmiştir. Çizelge 5.10.'da sunulan İzmir ili özelinde yaşanan kaza ve olaylara ait bilgiler istinaden Google Earth üzerinde yapılan inceleme ile Çizelge 5.1. ve Çizelge 5.2.'de yer alan bilgiler Aliağa ilçesinin ön plana çıktığı görülmüştür.

Çizelge 5.10. İzmir ilindeki kaza veya olaylara ait bilgiler

AY	Aralık	Ekim	Şubat	Kasım	Eylül	Mart	Ocak
YIL	2020	2020	2020	2019	2019	2019	2019
SAATİ	09:02	15:20	11:00	08:00	16:00	11:20	10:45
OLAY_YERİ	Açık Yol	Açık Yol	Açık Yol	Açık Yol	Açık Yol	Açık Yol	Açık Yol
HAVA DURUMU	Sıcaklık:10°C		Sıcaklık:10°C	Sıcaklık:23°C	Sıcaklık:28°C		Yağmurlu Sıcaklık:10°C
KAZA YERİ AÇIKLAMA	GÜZELBAHÇ E-İZMİR	ALİĞA İZMİR İSTİKAMETİ YALI MAHALLESİ GÜZELHİSAR KÖPRÜSÜNE 20 METRE KALA	İZMİR ANKARA OTOYOLU KEMALPAŞA KAVŞAĞI KEMALPAŞA KATILIŞ KISMI	İZMİR-ÇANAKKALE YOLU ÇANDARLI KAVŞAĞI ATEŞ ÇELİK FABRİKASI MEVKİİ	BERGAMA DİKİLİ İZMİR	İZMİR SELÇUK TORBALI İLÇESİ	İZMİR-GÜMÜLDÜR YOLU
UN_NO	1971	2211	1971	1202	1202	1202	1202
SINIF	2	9	2	3	3	3	3
MUHAFAZA YÖNTEMİ	Tüplü gaz tankeri	IBC	Tüplü gaz tankeri	Tanker	Tanker	Tanker	Tanker
MUHAFAZA BOZULMA TÜRU	Yapısal Hata	Patlama	Yapısal Hata	Yapısal Hata	Kayıp	Kayıp	Kayıp

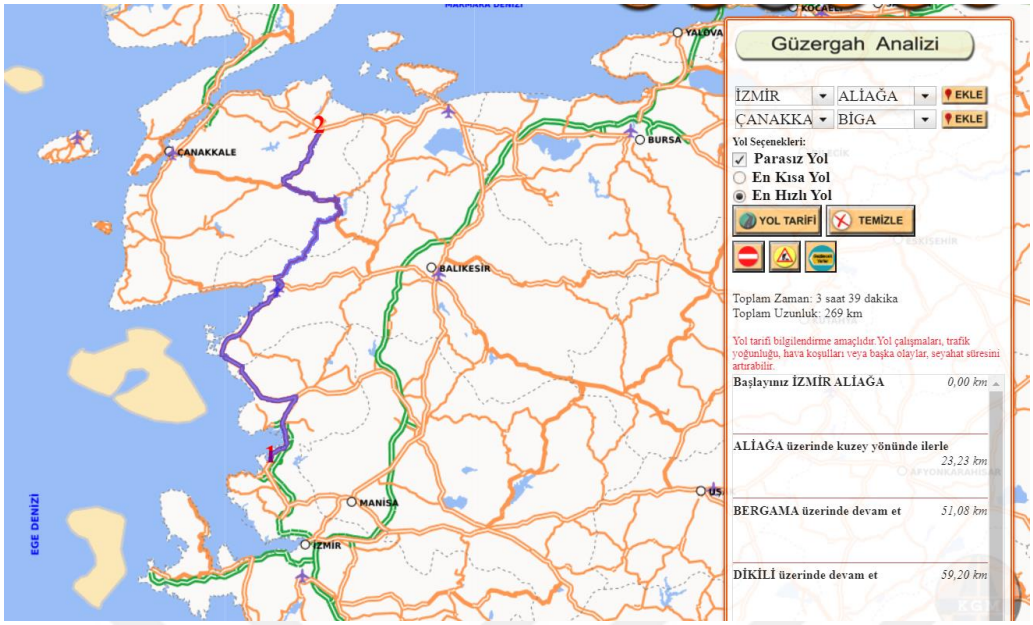
Tehlikeli madde taşımalarının İzmir ili Aliağa ilçesi ile başladığı ve Çanakkale ili Biga İlçesi ile tamamlandığı ele alınmış; bu güzergâh üzerinde 3 adet kaza veya olayın olduğu görülmüştür.

Resim 5.1.'de bu kazaların lokasyonlarının Google Earth üzerindeki gösterimi verilmiştir.



Resim 5.1. Kazaların lokasyonlarının Google Earth üzerindeki gösterimi

Resim 5.2.'de ise İzmir ili Aliağa ilçesi ve Çanakkale ili Biga İlçesi arasındaki güzergâhın görüntüsü sunulmuştur.



Resim 5.2. Aliağa ve Biga arasındaki güzergâh [67]

Tehlikeli madde taşımacılığı kazalarında ön çıkan ve QRA' de temel alınacak tehlikeli kimyasallar Çizelge 5.11.'de verilmiştir.

Çizelge 5.11. QRA'de dikkate alınacak tehlikeli maddeler

UN NO	AÇIKLAMA
1202	GAZ YAĞI veya DİZEL YAKIT veya ISITMA YAĞI, HAFİF (patlama noktası 60 dereceden daha düşük olan)
1965	HİDROKARBON GAZ KARIŞIMI (LPG)
1203	BENZİN
1972	Metan, Soğutulmuş Sıvı veya Doğal Gaz, Soğutulmuş Sıvı (LNG)

UN 1965, 1203, 1972 kapsamındaki tüm tehlikeli kimyasallar ile UN 1202 kapsamında sunulan gaz yağı, dizel yakıt veya ısıtma yağından sadece spesifik tehlikeli kimyasal" dizel yakıt" temel alınarak hesaplamalar yürütülmüştür.

5.3. Kantitatif Risk Analizi

Kaza senaryosu belirleme, frekans tahmini ve olay ağaçları

Kaza veya olayların oluştuğu noktalar Resim 5.1.'de gösterilmiş ve kaza veya olayların Aliağa'ya olan uzaklıkları Google Earth üzerinde yaklaşık olarak ölçülmüştür. İlgili lokasyonlara ait kaza sayısı, toplam hat uzunluğu, segment uzunluğu, yıllık sefer sayısı ve sefer süresi değerleri Çizelge 5.12'de sunulmuştur.

Çizelge 5.12. Başlatıcı olay frekans tahminine yönelik veriler

	Kaza Noktası 1 (K1)	Kaza Noktası 2 (K2)	Kaza Noktası 3 (K3)
Kaza sıklığı(sayı/yıl)	1	1	1
Toplam hat uzunluğu(m)	269 000	269 000	269 000
Segment uzunluğu(m)	47 600	25 800	7 500
Yıllık sefer sayısı	9 984	9 984	9 984
Sefer süresi(saat)	10,37	10,37	10,37

İlgili veriler üzerinden kaza senaryosunu başlatan başlatıcı olay frekansı Eş. 4.1 ve Eş.4.2 ile 3 farklı nokta için ayrı ayrı hesaplanarak Çizelge 5.13.'te verilmiştir.

Çizelge 5.13. Seçilen kaza noktaları için başlatıcı olay frekans değerleri

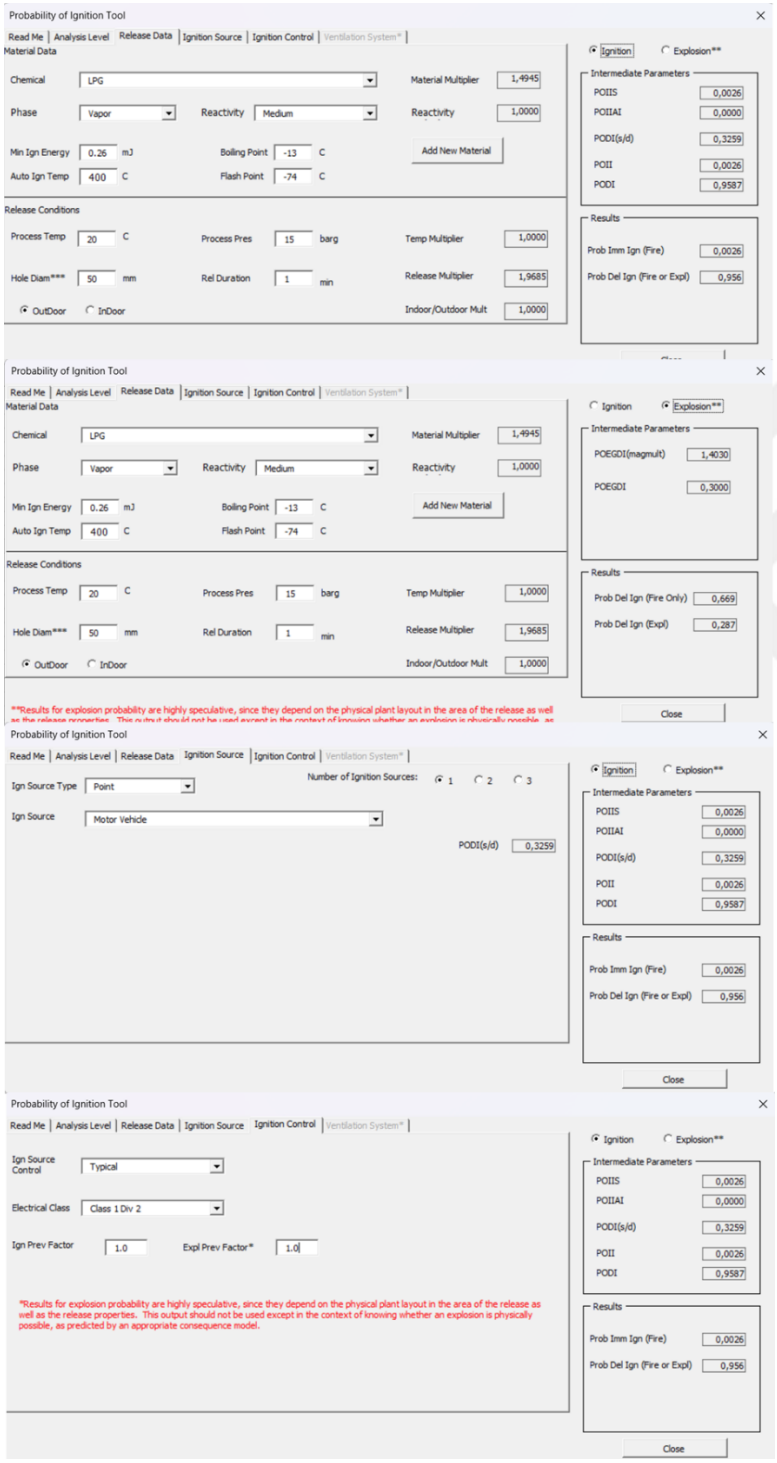
Kaza Adı	Kaza Yeri Açıklaması	Kazanın Aliağaya Mesafesi (m)	Aliağa Biga Mesafe (m)	Başlatıcı Olay Frekansları(/yıl)	
KAZA1	Bergama Dikili İzmir	47 600	269 000	0,896	ft_1
KAZA2	İzmir-Çanakkale Yolu Çandarlı Kavşağı Ateş Çelik Fabrikası Mevkii	25 800	269 000	0,486	ft_2
KAZA3	Aliğa İzmir İstikameti Yalı Mahallesi Güzelhisar Köprüsüne 20 Metre Kala	7 500	269 000	0,141	ft_3

Çizelge 5.3. ve Çizelge 5.5.'te yer alan veriler ile [10]'da ye alan tanker tanımına uygun olarak tankerler ele alınmıştır. Bu kimyasalları taşıyan araçlardaki TS EN 14025 Tehlikeli malların taşınmasına yönelik tanklar – Metalik basınçlı tanklar - Tasarım ve yapım Standartı, TS EN 12493 Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) için kaynaklı çelik tanklar (LPG) - Karayolu tankerleri - Tasarım ve üretim Standartlarında belirlenen teknik gereksinimler göz önünde bulundurularak tanker özellikleri, boyutları, operasyon sıcaklığı ve basınçları belirlenerek Çizelge 5.14.'te verilmiştir.

Çizelge 5.14. Tehlikeli kimyasalları taşıyan araçlardaki ekipman spesifikasyonları

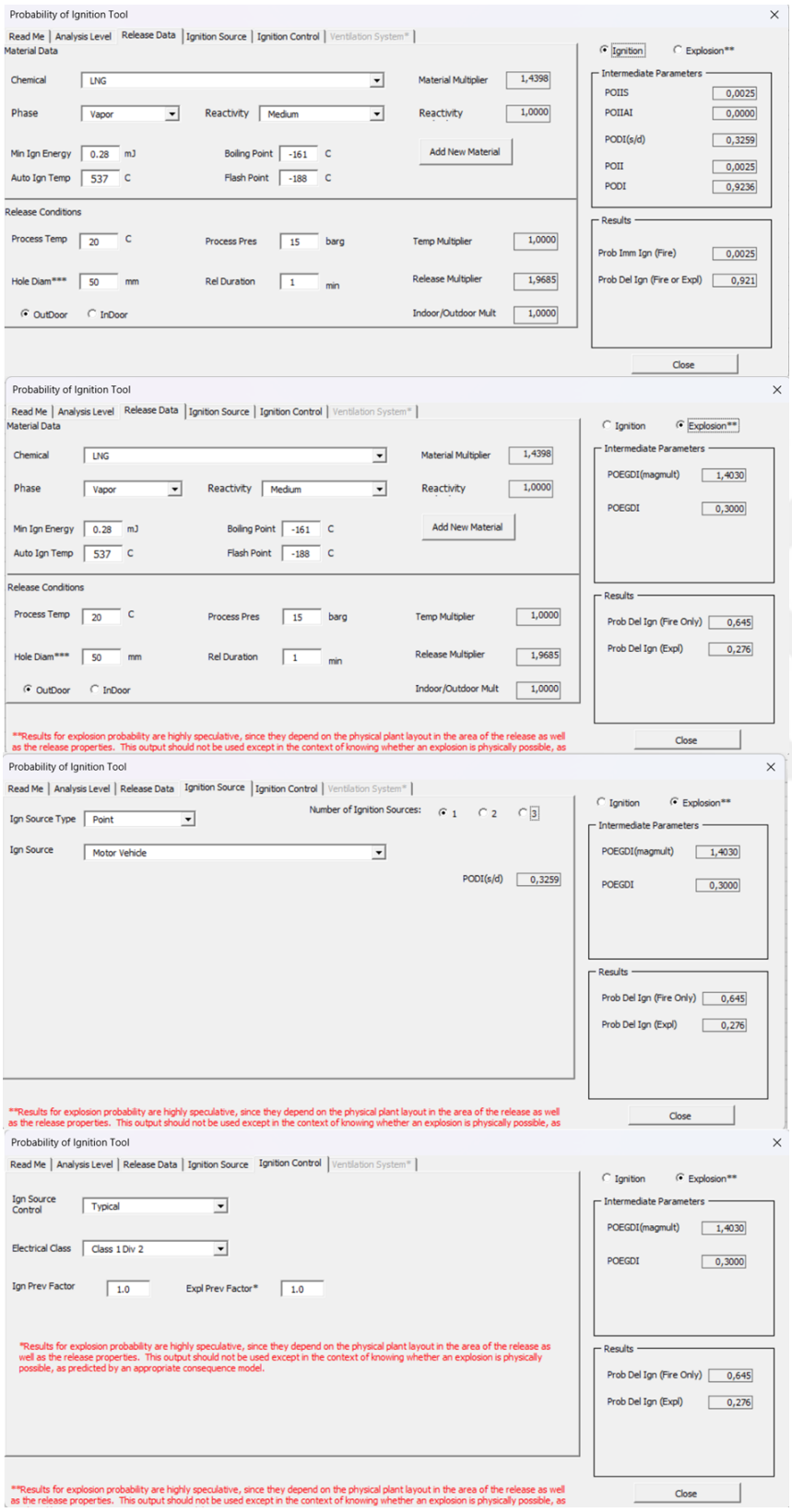
	Şekil	Boy (m)	Çap (m)	Hacim (m^3)	Operasyon sıcaklığı (^oC)	Operasyon basıncı(bar)
Benzin tankeri	Silindirik	12,2	2,4	55	20	1
Dizel tankeri	Silindirik	12,2	2,4	55	20	1
LNG tankeri	Silindirik	12,2	2,4	55	20	15
LPG tankeri	Silindirik	12,2	2,4	55	20	15

Kaza olasılıkları CCPS Tutuşma Olasılığı Hesaplama Modülü üzerinden hesaplanmıştır. LPG'ye ait Tutuşma Olasılığı Hesaplama Modülüne parametre girişi ekran görüntüleri Resim 5.3.'te sunulmuştur.



