



**KİMYASAL KURULUŞLARDA PROSES KAZALARININ DOMİNO
ETKİLERİNE YÖNELİK GÜVENLİK MESAFELERİNİN BELİRLENMESİ**

Ceylan GEÇER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2024

ETİK BEYAN

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

- 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 çalışmada 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.

Ceylan GEÇER

23/05/2024

KİMYASAL KURULUŞLARDA PROSES KAZALARININ DOMİNO ETKİLERİNE YÖNELİK GÜVENLİK MESAFELERİNİN BELİRLENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Ceylan GEÇER

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2024

ÖZET

Domino kazası, birincil senaryonun büyümesi ve birçok tesise zincirleme dağılması ile gerçekleşen büyük endüstriyel kaza türüdür. Eskalasyon etkilerinin güvenilir olarak kabul edilebileceği minimum mesafe “güvenlik mesafesi” olarak tanımlanır ve bu mesafe birincil senaryolardan daha ciddi etkiler içeren ikincil senaryoların meydana gelmemesi için eşik mesafedir. Bu tez çalışmasında, kimyasal kuruluşlarda proses kazalarının domino etkilerine yönelik güvenlik mesafelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, geçmiş domino kazalarının analizi, domino senaryolarının oluşturulması, domino etkileri için eşik değerlerin tespiti ve eşik değer temelli fiziksel etkilerin belirlenmesi aşamalarına dayanan yeni bir metodoloji önerisi getirilmiştir. Önerilen metodolojinin saha uygulaması da gerçekleştirilmiştir. Domino kazalarının analizinden domino etkisi unsurları olan birinci senaryo, eskalasyon vektörü ve ikincil senaryo(lar) tespit edilmiştir. Bu unsurlara dayanan domino senaryoları kimyasal kuruluşlar için oluşturulmuştur. Diğer ülke uygulamaları, standartlar ve bilimsel çalışmalar üzerinden yeni güvenlik mesafesi temelli eşik değerler önerilmiştir. Domino kazaları için senaryo edilen tüm birincil senaryoları kapsar nitelikte güvenlik mesafeleri ile ilişkilendirilecek korelasyonel hesaplamalar ortaya konulmuştur. Saha uygulaması ile kantitatif olarak kuruluşun domino kaza riski belirlenmiş, önerilen metodolojinin etkinliği gösterilmiştir.

Bilim Kodu : 91219

Anahtar Kelimeler : Domino etkileri, Endüstriyel kazalar, Güvenlik mesafeleri

Sayfa Adedi : 125

Danışman : Prof. Dr. Saliha ÇETİNYOKUŞ

DETERMINATION OF SAFETY DISTANCES FOR DOMINO EFFECTS OF PROCESS
ACCIDENTS IN CHEMICAL ORGANIZATIONS

(M. Sc. Thesis)

Ceylan GEÇER

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

May 2024

ABSTRACT

Domino accident is a type of major industrial accident that occurs when the primary scenario grows and spreads to many facilities. The minimum distance at which escalation effects can be considered reliable is defined as the "safety distance", and this distance is the threshold distance to prevent the occurrence of secondary scenarios with more serious impacts than the primary scenarios. In this thesis study, it was aimed to determine the safety distances for the domino effects of process accidents in chemical organizations. For this purpose, a new methodology was proposed based on the analysis of past domino accidents, creation of domino scenarios, determination of threshold values for domino effects and determination of threshold value-based physical effects. Case study of the proposed methodology was also carried out. From the analysis of domino accidents, the primary scenario, escalation vector and secondary scenario(s), which are domino effect elements, were identified. Domino scenarios based on these elements were created for chemical organizations. New safety distance-based threshold values were proposed based on other country practices, standards and scientific studies. Correlational calculations to be associated with safety distances covering all primary scenarios for domino accidents were put forward. With case study, the organization's domino accident risk was determined quantitatively and the effectiveness of the proposed methodology was demonstrated.

Science Code : 91219

Key Words : Domino effects, industrial accidents, safety distances

Page Number : 125

Supervisor : Prof. Dr. Saliha ÇETİNYOKUŞ

TEŞEKKÜR

Çalışmam esnasında desteğini, yardımını esirgemeyen, akademik gelişimime çok katkı sağlayan saygıdeğer Tez Danışmanım Prof. Dr. Saliha ÇETİNYOKUŞ hocama en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatımda ailemin desteği benim için çok önemlidir. Aileme yüksek lisans eğitimin ve bu çalışmanın hazırlanması sırasında göstermiş oldukları desteklerden dolayı en içten dileklerimle teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÇALIŞMA KONUSU VE KAPSAMI.....	3
2.1. Domino Etkisi İçeren Kazaların Özellikleri ve Geçmiş Örnek Kazalar	3
2.2. İlgili Ulusal ve Uluslararası Mevzuat	10
2.2.1. Uluslararası mevzuat.....	10
2.3. Domino Etkilerinin Önlenmesi: Güvenlik ve Emniyet.....	24
2.4. Domino Etkisi ve Kimyasal Endüstri Alanları.....	25
2.5. Domino Eskalasyon