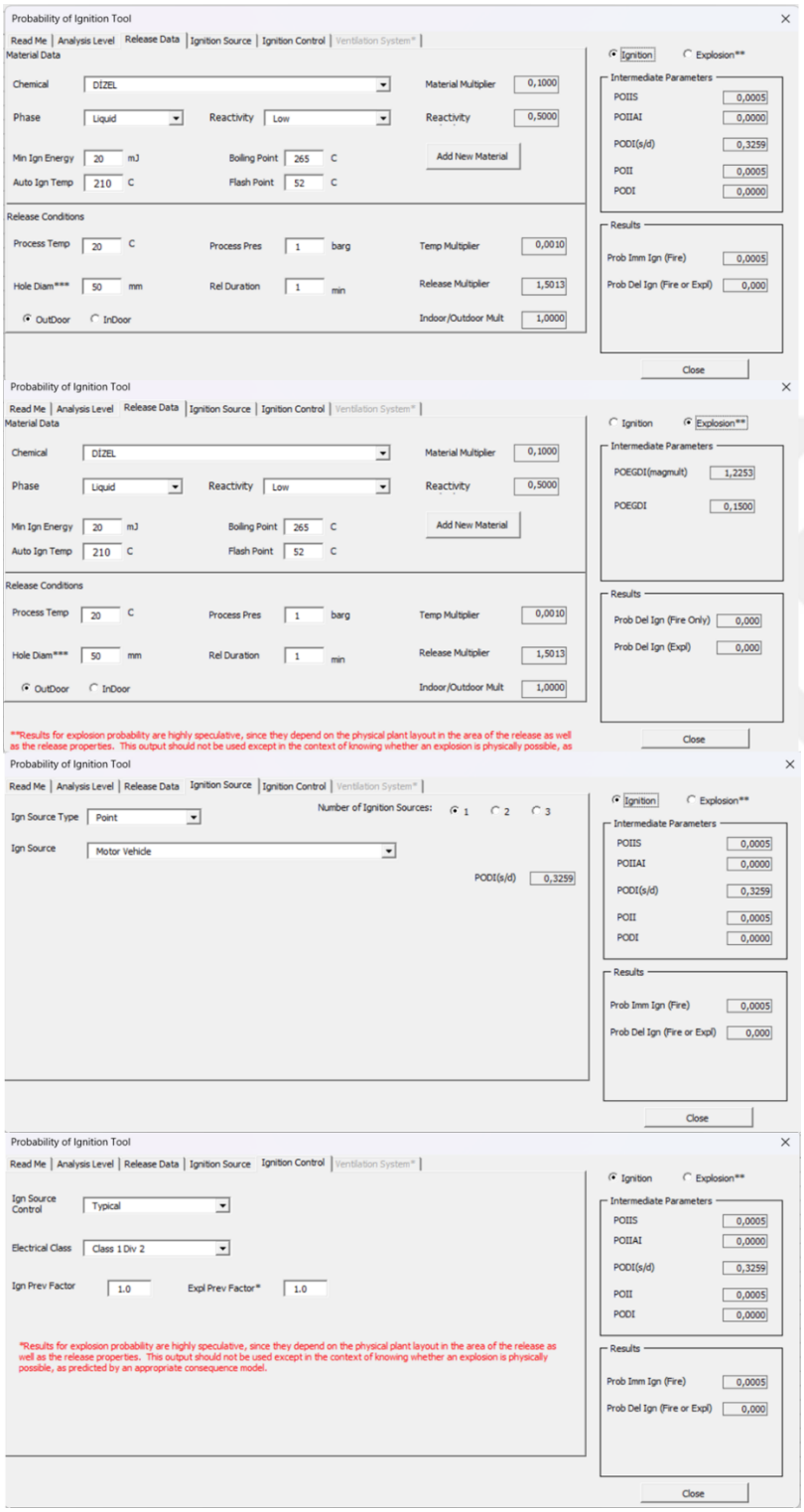
Resim 5.3. LPG'ye ait Tutuşma Olasılığı Hesaplama Modülüne parametre girişi ekran görüntüleri

LNG'ye ait modüle parametre girişi ekran görüntüleri Resim 5.4.'te sunulmuştur.



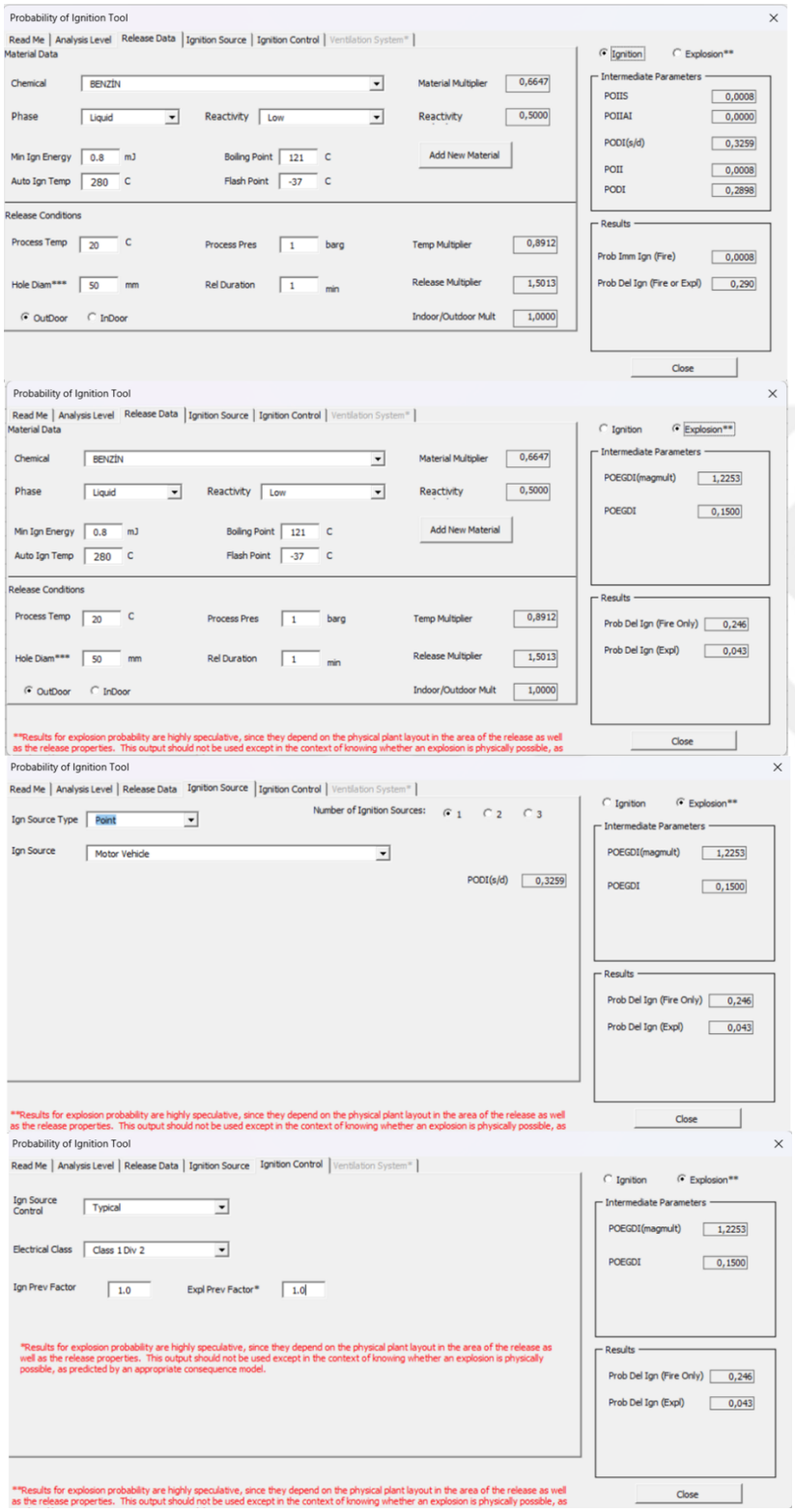
Resim 5.4. LNG'ye ait Tutuşma Olasılığı Hesaplama Modülüne parametre girişi ekran görüntüleri

Dizel tehlikeli kimyasalına ait modüle parametre girişi ekran görüntüleri Resim 5.5.'te sunulmuştur.



Resim 5.5. Dizele ait Tutuşma Olasılığı Hesaplama Modülüne parametre girişi ekran görüntüleri

Benzin tehlikeli kimyasalına ait modüle parametre girişi ekran görüntüleri Resim 5.6.'da sunulmuştur.



Resim 5.6. Benzine ait Tutuşma Olasılığı Hesaplama Modülüne parametre girişi ekran görüntüleri

Her bir kimyasalın hesaplamalara esas Tutuşma Olasılığı Hesaplama Modülünden elde edilen olasılık değerleri Çizelge 5.15.'te verilmiştir.

Çizelge 5.15. Kimyasalların hesaplamalara esas olasılık değerleri

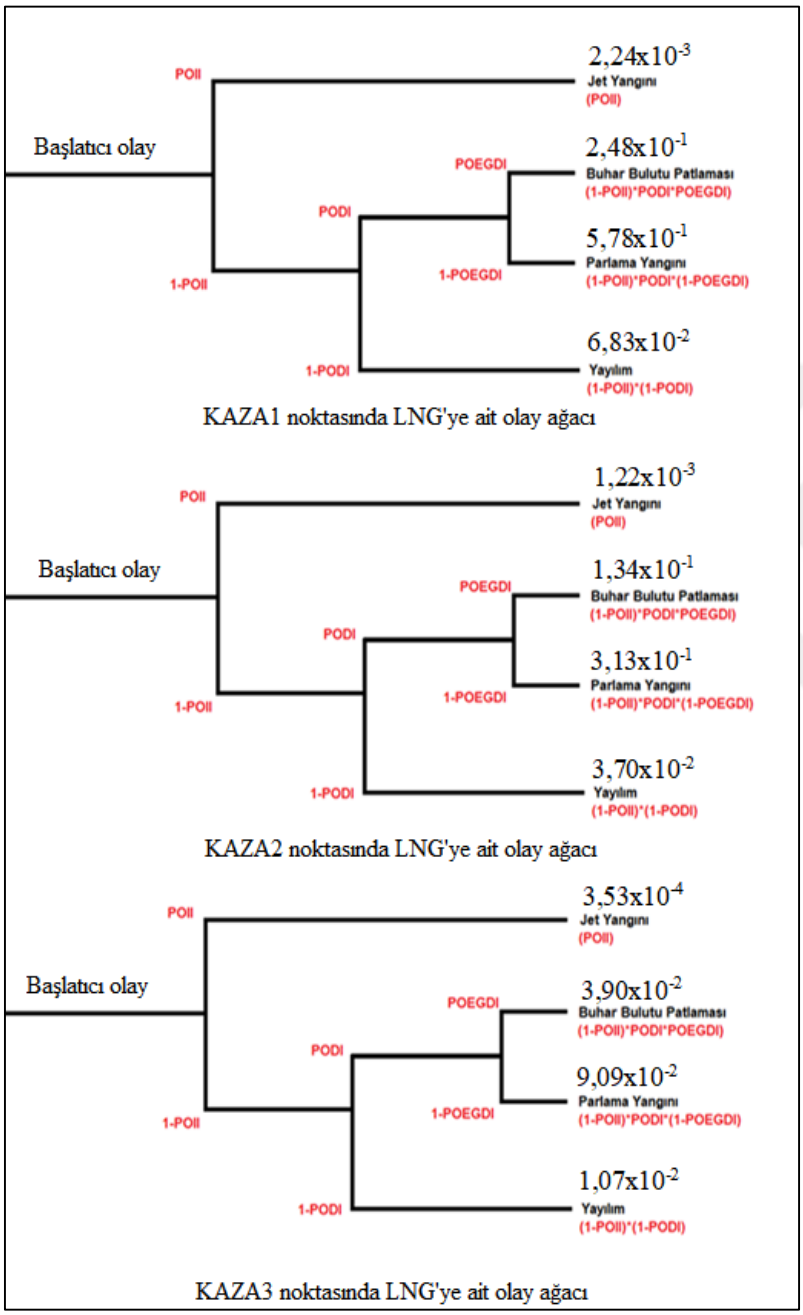
	LPG	LNG	DİZEL	BENZİN
POII	0,0026	0,0025	0,0005	0,0008
PODI	0,9587	0,9236	0	0,2898
POEGDI	0,3	0,3	0,15	0,15

3 ayrı kaza noktası için tüm kimyasalları içeren kaza olasılıkları Çizelge 5.16.'da sunulmuştur.

Çizelge 5.16. Her bir kaza noktası için kaza olasılıkları

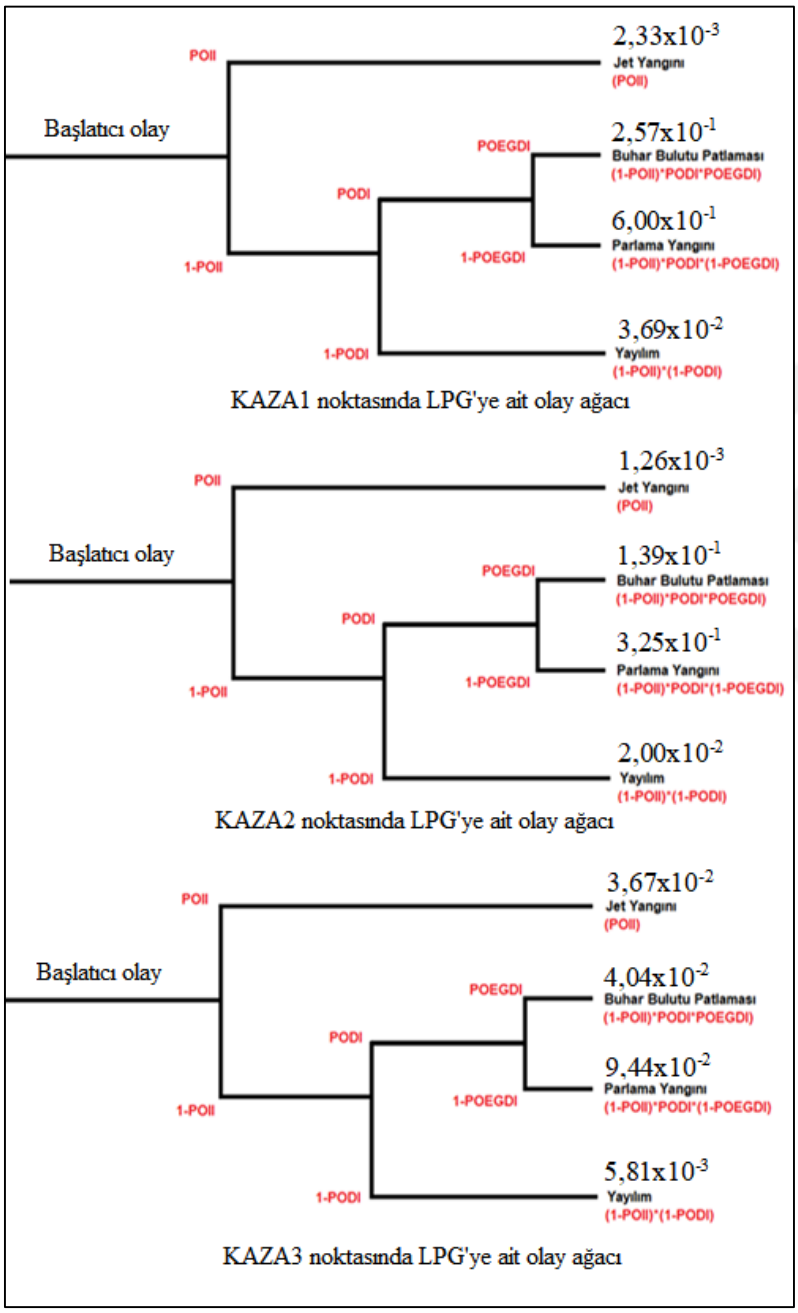
	KAZA1 (P1)	KAZA2 (P2)	KAZA3 (P3)
LNG			
Jet Yangını	$2{,}24\text{x}10^{-3}$	$1{,}22\text{x}10^{-3}$	$3{,}53\text{x}10^{-4}$
Buhar Bulutu Patlaması	$2{,}48\text{x}10^{-1}$	$1{,}34\text{x}10^{-1}$	$3{,}90\text{x}10^{-2}$
Parlama Yangını	$5{,}78\text{x}10^{-1}$	$3{,}13\text{x}10^{-1}$	$9{,}09\text{x}10^{-2}$
Yayılım	$6{,}83\text{x}10^{-2}$	$3{,}70\text{x}10^{-2}$	$1{,}07\text{x}10^{-2}$
LPG			
Jet Yangını/BLEVE	$2{,}33\text{x}10^{-3}$	$1{,}26\text{x}10^{-3}$	$3{,}67\text{x}10^{-2}$
Buhar Bulutu Patlaması	$2{,}57\text{x}10^{-1}$	$1{,}39\text{x}10^{-1}$	$4{,}04\text{x}10^{-2}$
Parlama Yangını	$6{,}00\text{x}10^{-1}$	$3{,}25\text{x}10^{-1}$	$9{,}44\text{x}10^{-2}$
Yayılım	$3{,}69\text{x}10^{-2}$	$2{,}00\text{x}10^{-2}$	$5{,}81\text{x}10^{-3}$
BENZİN			
Jet Yangını	$7{,}17\text{x}10^{-4}$	$3{,}89\text{x}10^{-4}$	$1{,}13\text{x}10^{-4}$
Buhar Bulutu Patlaması	$3{,}89\text{x}10^{-2}$	$2{,}11\text{x}10^{-2}$	$6{,}12\text{x}10^{-3}$
Parlama Yangını	$2{,}21\text{x}10^{-1}$	$1{,}20\text{x}10^{-1}$	$3{,}47\text{x}10^{-2}$
Yayılım	$6{,}36\text{x}10^{-1}$	$3{,}45\text{x}10^{-1}$	$1{,}00\text{x}10^{-1}$
DİZEL			
Jet Yangını	$4{,}48\text{x}10^{-4}$	$2{,}43\text{x}10^{-4}$	$7{,}05\text{x}10^{-5}$
Buhar Bulutu Patlaması	-	-	-
Parlama Yangını	-	-	-
Yayılım	$8{,}96\text{x}10^{-1}$	$4{,}86\text{x}10^{-1}$	$1{,}41\text{x}10^{-1}$

LNG yakıt taşıyan bir araçta trafik kazası sonucu bir sızıntı oluşması başlatıcı olayının tetiklediği olay ağacında ilgili kaza olasılıkları her bir kaza noktasında ayrı ayrı (Şekil 5.1.) sırasıyla aşağıda sunulmuştur:



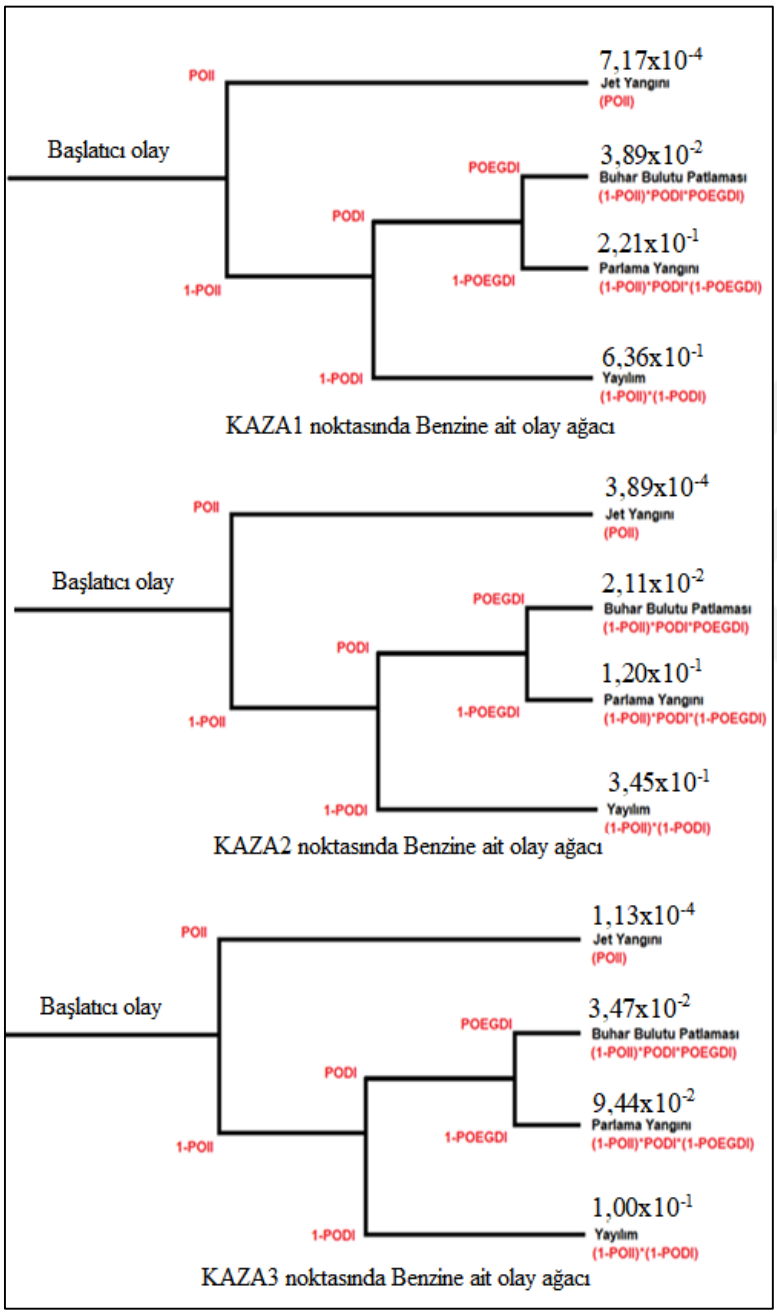
Şekil 5.1. Her bir kaza noktasında LNG' ye ait olay ağaçlarının ayrı ayrı gösterimi

LPG yakıt taşıyan bir araçta trafik kazası sonucu bir sızıntı oluşması başlatıcı olayının tetiklediği olay ağacında ilgili kaza olasılıkları her bir kaza noktası için ayrı ayrı (Şekil 5.2) sırasıyla aşağıda sunulmuştur:



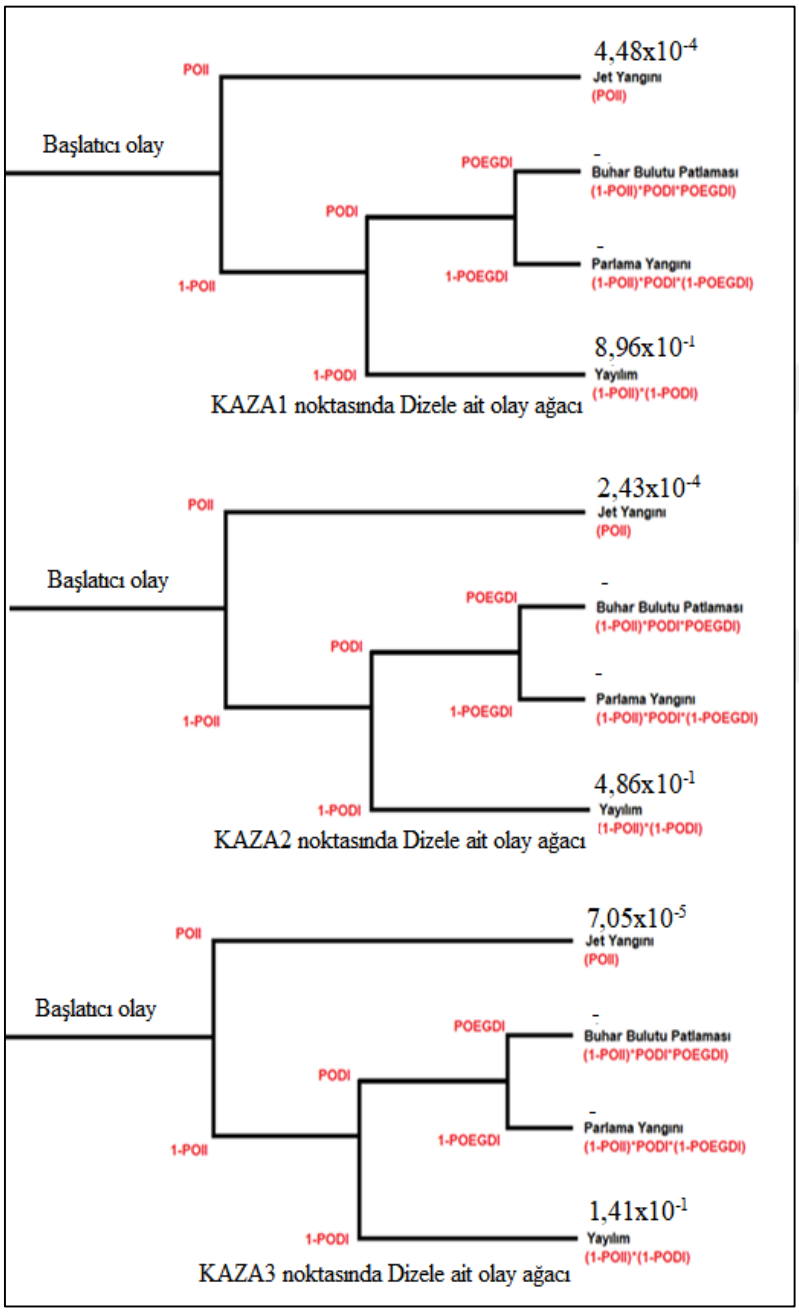
Şekil 5.2. Her bir kaza noktasında LPG'ye ait olay ağaçlarının ayrı ayrı gösterimi

Benzin yakıt taşıyan bir araçta trafik kazası sonucu bir sızıntı oluşması başlatıcı olayının tetiklediği olay ağacında ilgili kaza olasılıkları her bir kaza noktası için ayrı ayrı (Şekil 5.3.) sırasıyla aşağıda sunulmuştur:



Şekil 5.3. Her bir kaza noktasında Benzine ait olay ağaçlarının ayrı ayrı gösterimi

Dizel yakıt taşıyan bir araçta trafik kazası sonucu bir sızıntı oluşması başlatıcı olayının tetiklediği olay ağacında ilgili kaza olasılıkları her bir kaza noktası için ayrı ayrı (Şekil 5.4.) sırasıyla aşağıda sunulmuştur:



Şekil 5.4. Her bir kaza noktasında Dizele ait olay ağaçlarının ayrı ayrı gösterimi

Her bir kaza noktasında kaza senaryosu frekansları 0,1 operatör müdahalesi olasılığı dikkate alınarak Eş. 4.3 ile hesaplanarak Çizelge 5.17.'de verilmiştir.

Çizelge 5.17. Her bir kaza senaryosu frekans değerleri

	KAZA1 f1 (yıl-1)	KAZA2 f2 (yıl-1)	KAZA3 f3 (yıl-1)
LNG			
Jet Yangını	2,24x10-4	1,22x10-4	3,53x10-5
Buhar Bulutu Patlaması	2,48x10-2	1,34x10-2	3,90x10-3
Parlama Yangını	5,78x10-2	3,13x10-2	9,09x10-3
Yayılım	6,83x10-3	3,70x10-2	1,07x10-3
LPG			
Jet Yangını/BLEVE	2,33x10-4	1,26x10-4	3,67x10-4
Buhar Bulutu Patlaması	2,57x10-2	1,39x10-2	4,04x10-3
Parlama Yangını	6,00x10-2	3,25x10-2	9,44x10-3
Yayılım	3,69x10-3	2,00x10-3	5,81x10-4
BENZİN			
Jet Yangını	7,17x10-5	3,89x10-5	1,13x10-5
Buhar Bulutu Patlaması	3,89x10-3	2,11x10-3	6,12x10-4
Parlama Yangını	2,21x10-2	1,20x10-2	3,47x10-3
Yayılım	6,36x10-2	3,45x10-2	1,00x10-2
DİZEL			
Jet Yangını	4,48x10-5	2,43x10-5	7,05x10-6
Buhar Bulutu Patlaması	-	-	-
Parlama Yangını	-	-	-
Yayılım	8,96x10-2	4,86x10-2	1,41x10-2

Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik'in 9. maddesinde bir tesiste büyük endüstriyel kazanın meydana gelme frekansının sınır değeri $1{,}00x10^{-4}$/yıl veya bundan daha küçük bir değer olarak belirtilmektedir [68]. Çizelge 5.17.'deki kaza senaryosu frekans değerlerine bakıldığında LPG ve LNG kimyasallarına ait tüm kaza senaryo frekans değerleri, eşik değerin üzerinde bulunmuştur.

Kaza etkilerinin belirlenmesi

Korelasyonlar üzerinden yürütülen çalışmalar

Benzin ve Dizel, ALOHA yazılım veri tabanında mevcut olmadığı için etki modelleme korelasyon üzerinden yapılmıştır. Benzin veya Dizel yakıtları taşıyan bir araçta trafik kazası sonucu bir sızıntı oluşması halinde havuz yangını maksimum çapı, Eş. 4.7. kullanılarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 5.18.'de verilmiştir. Benzin veya Dizel yakıtları

taşıyan bir araçta trafik kazası sonucu bir sızıntı halinde oluşacak havuz yangını çaplarının üç kaza noktasında ayrı ayrı Google Earth görüntüsü ise sırasıyla Resim 5.9., Resim 5.8. ve Resim 5.7.'de sunulmuştur.

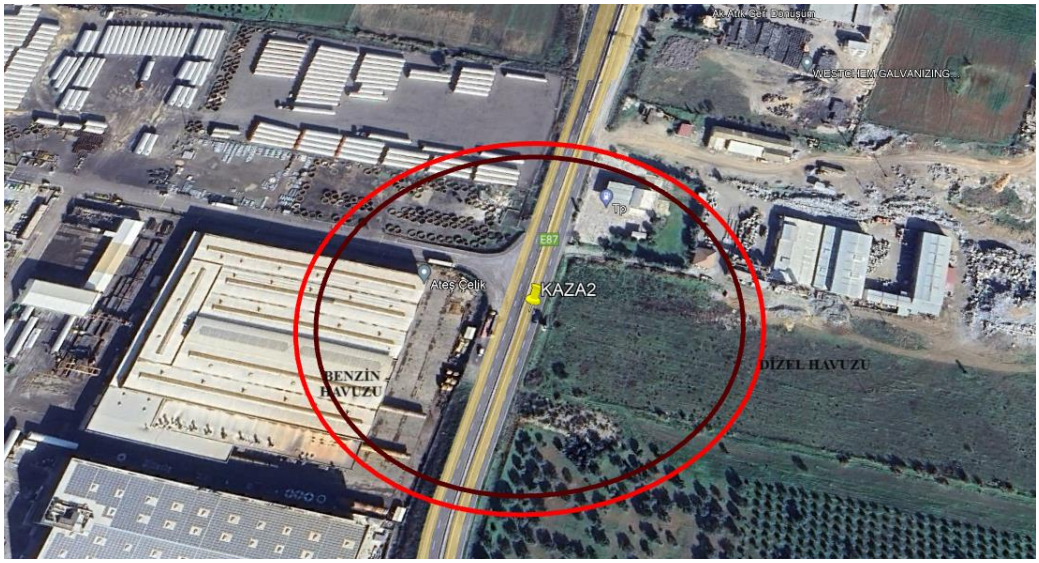
Çizelge 5.18. Benzin veya Dizel yakıtları taşıyan bir araçta trafik kazası sonucu bir sızıntı oluşması halinde havuz yangını maksimum çapları

Yakıt	v1 (m3)	g (m.s-2)	y (kg.m-2.s-1)	ρ (kg.m-3)	Dmax (m)
Benzin	55	9,81	0,082	870	121,35
Dizel	55	9,81	0,54	820	132,73

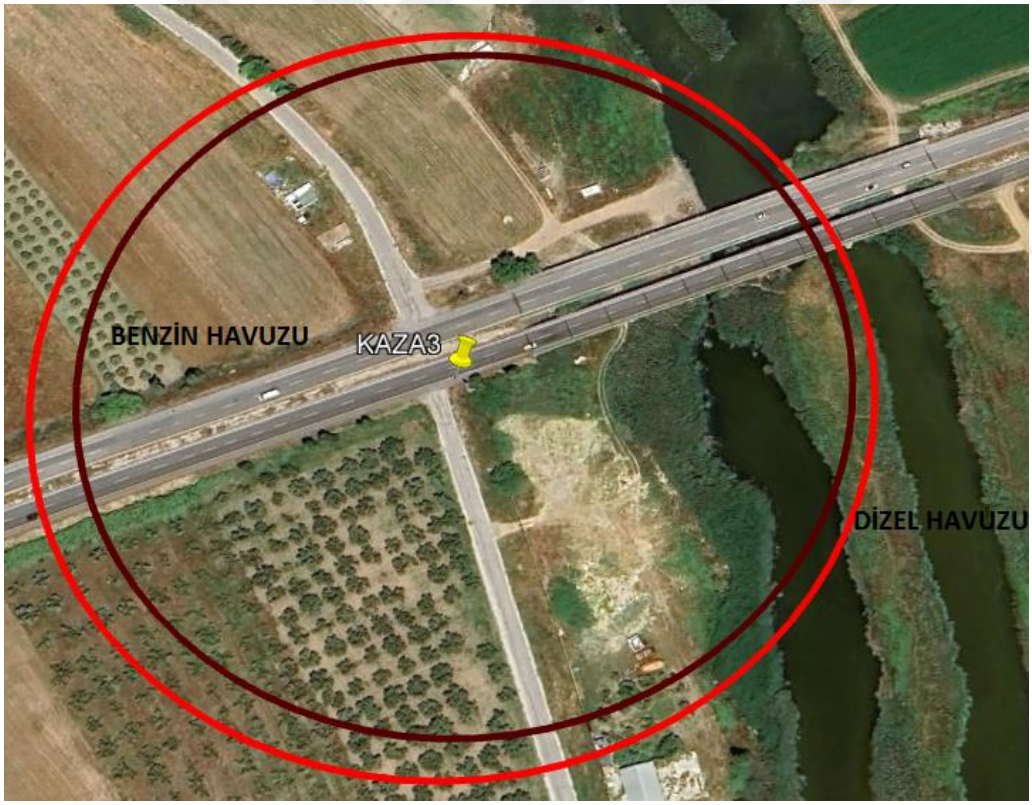
Trafik kazası ile ilgili kimyasalları içeren tankerlerde bütünlük kaybına bağlı ani ateşleme sonucu havuz yangını etki çapları yaklaşık benzer olarak bulunmuştur. Bu durum benzer kimyasal özellikler, operasyon koşulları ile açıklanabilir. Benzin yanıcılık:3, sağlık:1; dizel ise yanıcılık:2, sağlık:1(NFPA 704) tehlike etkilerine sahiptir.



Resim 5.7. KAZA1 noktasında Benzin ve Dizel sızıntısı kaynaklı havuz yangını çaplarının gösterimi



Resim 5.8. KAZA2 noktasında Benzin ve Dizel sızıntısı kaynaklı havuz yangını çaplarının gösterimi



Resim 5.9. KAZA3 noktasında Benzin ve Dizel sızıntısı kaynaklı havuz yangını çaplarının gösterimi

Bütünlük kaybına bağlı elde edilen havuz yangını çapları her bir kaza noktasında benzer olmasına rağmen kaza lokasyonu değiştiğinde etki alanı içerisindeki nüfus, yapı ve çevre değişkenlik göstermektedir. KAZA3 noktasında bu etkilerinin daha az etkili olabileceği söylenebilir.

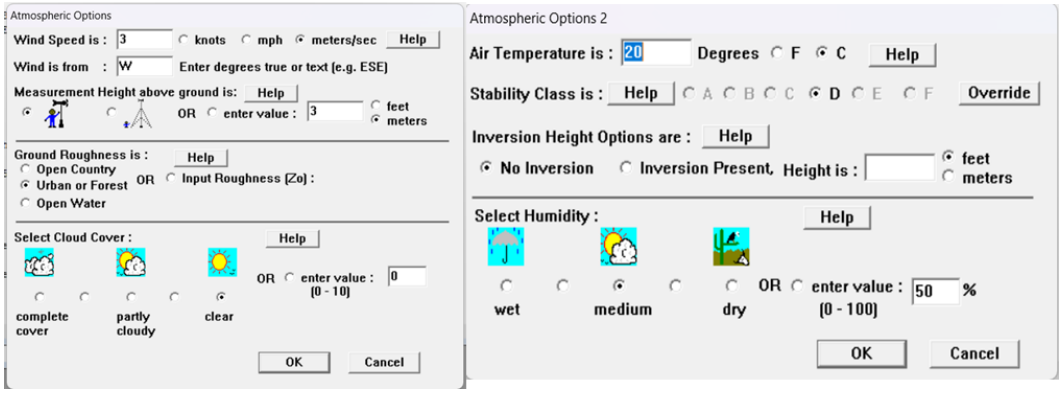
ALOHA yazılımı üzerinden yürütülen çalışmalar

LPG ve LNG kimyasalları için modelleme çalışmaları, en yüksek içerik temel alınarak ALOHA yazılımı üzerinden yapılmıştır. ALOHA yazılımı ile LPG sızıntısı sonucu olası BLEVE, jet yangını ve buhar bulutu yanabilir alan etkileri modellenmiştir. Yazılım, BLEVE, jet yangınlarından kaynaklanan termal radyasyon tehlikelerini hesaplamak için katı alev modelini kullanır. Parlama yangınlarında ise hava dağılım modelleri kullanılır. Salımdan sonra herhangi bir zamanda gaz konsantrasyonunun LEL (Lower Explosion Limit-Alt Patlama Sınırı)' nin %60'ını aştığı herhangi bir yer, tehlike bölgesine dahil edilir [59].

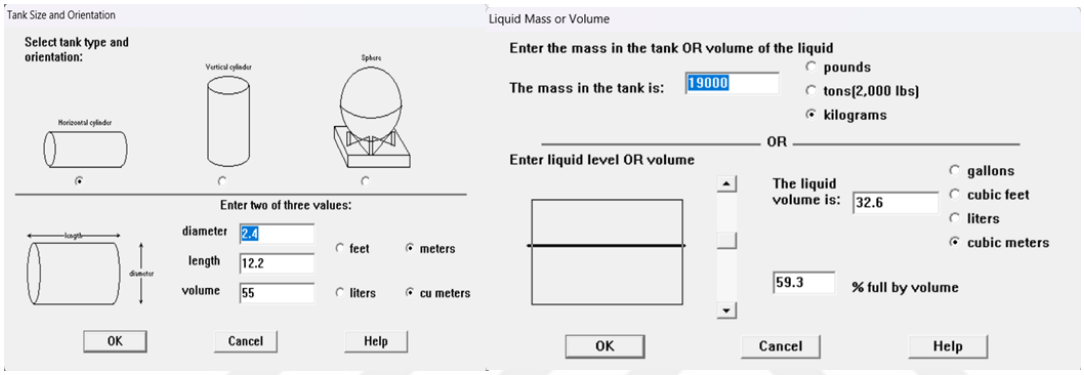
İzmir ilinin 1991-2020 yılları arasındaki mevsim normallerine bakıldığında yıllık ortalama sıcaklık değeri yaklaşık 20ºC olarak belirlenmiştir [69]. Çizelge 5.10.'da verilen kaza veya olay bilgileri de göz önünde bulundurularak hesaplamalarda ve modellemede kullanılacak atmosferik veriler Çizelge 5.19'da sunulmuştur. Bu atmosferik verilerin ALOHA programına girişine ait ekran görüntüsü Resim 5.10.'da verilmiştir. Kullanılan tank özellikleri Resim 5.11.'de, kayba neden olan hataya ait seçilen değerlerin gösterimine Resim 5.12.'de yer verilmiştir. Hem ALOHA yazılımı kullanılırken hem de korelasyonlar uygulanırken kayba neden olan deliğin tankın üst noktasında ve orta ekseninde olduğu kabul edilmiş; geçmiş kaza resimlerinden tankın yan yattığı göz önünde bulundurularak kaza anında emniyet valfi yüksekliği tank yarıçapı olan 1,2 m ve sızıntıya neden olan delik dairesel formda kabul edilerek modelleme yapılmıştır.

Çizelge 5.19. Atmosferik koşullar [69]

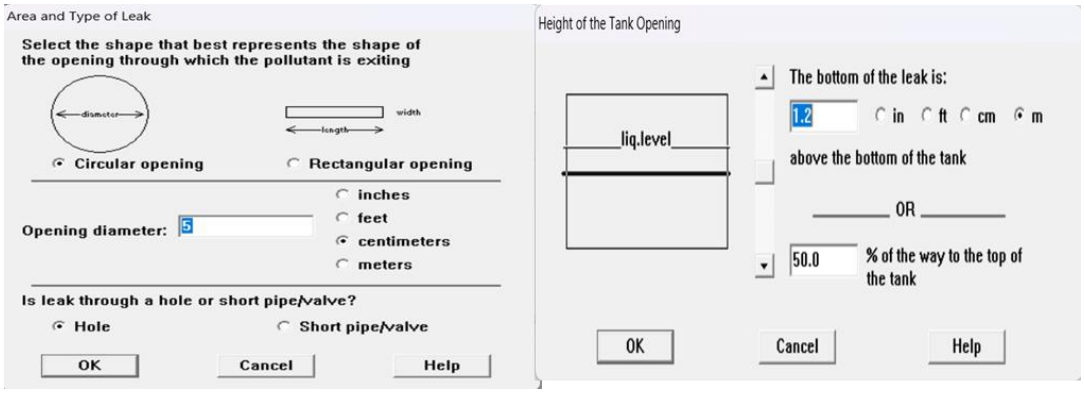
	LPG (Bütan)	LNG (Metan)
Hava sıcaklığı	20ºC	20ºC
Rüzgar hızı	3 m/s	3m/s
Bulutluluk	Açık	Açık
Ortam pürüzlülüğü	Şehir veya Orman	Şehir veya Orman
Nemlilik	Orta	Orta
Bağıl nem oranı	50%	50 %
Rüzgâr yönü	Batı	Batı
Atmosferik kararlılık sınıfı	D	D
Etkilerin elde edileceği yükseklik	3 m	3 m
İnversiyon	Yok	Yok



Resim 5.10. Atmosferik özellikler



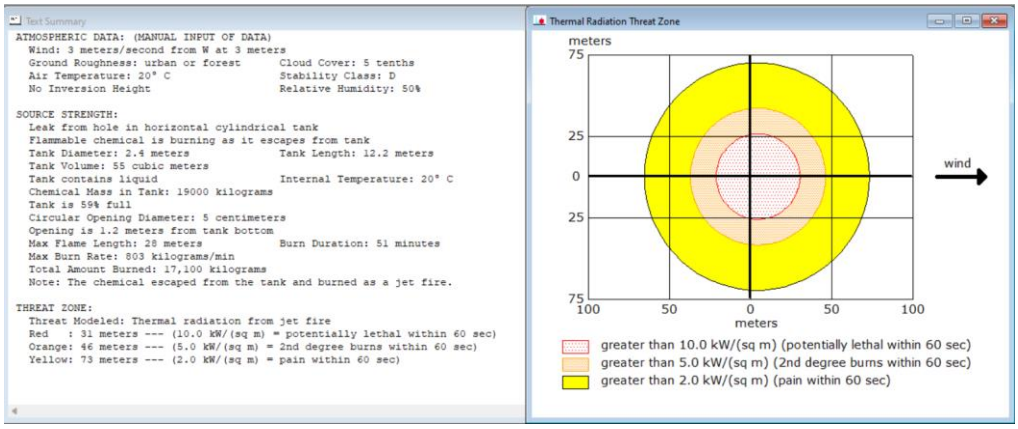
Resim 5.11. Tank özellikleri



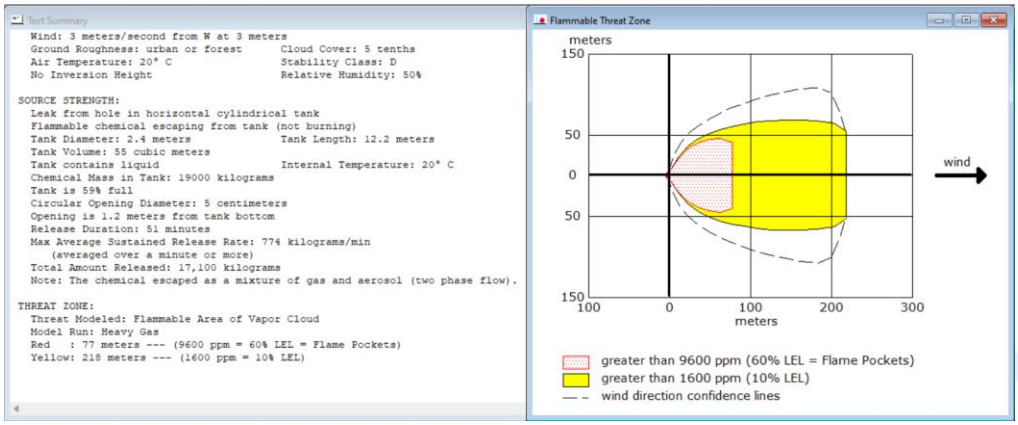
Resim 5.12. Kayba neden olan hatanın özellikleri

ALOHA, birçok karışımı modellemede kısıtlıdır. Bu nedenle, LPG' nin %30 propan ve %70 bütandan oluştuğu karışım dikkate alınarak yüksek içerik "bütan" üzerinden, LNG'nin %80 metandan oluştuğu karışım dikkate alınarak "Metan" üzerinden modelleme yapılmıştır.

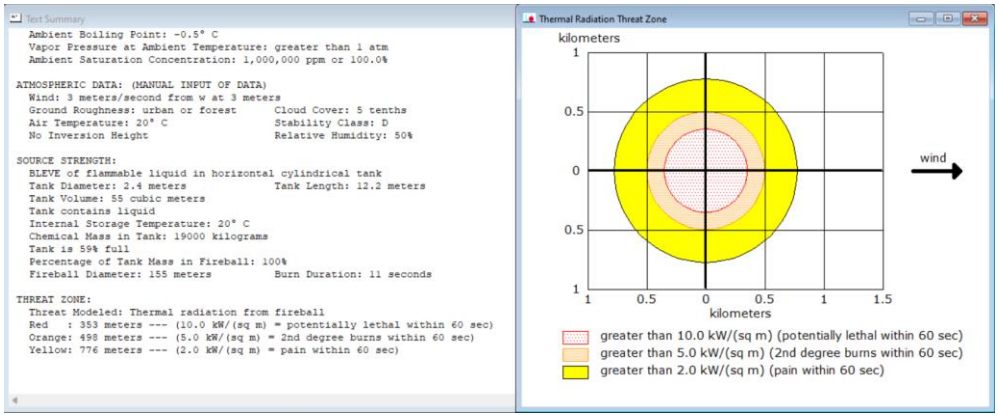
ALOHA'da LPG için yapılan modelleme çalışmaları ile Resim 5.13.'te jet yangını, Resim 5.14'te buhar bulutu ve Resim 5.15.'de BLEVE'ye ait etki mesafelerinin gösterimi sunulmuştur.



Resim 5.13. LPG için jet yangının etki mesafelerinin ALOHA'da gösterimi



Resim 5.14. LPG için buhar bulutunun etki mesafelerinin ALOHA'da gösterimi



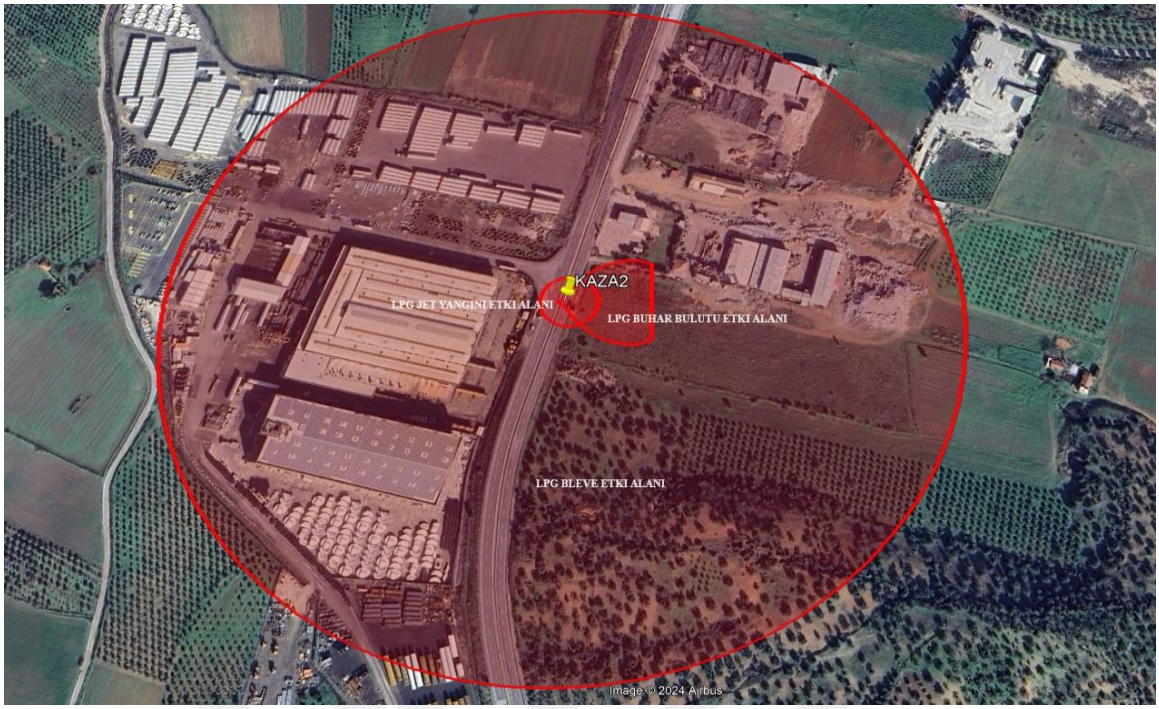
Resim 5.15. LPG için BLEVE etki mesafelerinin ALOHA'da gösterimi

LPG için modellemede BLEVE ve jet yangını, kırmızı, turuncu ve sarı bölge etki mesafeleri sırası ile 10kW/m^2: 60saniye içinde potansiyel ölüm; 5 kW/m^2: 60 saniye içinde ikinci derece yanıklar; 2 kW/m^2: 60saniye içinde acı/ağrı eşik değerlerine karşılık gelmektedir. Buhar bulutu yanabilir alan ise kırmızı ve sarı etki mesafeleri ise sırasıyla 9 600 ppm: %60

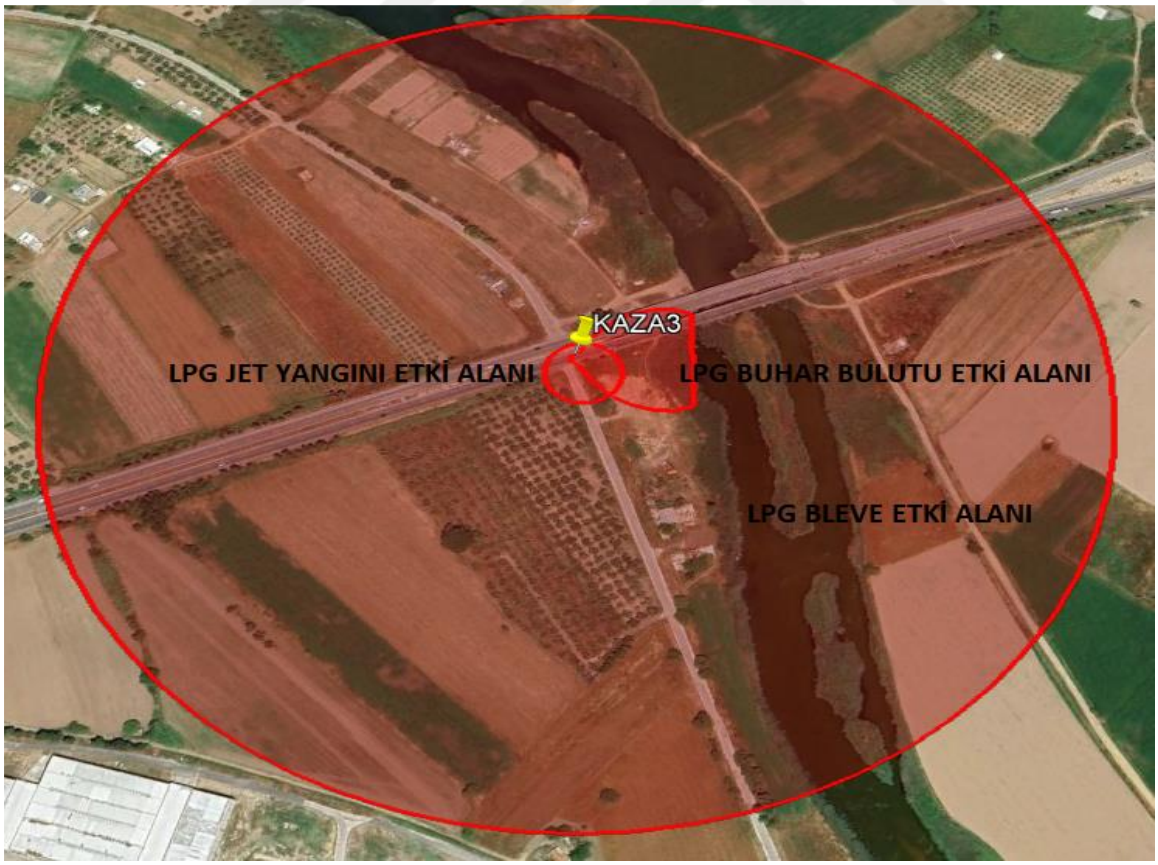
LEL alev paketçikleri, 1 600 ppm: %10 LEL değerlerine karşılık gelmektedir. En geniş etkiler, BLEVE sonucu ateş topu termal radyasyon etkileri için elde edilmiştir. Kaza noktasından 353 m mesafede ölümcül etkilerin olacağı belirlenmiştir. Jet yangını için 31m mesafede, buhar bulutu için 77 m ölümcül etkiler tespit edilmiştir. Resim 5.18.'de KAZA1 noktasındaki, Resim 5.17.'de KAZA2 noktasındaki ve Resim 5.16.'da KAZA3 noktasındaki LPG'ye ait jet yangını, buhar bulutu ve BLEVE'ye ait etki mesafelerinin Marplot üzerinde gösterimi yer almaktadır.



Resim 5.16. LPG için Jet yangını, Buhar bulutu ve BLEVE etki mesafelerinin KAZA1 noktasında Marplot'da gösterimi



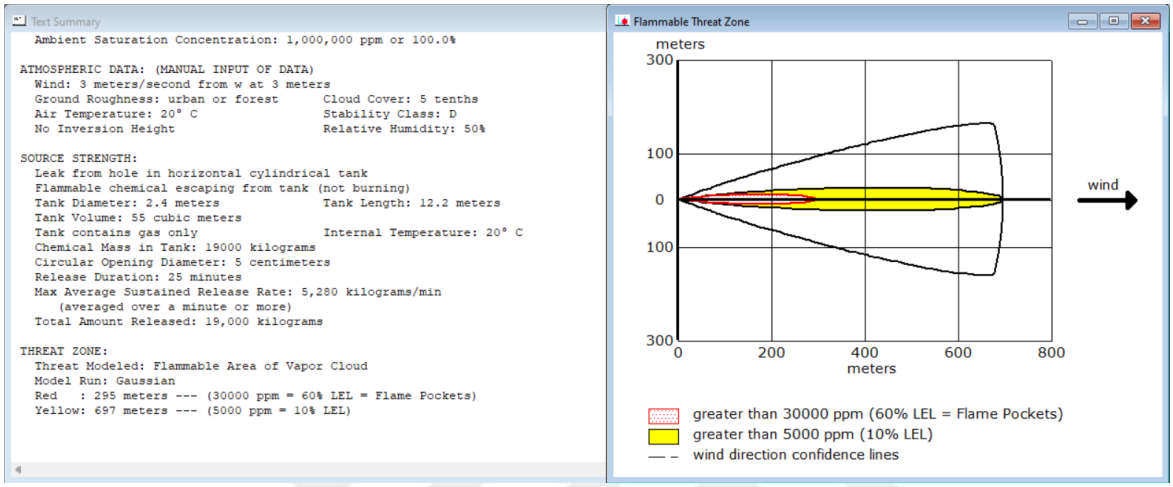
Resim 5.17. LPG için Jet yangını, Buhar bulutu ve BLEVE etki mesafelerinin KAZA2 noktasında Marplot'da gösterimi



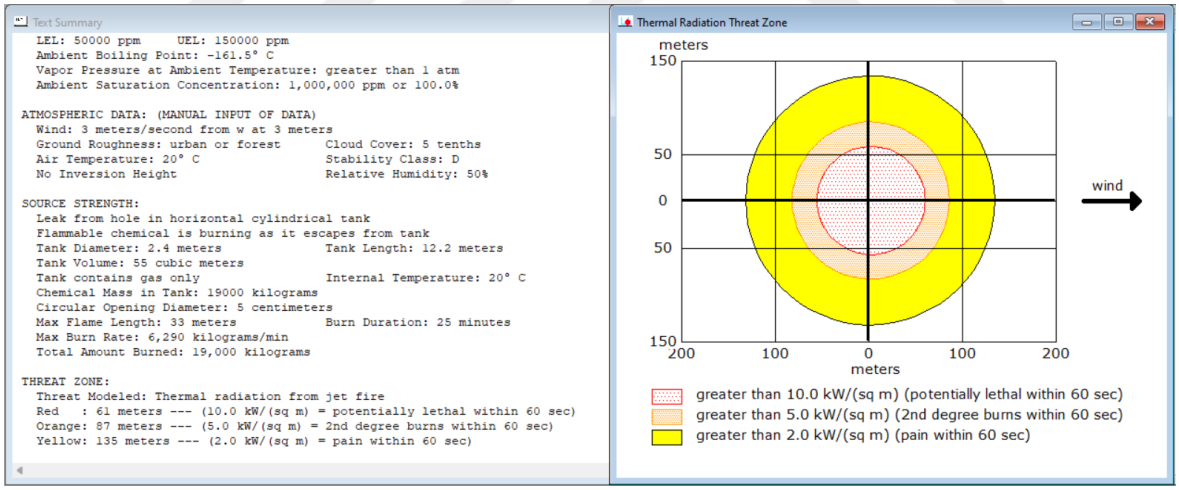
Resim 5.18. LPG için Jet yangını, Buhar bulutu ve BLEVE etki mesafelerinin KAZA3 noktasında Marplot'da gösterimi

KAZA3 noktasında daha düşük olmak üzere her kaza lokasyonunda ciddi can, mal ve çevre etkilerinin olabileceği görülmektedir.

ALOHA'da LNG için yapılan modelleme çalışmaları ile Resim 5.19.'da buhar bulutuna, Resim 5.20.'de jet yangınına ait etki mesafeleri sunulmuştur.



Resim 5.19. LNG için buhar bulutunun etki mesafelerinin ALOHA'da gösterimi



Resim 5.20. LNG için jet yangını etki mesafelerinin ALOHA'da gösterimi

LNG için modellemede jet yangını kırmızı, turuncu ve sarı bölge etki mesafeleri sırası ile 10kW/m^2: 60saniye içinde potansiyel ölüm; 5 kW/m^2: 60 saniye içinde ikinci derece yanıklar; 2 kW/m^2: 60saniye içinde acı/ağrı eşik değerlerine sahiptir. Buhar bulutu yanabilir alan kırmızı ve sarı etki mesafeleri ise sırasıyla 30 000 ppm:%60 LEL alev paketçikleri, 5 000 ppm: %10 LEL değerlerine karşılık gelmektedir. Yanabilir alan için tanımlanan LEL hava içinde olması gereken minimum yanıcı madde buhar oranıdır [59]. En geniş etkiler buhar bulutu senaryosu için elde edilmiş, kaza noktasından 295 m mesafede ölümcül etkiler

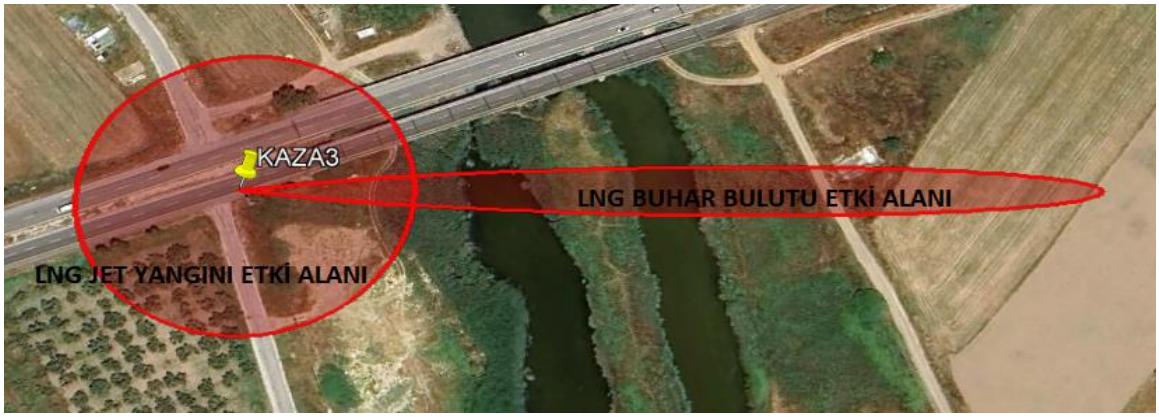
tespit edilmiştir. Resim 5.21.'de KAZA1 noktasındaki, Resim 5.22.'de KAZA2 noktasındaki ve Resim 5.23.'te KAZA3 noktasındaki jet yangınına ve buhar bulutuna ait etki mesafelerinin Marplot üzerinde gösterimi yer almaktadır.



Resim 5.21. LNG için buhar bulutu ve jet yangının KAZA1 noktasındaki etki mesafelerinin Marplot'da gösterimi



Resim 5.22. LNG için buhar bulutu ve jet yangının KAZA2 noktasındaki etki mesafelerinin Marplot'da gösterimi



Resim 5.23. LNG için buhar bulutu ve jet yangının KAZA3 noktasındaki etki mesafelerinin Marplot'da gösterimi

KAZA2 noktasında buhar bulutu patlama alanının domino etkisi oluşturma potansiyeli görülmüştür.

Kaza analizinde ateş topunun kütlesine bağlı olarak, ateş topunun maksimum çapı hesaplanmıştır. ALOHA yazılımı ile yürütülen model çalışmaları sonucu elde edilen tüm fiziksel etki mesafeleri Çizelge 5.20.'de verilmiştir. BLEVE, jet yangını ve buhar bulutuna ait çeşitli parametreler ise Çizelge 5.21.'de sunulmuştur.

Çizelge 5.20. ALOHA'dan elde edilen tüm etki mesafeleri

Tehlike Bölgesi	LPG			LNG		
	BLEVE	Jet Yangını	Buhar Bulutu Yanabilir Alan	BLEVE	Jet Yangını	Buhar Bulutu Yanabilir Alan
Kırmızı	353m	31m	77m	-	61m	295m
Turuncu	498m	46m	-	-	87m	-
Sarı	776m	73m	218m	-	135m	697m

Çizelge 5.21. ALOHA'dan elde edilen parametre değerleri

		LPG	LNG
BLEVE	Kütle kaybı (kg)	19 000	-
	Ateş topu çapı (m)	155	-
	Yanma süresi (s)	11	-
Jet Yangını	Alev uzunluğu (m)	28	33
	Yanma hızı (kg/dk)	803	6 290
	Yanma süresi (dk)	51	25
	Toplam yanan kütle (kg)	17 100	19 000
Buhar Bulutu Yanabilir Alan	Sızıntı hızı (kg/dk)	774	5 280
	Sızıntı süresi (dk)	51	25
	Salınan kütle (kg)	17 100	19 000

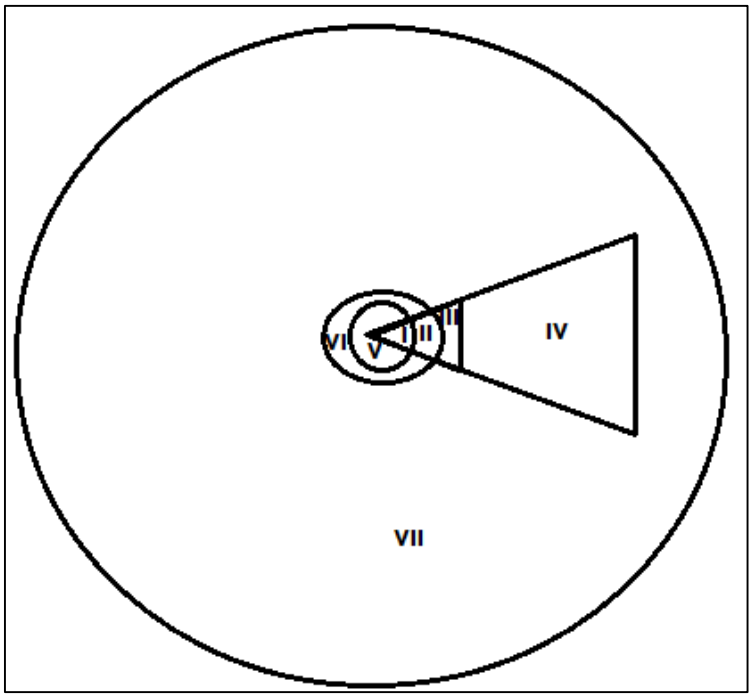
En geniş etki mesafeleri LPG için belirlenmiştir. Benzin, Dizel (Bkz. Çizelge 5.18.) ve LNG jet yanıgını/havuz yangını çapları yaklaşık benzer (60m) bulunmuştur. Çizelge 5.17.'deki kaza senaryo frekans değerlerinden ise benzin ve dizel için mevzuat eşik değerin aşılmadığı belirlenmiştir. Bu nedenle önerilen metodolojinin devam eden aşamaları, LPG ve LNG kimyasalları üzerinden yürütülmüştür. İlgili atmosferik seçimler ve operasyon koşullarında ise LPG için, BLEVE, jet yangını ve buhar bulutu yanabilir alan etkileri; LNG için jet yangını ve buhar bulutu yanabilir alan etkileri belirlendiğinden ilgili bu kaza senaryoları dikkate alınmıştır.

5.4. Bireysel ve Sosyal Risk Haritaları

LPG ve LNG kimyasalları için ölümcül etkilerin görüldüğü kırmızı etki alanları, seçilen her bir kaza senaryosu için temel alınarak bireysel riskler hesaplanmıştır.

Bireysel riskler

LNG ve LPG kimyasallarının dahil olduğu seçilen kaza senaryolarına ilişkin etki alanlarının şematik gösterimi Şekil 5.5.'de verilmiştir.



Şekil 5.5. LNG ve LPG kimyasallarının dahil olduğu seçilen kazalara ilişkin tüm etki mesafelerinin şematik gösterimi

Çizelge 5.22. LNG ve LPG kimyasallarının dahil olduğu kaza senaryoları

Alan	İlgili kaza senaryosu
I	Buhar Bulutu (LNG), BLEVE (LPG), Buhar Bulutu (LPG), Jet Yangını (LNG), Jet Yangını (LPG)
II	Buhar Bulutu (LNG), BLEVE (LPG), Buhar Bulutu (LPG), Jet Yangını (LNG)
III	Buhar Bulutu (LNG), BLEVE (LPG), Buhar Bulutu (LPG)
IV	Buhar Bulutu (LNG), BLEVE (LPG)
V	Jet Yangını (LPG), Jet Yangını (LNG), BLEVE (LPG)
VI	Jet Yangını (LNG), BLEVE (LPG)
VII	BLEVE (LPG)

Etki alanları içerisinde %100 ölüm olasılığı (P=1.0) düşünülerek bireysel riskler hesaplanmıştır. (Çizelge 5.23.)

Çizelge 5.23. Bireysel riskler

Alan	İlgili kaza senaryosu	KAZA1 IR, bireysel risk (ölüm/yıl)	KAZA2 IR, bireysel risk (ölüm/yıl)	KAZA3 IR, bireysel risk (ölüm/yıl)
I	Buhar Bulutu (LNG), BLEVE (LPG), Buhar Bulutu (LPG), Jet Yangını (LNG), Jet Yangını (LPG)	$5{,}12 \times 10^{-2}$	$2{,}77 \times 10^{-2}$	$8{,}05 \times 10^{-3}$
II	Buhar Bulutu (LNG), BLEVE (LPG), Buhar Bulutu (LPG), Jet Yangın ı(LNG)	$5{,}09 \times 10^{-2}$	$2{,}76 \times 10^{-2}$	$8{,}01 \times 10^{-3}$
III	Buhar Bulutu (LNG), BLEVE (LPG), Buhar Bulutu (LPG)	$5{,}07 \times 10^{-2}$	$2{,}75 \times 10^{-2}$	$7{,}98 \times 10^{-3}$
IV	Buhar Bulutu (LNG), BLEVE (LPG)	$2{,}50 \times 10^{-2}$	$1{,}36 \times 10^{-2}$	$3{,}93 \times 10^{-3}$
V	Jet Yangını (LPG), Jet Yangını (LNG), BLEVE (LPG)	$6{,}90 \times 10^{-4}$	$3{,}74 \times 10^{-4}$	$1{,}09 \times 10^{-4}$
VI	Jet Yangını (LNG), BLEVE (LPG)	$4{,}57 \times 10^{-4}$	$2{,}48 \times 10^{-4}$	$7{,}19 \times 10^{-5}$
VII	BLEVE (LPG)	$2{,}33 \times 10^{-4}$	$1{,}26 \times 10^{-4}$	$3{,}67 \times 10^{-5}$

Sosyal riskler

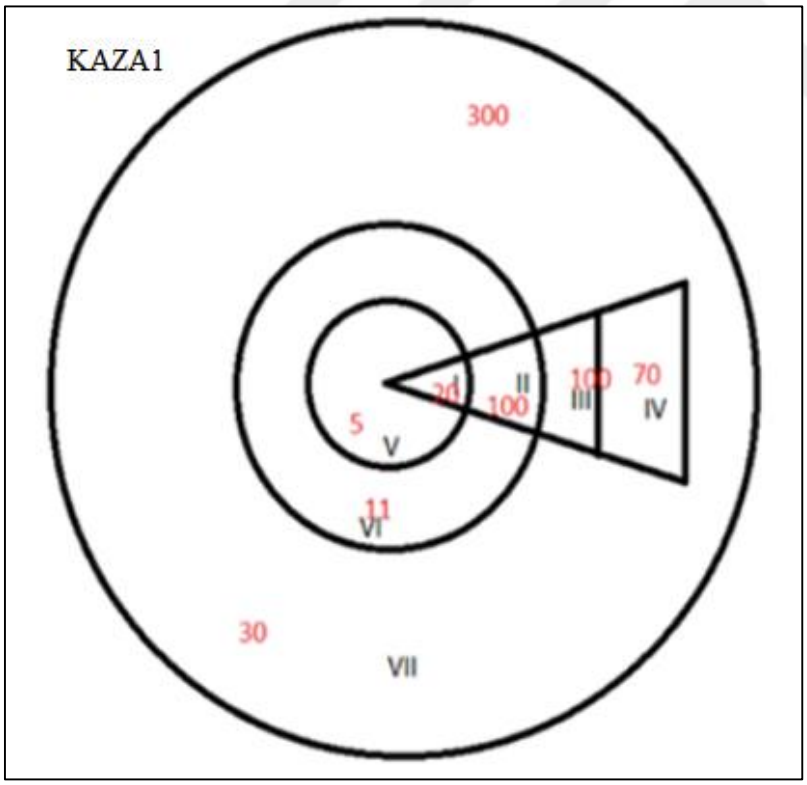
LNG ve LPG kimyasallarına yönelik kaza senaryoları için bireysel riskler hesaplandıktan sonra sosyal riskleri belirleyebilmek için önce kaza etki alanları içerisindeki nüfuslar tespit edilmiştir:

KAZA1 noktasında oluşan kaza sonrasındaki en büyük etki alanı içerisinde yol kenarında bulunan iki adet okulun ve 4 otomobil, bir adet otobüs ve bir adet ağır aracın bulunduğu Google Earth görüntüsünden anlaşılmaktadır (Bkz. Resim 5.18.). Bu okulların ve araçların

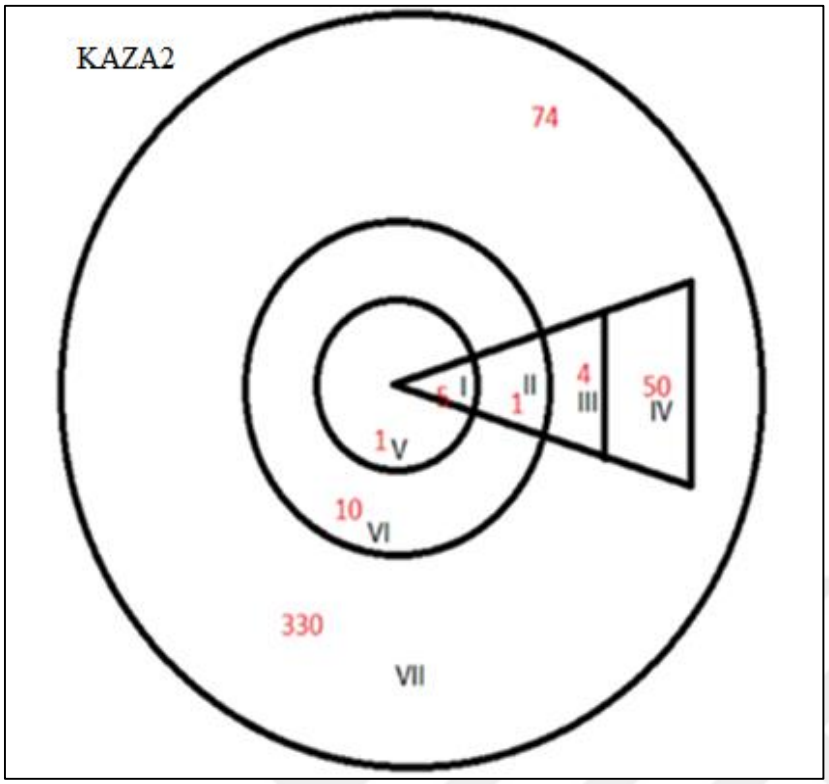
kapasiteleri göz önünde bulundurularak toplam 616 kişinin kazanın etki alanı içerisinde kaldığı söylenebilir (Şekil 5.6.).

KAZA2 noktasında oluşan kaza sonrasındaki en büyük etki alanı içerisinde yol kenarında bulunan fabrika, geri dönüşüm tesisi, benzinlik ve iki adet tesisin yanı sıra bir otomobil ile iki adet ağır aracın bulunduğu Google Earth görüntüsünden anlaşılmaktadır (Bkz. Resim 5.18.). Bu çevre unsurlar dikkate alınarak toplam 475 kişinin kazanın etki alanı içerisinde kaldığı söylenebilir (Şekil 5.7.).

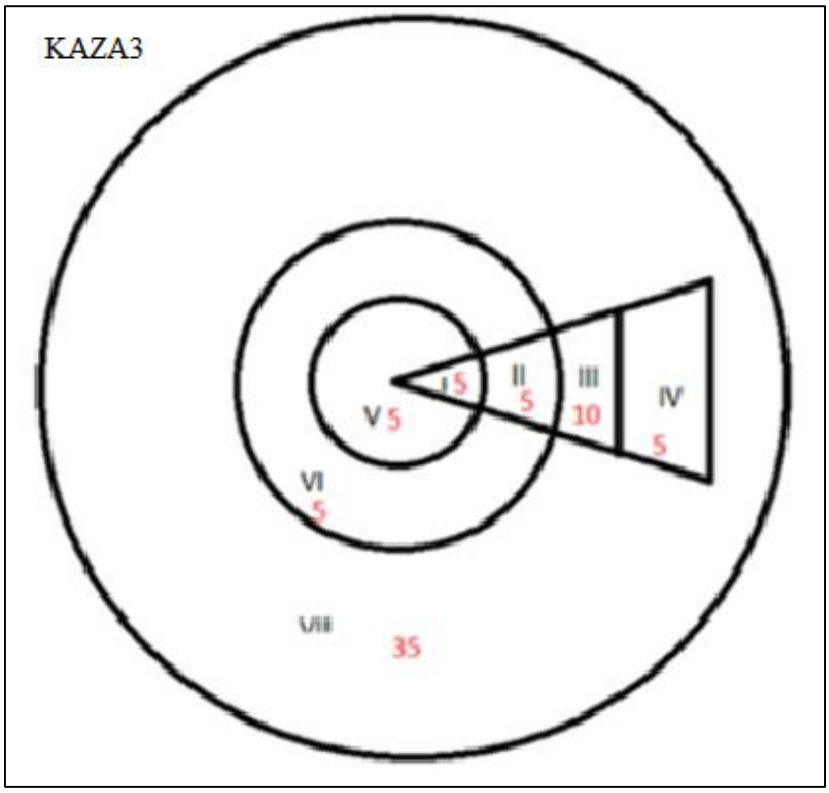
KAZA3 noktasında oluşan kaza sonrasındaki en büyük etki alanı içerisinde 12 adet otomobil ve 2 adet ev olduğu Google Earth görüntüsünden anlaşılmaktadır (Bkz. Resim 5.18.). Bir otomobilin yolcu kapasitesinin 5 olduğu göz önünde bulundurulduğunda ve bir evde 5 kişilik bir ailenin yaşadığı varsayıldığında toplam 70 kişinin kazanın etki alanı içerisinde kaldığı söylenebilir (Şekil 5.8.).



Şekil 5.6. LNG ve LPG kimyasallarının dahil olduğu KAZA1 noktasındaki tüm etki mesafeleri içerisinde kalan nüfusun şematik gösterimi



Şekil 5.7. LNG ve LPG kimyasallarının dahil olduğu KAZA2 noktasındaki tüm etki mesafeleri içerisinde kalan nüfusun şematik gösterimi



Şekil 5.8. LNG ve LPG kimyasallarının dahil olduğu KAZA3 noktasındaki tüm etki mesafeleri içerisinde kalan nüfusun şematik gösterimi

Sosyal risk, f-N eğrileri ile gösterilmektedir. Bu eğriyi elde edebilmek için ilgili her kaza senaryosunda ölümlü Ni sayısı, ölüm sayısı ile ilişkili frekans belirlenmiştir (Çizelge 5.24.- Çizelge 5.26.).

Çizelge 5.24. KAZA1 noktasındaki hesaplanan kümülatif frekans değerleri

Tahmin edilen ölü sayısı, N	İlgili kaza senaryosu	f, yıl-1	Kümülatif frekans, yıl-1
>330		0	0
330	VII	$3,67 \times 10^{-5}$	$3,67 \times 10^{-5}$
100	III, IV	$1,19 \times 10^{-2}$	$1,19 \times 10^{-2}$
70	V	$1,09 \times 10^{-4}$	$1,21 \times 10^{-2}$
20	II	$8,01 \times 10^{-3}$	$2,01 \times 10^{-2}$
11	VI	$7,19 \times 10^{-5}$	$2,01 \times 10^{-2}$
5	I	$8,05 \times 10^{-3}$	$2,82 \times 10^{-2}$

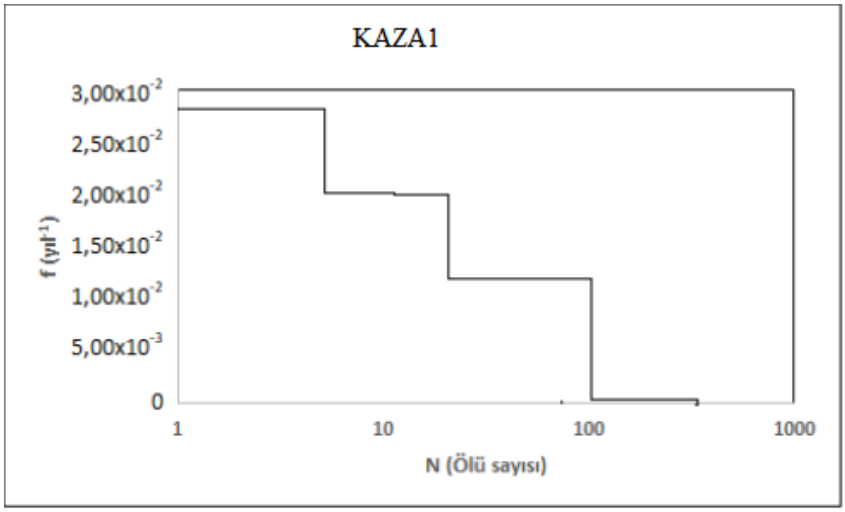
Çizelge 5.25. KAZA2 noktasındaki hesaplanan kümülatif frekans değerleri

Tahmin edilen ölü sayısı, N	İlgili kaza senaryosu	f, $yıl^{-1}$	Kümülatif frekans, $yıl^{-1}$
>404		0	0
404	VII	$1,26 \times 10^{-4}$	$1,26 \times 10^{-4}$
50	IV	$1,36 \times 10^{-2}$	$1,37 \times 10^{-2}$
10	VI	$2,48 \times 10^{-4}$	$1,39 \times 10^{-2}$
5	I	$2,77 \times 10^{-2}$	$4,17 \times 10^{-2}$
4	III	$2,75 \times 10^{-2}$	$6,92 \times 10^{-2}$
1	II, V	$2,80 \times 10^{-2}$	$9,72 \times 10^{-2}$

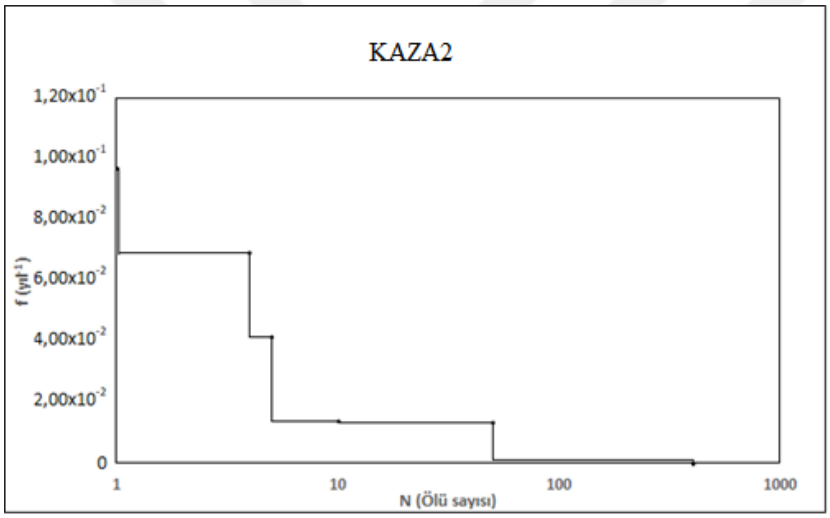
Çizelge 5.26. KAZA3 noktasındaki hesaplanan kümülatif frekans değerleri

Tahmin edilen ölü sayısı, N	İlgili kaza senaryosu	f, $yıl^{-1}$	Kümülatif frekans, $yıl^{-1}$
>35		0	0
35	VII	$2,33 \times 10^{-4}$	$2,33 \times 10^{-4}$
10	III	$5,07 \times 10^{-2}$	$5,09 \times 10^{-2}$
5	I,II, IV, V, VI	$1,28 \times 10^{-1}$	$1,79 \times 10^{-1}$

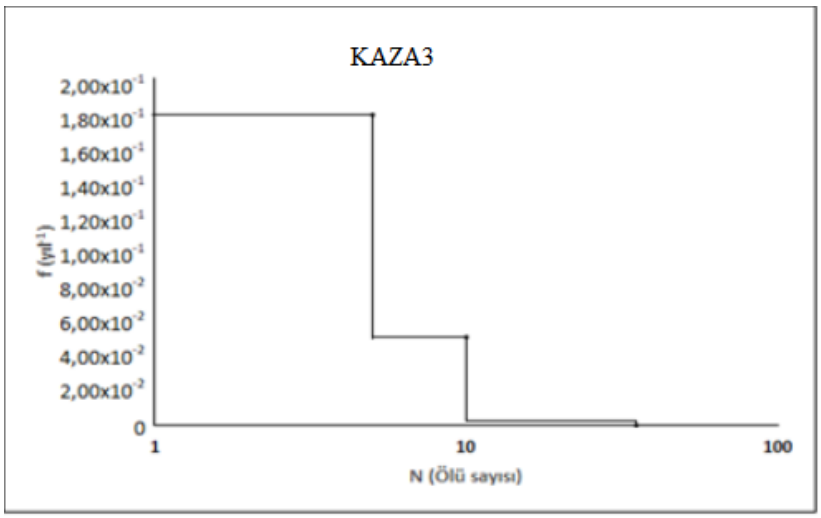
Her üç kaza noktası için belirlenen kümülatif frekans değerleri dikkate alınarak oluşturulan f-N eğrileri Şekil 5.9.- Şekil 5.11.'de verilmiştir.



Şekil 5.9. KAZA1 noktasındaki f-N eğrisi



Şekil 5.10. KAZA2 noktasındaki f-N eğrisi



Şekil 5.11. KAZA3 noktasındaki f-N eğrisi

Tüm f-N sosyal risk eğrilerinde ölü sayısı arttıkça frekans değerlerinin azaldığı görülmektedir. Tüm kaza noktalarında mevzuat eşik değeri aşılmıştır [68]. Bu bağlamda, analiz edilen kazaların oluştuğu noktalarda ilgili çevre unsurlara dahil olan nüfusa ciddi ölümcül etkiler söz konusudur. Senaryo edilen bu kaza noktalarında güvenlik önlemlerinin arttırılması gerekmektedir. Kaza lokasyonu değiştikçe aynı kaza senaryoları olmasına rağmen kapsanan çevre unsur ve nüfus değişmektedir. Acil durum planları ve kazalara etkin hazırlık için deterministik ve objektif yaklaşıma dayanan kantitatif risk analiz aracının önemli olduğu bir kez daha gösterilmiştir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışmasında, karayolu tehlikeli madde taşımacılığı kazalarına yönelik kantitatif risk analizine dayanan yeni bir metodoloji önerisi getirilmiştir. Önce, 2020-2021 yılları arasında ülkemizde meydana gelen tehlikeli madde taşımacılığı kazaları analiz edilmiştir. Bu aşamada, lokasyon, atmosferik koşullar, bütünlük kaybı türü ve kazalara dahil olan tehlikeli madde türleri ile araçları değerlendirilmiş ve risk analizine girdiler oluşturulmuştur. Ardından, risk analizi çalışmaları yürütülecek pilot uygulama alanı belirlenmiştir. Son aşamada ise olay ağacı, kaza etki modelleme çalışmalarını içeren kantitatif risk analizi gerçekleştirilmiş; bireysel ve sosyal risk haritaları oluşturulmuştur.

Çizelge 5.1., Çizelge 5.2. ve Çizelge 5.9.'da yer alan istatistiksel değerlendirme sonucunda tehlikeli madde taşımacılığının başlangıç noktasının sıklıkla İzmir ili görülmüştür. İzmir ili Aliağa ilçesi sınırları içerisinde TÜPRAŞ İzmir Rafinerisi, PETKİM, Demir-Çelik Fabrikaları, Gemi Söküm Tesisleri, Akaryakıt Dolum Tesisleri, Gübre ve Kâğıt Fabrikası gibi tesislerin bulunması [66] tehlikeli madde taşımacılığının başlangıç noktasının İzmir ilinin olmasını desteklemektedir. Hem tehlikeli maddelerin taşınmasında hem de yaşanan kaza veya olaylarda İzmir ilinin önemini ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, QRA(Kantitatif Risk Analizi) yapılarak veri analizi, kaza senaryosu belirleme ve frekans tahmini, kaza etki modellemesi ve risk haritalarına dayanan metodolojinin saha uygulaması yapılması için pilot alan olarak İzmir İli seçilmiştir.

2020 ve 2021 yıllarındaki tehlike madde taşımacılığı faaliyetinde bulunan gerçek veya tüzel kişilerce Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığına bildirilen faaliyet raporları, U-ETDS verileri ile 2015-2021 yılları arasındaki kaza veya olay bilgileri üzerinden ülkemizde söz konusu yıllar arasında 158 adet kaza veya olay yaşandığı (15 ölüm, 79 yaralanma) belirlenmiştir. En çok kış aylarında (Aralık ve Ocak) kazalar meydana gelmiş; tanker araç türü ise kazalarda öne çıkmıştır. Kaza ve olayların İzmir ili sınırları içerisinde yoğunlaştığı 3 nokta tespit edilmiş, bu kaza ve olaylara dahil olan tehlikeli kimyasallar Benzin, Dizel, LPG ve LNG olarak belirlenmiştir. U-ETDS verileri ile 2015-2021 yılları arasındaki kaza veya olay bilgileri kullanılarak 3 ayrı kaza noktası için ilgili tehlikeli kimyasalları içeren kaza senaryosunu başlatan başlatıcı olay frekansı, kaza olasılıkları ve kaza senaryosu frekansları olay ağacı üzerinden belirlenmiştir. Kaza ve olaylara dahil olan Benzin, Dizel, LPG ve LNG tehlikeli kimyasallarını içeren kaza senaryolarının ALOHA yazılımı ve ilgili korelasyonlar

kullanılarak etki alanları belirlenmiştir. En yüksek kaza frekansı ve en geniş etki alanları tespit edilen LNG ve LPG tehlikeli kimyasalları üzerinden önce bireysel riskler hesaplanmıştır. Sonra, her bir kaza lokasyonunda çevre unsurlar ve nüfus analiz edilerek muhtemel ölü sayıları ve kümülatif frekanslar belirlenmiştir. Böylece her bir kaza lokasyonu için sosyal risk eğrileri oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar, Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik'in 9. maddesinde endüstriyel kazanın meydana gelme frekansı değeri($1x10^{-4}$/yıl) ile karşılaştırılmıştır [68]. Her üç kaza noktasında da sınır değerden yüksek frekanslar tespit edilmiştir. Bu bağlamda, analiz edilen kazaların oluştuğu noktalarda güvenlik önlemlerinin arttırılması gerekmektedir.

Kaza veya olayların en çok sabah saat 07.00 ile öğlen 12.00 saatleri arasında meydana geldiği görülmüştür (Bkz. Çizelge 5.7.). 2020 yılındaki trafik kazalarından 150 275 ölümlü yaralanmalı kazanın %66,9'u gündüz, %30,4'ü gece ve %2,7'si alacakaranlıkta gerçekleşmiştir [13] 2021 yılında 187 963 ölümlü yaralanmalı kazanın ise %68,9'u gündüz, %28,4'ü gece ve %2,7'si alacakaranlıkta meydana gelmiştir [14]. 08.00 ile 17:00 zaman aralığında oluşan kazaların oranı, %60,76 olarak tespit edilmiştir. Tehlikeli maddelerin karayollarında taşınması esnasında yaşanan kaza veya olayların oluş saati aralıklarının ülkemizde oluşan karayolu trafik kazaları ile benzerlik teşkil ettiği görülmüştür.

Stolecka (2020) tarafından bir kazanın tehlike seviyesi ve olası sonuçlarının türünün, maddeye bağlı olarak değiştiği belirtilmiştir [20]. Dumlupınar ve Öztürkoğlu (2019) ise insan faktörleri, şirketle ilgili faktörler, malzeme ve ambalaj, araçların durumu, çevre ve trafik olmak üzere 5 temel faktör olmak üzere 24 risk unsuru tespit etmiştir. Bu 24 risk unsurunun içerisinde, tehlikeli madde miktarı, maddenin tehlike önceliği, ambalaj ve paketleme, yol durumu, araç yaşı, kapasitesi ve teknik durumu gibi bilgiler ile nüfus yoğunluğu bulunmaktadır [26]. Tehlikeli maddelerin karayolu ile taşınması esnasında nüfusun yoğun olduğu bölgelerden geçişlerde, trafik yoğunluğunun, araçların teknik durumunun, sürücülerin hataları ya da bilgisizliğinin ve yasal düzenlemelere uyulmamasının ulaşım sektöründe olası aksaklıklara yol açabilecek etkenler olduğu ve tehlike seviyesini artırdığı belirlenmiştir [20,21]. Kaza veya olaylara karışan tehlikeli maddelerin tehlike önem öncelikleri ile ambalaj veya paketleme bilinmesine rağmen araç yaşı, kapasitesi ve teknik durumu tam olarak bilinmediğinden araç kapasiteleri ve teknik özellikleri aynı değer seçilerek korelasyon ve yazılım üzerinden çalışmalar yapılmış ve lokasyon, kimyasal türü,

çevre unsur değişimine bağlı olarak farklı sonuçların elde edildiği görülmüştür. Elde edilen bulgular [20], [21] ve [26]'da elde edilen bulgular ile uyumludur.

Tehlikeli maddelerin karayoluyla taşınmasında tehlikeli maddelerin cinsine ve miktarına ve taşınacakları güzergâhın uzunluğuna bağlı olarak doğru kara taşımacılığı türünün seçimi önemlidir. Ayrıca, mevcut ulaşım ağının yoğunluğunu, türünü ve özelliklerini dikkate alan en uygun rota, en az riskle ve en az maliyetli şekilde seçilmelidir. Seçilen güzergâh üzerindeki trafik akışı ve günün farklı saatlerindeki nüfus yoğunluğu dikkate alınarak tehlikeli maddelerin taşınması için günün saatinin seçiminin yapılması da önemlidir [34]. Tez çalışmasında, tehlikeli kimyasal türü, atmosferik seçimler aynı tutulmasına rağmen hat uzunluğu, lokasyondaki kaza sayısı vb. üzerinden başlatıcı olay frekansının lokasyonla değiştiği, kaza frekanslarının da buna bağlı değişim verdiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak aynı kaza senaryoları aynı kaza etki alanlarını vermesine rağmen, farklı bireysel riskler ve çevre nüfusun değişimine bağlı farklı sosyal risk eğrileri sergilemiştir. İlerleyen süreçte zaman bazlı güzergâh üzerindeki trafik akışının yoğunluğuna ve günün farklı saatlerindeki nüfus yoğunluğuna bağlı olarak sosyal ve bireysel riskler dinamik olarak belirlenebilir.

Tehlikeli maddelerin taşınması, olası kazalar nedeniyle hem çevreyi hem de insanları olumsuz etkileyebilecek etkilere sahiptir [36]. Ülkemizde her yıl 1 Milyon civarında trafik kazası olmaktadır. 2020 yılında 150 000 [13], 2021 yılında 188 000 [14], 2022 yılında 197 000 [15] ve 2023 yılında 235 000 [16] kaza ölümle veya yaralanmaya sonuçlanmıştır. Bu ölümlü ve yaralanmalı trafik kazalarına neden olan kusurların dağılımı bilinmektedir. Ancak, tehlike madde taşıyan araçların kaza sayıları ile ölüm ve yaralanmalara etkileri bilinmemektedir. Benzer şekilde, trafik kazalarının sonucunda tehlikeli madde taşıyan araçlarda taşınan tehlikeli maddelerin neden olduğu patlama, yangın ve toksik yayılım fiziksel veya kimyasal olayların envanterinin oluşturulmadığı görülmüştür. Tehlikeli maddelerin taşınması esnasında yaşanan kaza veya olayların neden olduğu çevreye ve canlılara zarar da bilinmemektedir. Kaza raporlarının ilgili detayı sağlar nitelikte olması önemlidir.

Tez çalışmasında, senaryo edilen kazaların etki modellemesinde kimyasal miktarı, rüzgâr hızı ve yönü, havadaki nem oranı bilinmediğinden uygulamanın yapıldığı İzmir ilinin yıllık ortalama atmosferik verileri kullanılmıştır [69]. Tank özellikleri, kaybın nedeni geçmiş kaza resimlerinden belirlenmeye çalışılmıştır. Tehlikeli maddelerin karayoluyla taşınmasında

yaşanacak kaza veya olaylar raporlanırken kaza veya olayların oluştuğu andaki kimyasal miktarı, rüzgâr hızı ve yönü, havadaki nem oranı, hava sıcaklığı, taşıma kullanılan kap, ambalaj veya paketlerin özellik ve boyutlarının açıkça belirtilmesi yapılacak olan kazaların etki modellemelerinde daha gerçekçi sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır. Tehlikeli Malların Karayolu ile Uluslararası Taşımacılığına İlişkin Anlaşması ADR'nin 1.8.5.3 numaralı maddesinde kaza veya olaylara ilişkin ilgili detayların sağlanması, etkin kaza istatistikleri ile gelecekte oluşacak kaza veya olayların önüne geçilmesine yönelik önlem alınmasını da sağlayacaktır.

EK-1'de önerilen "Tehlikeli Maddelerin Karayolunda Taşınmasında Yaşanan Kaza veya Olay Raporu"nun tam ve eksiz doldurulması hem trafik kazalarının sonucunda tehlikeli madde taşıyan araçlarda taşınan tehlikeli maddelerin neden olduğu patlama, yangın ve toksik yayılım fiziksel veya kimyasal olayların envanterinin oluşturulması hem de yaşanacak kaza veya olaylarda önlenmesine yönelik analiz ve modelleme çalışmalarına katkı sağlayarak daha doğru sonuçlar elde edilebileceği değerlendirilmektedir.

Tehlikeli maddelerin karayollarında taşınmasında kullanılacak araçların teknik yeterliliklerinin sağlanması, ambalaj ve paketlemelerin dikkatli ve özenli yapılması, nüfus yoğunluğunun en az olduğu güzergâhların seçilmesi oluşabilecek kaza ve olayların etkilerinin en aza indirilmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2020). *Ulaşan ve Erişen Türkiye 2020.* Ankara: Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı (27-28).

2. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2021). *Ulaşan ve Erişen Türkiye 2021.* Ankara: Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, (25-26).

3. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2022). *Ulaşan ve Erişen Türkiye 2002-2022*. Ankara: Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, (31).

4. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, (2021). *12. Ulaştırma ve Haberleşme Şurası Sektörler Raporları.* Ankara: Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, (460-622).

5. İnternet: 4925 sayılı Karayolu Taşıma Kanunu (2003) . T.C. Resmî Gazete. 19/7/2003. Sayı: 25173 https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.4925.pdf, Son Erişim Tarihi: 04/07/2022.

6. İnternet: Karayolu Taşıma Yönetmeliği (2018). T.C. Resmî Gazete, 08.01.2018, Sayı: 30295. URL: https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=24299&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5, Son Erişim Tarihi: 04/07/2022,

7. İnternet: Karayolu Taşımacılık Faaliyetleri Mesleki Yeterlilik Eğitimi Yönetmeliği (2004). T.C. Resmî Gazete, 03.09.2004, Sayı: 25572. URL:https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=7146&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5, Son Erişim Tarihi: 04/07/2022.

8. İnternet: Tehlikeli Maddelerin Karayoluyla Taşınması Hakkında Yönetmelik (2022). T.C. Resmî Gazete, 18.06.2022. Sayı: 31870 URL: https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=39586&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5, Son Erişim Tarihi: 04/07/2022.

9. İnternet: Tehlikeli Madde Taşıyan Araç ve Üst Yapıların Teknik Muayeneleri Hakkında Yönetmelik (2016). T.C. Resmî Gazete, 21.04.2016. Sayı: 29691 URL: https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=21513&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5, Son Erişim Tarihi: 04/07/2022.

10. Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu (2020). *Tehlikeli Malların Karayolu ile Uluslararası Taşımacılığına İlişkin Anlaşması (ADR)* (Cilt1-2). Newyork: Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu

11. İnternet: 2918 Sayılı Karayolları Trafik Kanunu(1983). T.C. Resmî Gazete, 18.10.1983 Sayı:18195.URL:https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=2918&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5, Son Erişim Tarihi: 04/07/2022.

12. İnternet: Karayolları Trafik Yönetmeliği (1997). T.C. Resmî Gazete, 18.07.1997, Sayısı:23053 (mükerrer) URL: https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=8182&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5, Son Erişim Tarihi: 04/07/20242.

13. İnternet: Türkiye İstatistik Kurumu (2020), Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri, 2020, URL: https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Karayolu-Trafik-Kaza-Istatistikleri-2020 37436, Son Erişim Tarihi: 09/03/2022.

14. İnternet: Türkiye İstatistik Kurumu (2021), Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri, 2021, URL: https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Karayolu-Trafik-Kaza-Istatistikleri-2021-45658, Son Erişim Tarihi: 09/03/2022.

15. İnternet: Türkiye İstatistik Kurumu (2022), Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri, 2022, URL: https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Karayolu-Trafik-Kaza-Istatistikleri-2022-49513, Son Erişim Tarihi: 14/06/2024.

16. İnternet: Türkiye İstatistik Kurumu (2023), Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri, 2023, URL: https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Karayolu-Trafik-Kaza-Istatistikleri-2023-53479, Son Erişim Tarihi: 14/06/2024.

17. İnternet: Karayolları Genel Müdürlüğü (2020), Trafik Kazaları Özeti, 2020, URL: https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Trafik/TrafikKazalariOzeti2020.pdf, Son Erişim Tarihi: 09/03/2022.

18. İnternet: Karayolları Genel Müdürlüğü (2021), Trafik Kazaları Özeti, 2021, URL: https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Trafik/TrafikKazalariOzeti2021.pdf, Son Erişim Tarihi: 09/03/2022.

19. İnternet: Karayolları Genel Müdürlüğü (2022), Trafik Kazaları Özeti, 2022, URL: https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Trafik/TrafikKazalariOzeti2022.pdf, Son Erişim Tarihi: 14/06/2024.

20. Stolecka, K. (2020). Hazards of the road transportation of hazardous materials. *System Safety: Human-Technical Facility-Environment*, 2 (1), 237-246.

21. Janno, J. (2019). *Risk management model: human factor related risks and their ımpacts in road transportation of dangerous goods.* Doktora Tezi, Tallinn University Of Technology School of Engineering Department of Mechanical and Industrial Engineering, Tallinn, 12-25.

22. Bęczkowska, S., Choromański, W., Grabarek, I. (2020). Risk and human factor in carriage of dangerous goods by road. *Transport Problems*, 15(4), 19-28.

23. Gromek, P., (2017). ADR safety system in efficiency conditioning. *Procedia Engineering*, 192, 271-276.

24. Łukasik, Z., Kuśmińska-Fijałkowska, A., Kozyra, J. (2017). Transport of dangerous goods by road from a European aspect. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, 95, 109-119.

25. Çalış Boyacı, A., Gencer, C. (2018) Tehlikeli madde taşımacılığında demir yolu risk modeli önerisi. *International Journal of Economic and Administrative Studies*, 18, 269-280.

26. Dumlupınar, M. T., Öztürkoğlu, Y. (Haziran 2019). Analyzing the risks of transportation of dangerous goods based on the ADR. *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 21 (1), 1-13.

27. Janno. J., Koppel, O. (2018). Operational risks in dangerous goods transportation chain on roads. *Journal of Logistics*, 14 (1), 33-41.

28. Vagiokas, N., Zacharias, C. (2021). Tool for analyzing the risks in dangerous goods transportation. *Open Access Library Journal*, 8, 1-22.

29. Weng, J., Gan, X., Zhang, Z. (2021). A quantitative risk assessment model for evaluating hazmat transportation accident risk. *Safety Science*, 137, 1-11.

30. Ghaleh, S., Omidvari, M., Nassiri, P., Momeni, M., Lavasani, S.M.M. (2019). Pattern of safety risk assessment in road fleet transportation of hazardous materials (oil materials). *Safety Science*, 116, 1–12.

31. Yalçınkaya, N.M., Demirel, E., Say, N. (2020). Tehlikeli maddelerin karayolu ile taşınması sürecinde ortaya çıkan çevresel risklerin hata ağacı analizi (HAA) ile değerlendirilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(4), 973-984.

32. Kuzmin, A.V., Freze, T.Y. (2019). Is it safe to transport dangerous goods by road? (Environmental safety associated with dangerous goods transportation by road). *Materials Science and Engineering*, 687, 1-5.

33. Garrido, R. A., Bronfman, A.C. (2017) Equity and social acceptability in multiple hazardous materials routing through urban areas. *Transportation Research Part A*, 102, 244–260.

34. Banabakova, V., Minevski, I. (2017). Problems and risk management options for the transport of dangerous goods. *Globalization, the State and the Individual*, 2(14), 215–222.

35. Zhong, H., Wang, J., Yip, T.L, Gu, Y. (2018). An innovative gravity-based approach to assess vulnerability of a Hazmat road transportation network: A case study of Guangzhou, China. *Transportation Research Part D*, 62,659–671

36. Torretta, V., Rada, E.C., Schıavon, M., Viotti, P. (2017). Decision support systems for assessing risks involved in transporting hazardous materials: A review. *Safety Science*, 92, 1-9.

37. Zengin, Y., Dursun, R., İçer, M., Gündüz, E., Durgun, H.M., Erbatur, S., Damar, Ö., Güloğlu, C. (2015). Fire Disaster Caused By Lpg Tanker Explosion At Lice In Diyarbakır (Turkey): July 21, 2014. *Burns*, 41 (6), 1347-1352

38. Hemmatian, B., Casal, J., Planas, E., Rashtchian, D. (2019), BLEVE: The case of water and a historical survey. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* (57), 231–238

39. Nakhal A, A.J., Patriarca, R., Di Gravio, G., Antonioni, G., Paltrinieri,N. (2021). Investigating occupational and operational industrial safety data through Business Intelligence and Machine Learning. J*ournal of Loss Prevention in the Process Industries (73),* 1-17

40. Hemmatian, B., Casal, J., Planas, E. (2015), Fire as a primary event of accident domino sequences: The case of BLEVE. *Reliability Engineering and System Safety* (139), 141–148

41. Wang, K., Hu, Q., Qian, X., Li, M., Shi, T. (2022). Cause analysis and damage mechanism of explosive destruction with case investigation involving LPG tank trailer. *Engineering Failure Analysis* (133), 1-27.

42. Landucci, G., Antonioni, G., Tugnoli, A., Bonvicini, S., Molag, M., Cozzini, V. (2017). HazMat transportation risk assessment: A revisitation in the perspective of the Viareggio LPG accident. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, (49), 36-46

43. Qureshi, O.M., Hafeez, A., Kazmi, S.S.H., (2020). Ahmedpur Sharqia oil tanker tragedy: Lessons learnt from one of the biggest road accidents in history. Journal of *Loss Prevention in the Process Industries* (67), 1-8

44. İnternet: FACTS Chemical Accident Database (Arızalar ve Kazalar Teknik Bilgi Sistemi (FACTS) URL: http://www.factsonline.nl/, Son Erişim Tarihi: 20/05/2022.

45. İnternet: Analysis, Research and Information on Accidents (Kazalar Üzerine Analiz, Araştırma ve Bilgi (ARIA)) URL: https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/the-barpi/the-aria-database/?lang=en, Son Erişim Tarihi: 20/05/2022.

46. İnternet: Uluslararası Karayolu Trafiği ve Kaza Veri Tabanı (IRTAD). URL: https://www.itf-oecd.org/irtad-road-safety-database, Son Erişim Tarihi: 30/05/2022.

47. İnternet: IRAD (Entegre Karayolu Kazaları Veri tabanı). URL: https://solapur.gov.in/en/event/irad-integrated-road-accident-databse/, Son Erişim Tarihi: 30/05/2022.

48. İnternet: Ulusal İstatistik ve Analiz Merkezi (NCSA). URL: https://www.nhtsa.gov/research-data/national-center-statistics-and-analysis-ncsa, Son Erişim Tarihi: 30/05/2022.

49. İnternet: ARDD (Australian Road Deaths Database). URL: https://www.bitre.gov.au/statistics/safety/fatal_road_crash_database, Son Erişim Tarihi: 30/05/2022.

50. İnternet: Asya Pasifik Yol Güvenliği Gözlemevi (APRSO). URL: https://www.aprso.org/about-aprso, Son Erişim Tarihi: 30/05/2022.

51. İnternet: Microsoft Office Excel. URL: https://tr.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Excel, Son Erişim Tarihi: 02/06/2022.

52. İnternet: SPSS (Statistical Package for the Social Sciences). URL: https://www.ibm.com/products/spss-statistics Son Erişim Tarihi: 02/06/2022.

53. İnternet: TIBCO Statistica User's Guide. URL: https://docs.tibco.com/pub/stat/14.0.0/doc/html/UsersGuide/GUID-487ECB3F-37DC-40E7-9239-4951C5FCAAB5.html

54. İnternet: Jamovi. URL: https://www.jamovi.org/jmv/pca.html Son Erişim Tarihi: 02/06/2022

55. İnternet: R Programlama Dili. URL: https://tr.wikipedia.org/wiki/R_(programlama_dili) Son Erişim Tarihi: 02/06/2022

56. İnternet: MATLAB. URL: https://www.mathworks.com/products/statistics.html Son Erişim Tarihi: 02/06/2022

57. Casal, J., (2008) *Evaluation of the Effects and Consequences of Major Accidents in Industrial Plants*. (1. Baskı). Amsterdam: Elsevier, 379.

58. American Institute of Chemical Engineers (2018) *Guidelines for Chemical Transportation Safety, Security, and Risk Management*, New Jersey: John Wiley and Sons, 202.

59. Environmental Protection Agency's. (2016). *ALOHA Yardım.* Washington: Environmental Protection Agency's

60. İnternet: PHAST. URL: https://www.dnv.com/software/services/plant/consequence-analysis-phast.html Son Erişim Tarihi: 30/05/2022.

61. İnternet: EFFECTS. URL: https://www.gexcon.com/products-services/riskcurves-software/ Son Erişim Tarihi: 30/05/2022.

62. İnternet: FLACS-CFD. URL: https://www.gexcon.com/products-services/flacs-software/ Son Erişim Tarihi: 30/05/2022.

63. Yacob, M. N., Hassim, M. H. (2017). Comprehensive review on risk assessment methodologies for hazmat transportation between 1995-2015. *Journal of Advanced Review on Scientific Research*, 30 (1), 12-59.

64. Walendzik, M., Kamiński, P., Pawlak, P., Demestichas, K. (2021). The analysis of organizational and legal possibilities to reduce the dangers related to road transport of dangerous goods in Poland. *Journal of KONBiN*, 51, (1), 15-28.

65. Izdebski, M., Jacyna-Gołda, I., Gołda, P. (2022). Minimisation of the probability of serious road accidents in the transport of dangerous goods. *Reliability Engineering and System Safety*, 217, 1-14.

66. İnternet: Aliağa Belediyesi (2022). Ekonomi. URL: https://www.aliaga.bel.tr/aliaga/ekonomi, Erişim Tarihi: 09/03/2022.

67. İnternet: Karayolları Genel Müdürlüğü (2022), Güzergah Analizi. URL: https://yol.kgm.gov.tr/guzergahanalizi, Erişim Tarihi: 09/03/2022.

68. İnternet: Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik (2019). T.C. Resmi Gazete, 02.03.2019. Sayı: 30702 URL: https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=31298&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5, Son Erişim Tarihi: 04/07/2022.

69. İnternet: Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2022). İllere ait Mevsim Normalleri (1991-2020). URL: https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H&m=IZMIR, Erişim Tarihi: 09/03/2022.

EKLER

EK-1. Tehlikeli Maddelerin Karayolunda Taşınmasına Yönelik Kaza veya Olay Raporu

<table>
<tr><td colspan="6">TEHLİKELİ MADDELERİN KARAYOLUNDA TAŞINMASINA YÖNELİK KAZA VEYA OLAY RAPORU</td></tr>
<tr><td colspan="4">1. Araca ait bilgiler:</td><td colspan="2">Araç Yaşı:</td></tr>
<tr><td>Araç türü</td><td>☐Çekici
☐Kamyon</td><td>☐Kamyonet
☐Otobüs</td><td>☐Özel Amaçlı Taşıt
☐Römork</td><td colspan="2">☐Tanker
☐Yarı Römork</td></tr>
<tr><td colspan="2">İstiap haddi: …….</td><td colspan="2">Katar ağırlığı(ton):……</td><td colspan="2">Yük Miktarı(ton):……</td></tr>
<tr><td>Araç boyutları</td><td>En(m):……</td><td>Uzunluk(m):…….</td><td>Yükseklik(m):……</td><td colspan="2">Hacim(m^3):…….</td></tr>
<tr><td colspan="6">2. Olay Bilgileri</td></tr>
<tr><td colspan="6">Tarih: ..... Saat:.....</td></tr>
<tr><td colspan="3">Karayolu adı:</td><td colspan="3">Koordinat(Enlem ve boylam):</td></tr>
<tr><td colspan="3">Karayolu kesim numarası:</td><td colspan="3">Karayolu kesim uzunluğu(m):</td></tr>
<tr><td colspan="3">Yükleme Noktası:</td><td colspan="3">Yükleme Noktasından Uzaklık (km):</td></tr>
<tr><td colspan="6">3. Topografya</td></tr>
<tr><td colspan="3">☐Meyil
☐Yokuş
☐Tünel
☐Köprü
☐Alt geçit</td><td colspan="3">☐Geçit
☐Açık arazi
☐Şehir geçişi
☐Ormanlık alan</td></tr>
<tr><td colspan="2">4. Özel Hava Koşulları</td><td>Sıcaklık(ºC): .....</td><td colspan="2">Rüzgar hızı(m/saat):…..</td><td>Rüzgar Yönü:…..</td></tr>
<tr><td colspan="3">☐Yağmurlu
☐ Karlı
☐ Dolu
☐ Şimşek/gök gürültülü</td><td colspan="3">☐Sisli
☐Bulutlu
☐Rüzgarlı
☐ Güneşli</td></tr>
<tr><td colspan="6">5. Olayın Tanımı</td></tr>
<tr><td colspan="3">☐Yoldan ayrılma
☐Çarpışma</td><td colspan="3">☐Devrilme
☐Yuvarlanma
☐Araç yangını</td></tr>
<tr><td colspan="6">6. Olaya Dahil Olan Tehlikeli Mallar</td></tr>
<tr><td>UN Numarası</td><td>Sınıf</td><td>Ambalajlama grubu</td><td>Ürün kaybının tahmini miktarı (kg)</td><td colspan="2">Muhafaza Malzemesi</td></tr>
<tr><td>1.</td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>2.</td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>3.</td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>4.</td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>5.</td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
</table>

EK-1. (devam) Tehlikeli Maddelerin Karayolunda Taşınmasına Yönelik Kaza veya Olay Raporu

<table>
<tr><td colspan="2">Muhafaza Yönetimi</td><td colspan="3">Arıza türü</td></tr>
<tr><td colspan="2">☐Ambalaj
☐İbc
☐Büyük ambalaj
☐Küçük konteyner
☐Vagon
☐Araç
☐Tank-vagonu
☐Tanker
☐Tüplü gaz vagonu

☐Sökülebilir tankları olan vagon
☐Sökülebilir tank
☐Büyük konteyner
☐Tank-konteyner
☐Megc
☐Portatif tank
☐Tüplü gaz tankeri</td><td colspan="3">☐Yangın
Havuz yangını ☐
Jet Yangını ☐
Parlama yangını ☐
☐Patlama
BLEVE ☐
UVCE ☐
☐Yapısal Arıza
☐Dökülme
☐Yayılım</td></tr>
<tr><td colspan="5">1. Tanka Ait Bilgiler</td></tr>
<tr><td>Tank şekli</td><td>Tanka ait bilgiler</td><td colspan="3">Sızıntı kaynağına ait bilgiler</td></tr>
<tr><td>☐Yatay silindir
☐Dikey silindir
☐Küre</td><td>Çap(m):……
Uzunluk(m):……
Hacim(m^3):…….
Tank doluluk(%):…...</td><td>☐Dairesel
Delik Çapı(m):……

☐Dikdörtgensel
En(m):……
Boy(m):……</td><td colspan="2">Sızıntı noktasının yerden yüksekliği (m):……</td></tr>
<tr><td colspan="2">2. Olayın Nedeni (net olarak biliniyorsa)</td><td colspan="3">3. Olaydan Etkilenenler</td></tr>
<tr><td colspan="2">☐Teknik Arıza
☐İnsan Hatası
☐Yönetim
☐Ortam</td><td colspan="3">İnsan:
Bina:
Araç:
Çevre(hava, su, toprak):</td></tr>
<tr><td colspan="2">4. Olayın Sonuçları
Ölü (sayı:)
Yaralı (sayı:)
Maddi hasar(tahmini maliyet):
Çevre kaybı(tahmini kayıp/maliyet):</td><td colspan="3"></td></tr>
</table>



Gazili olmak ayrıcalıktır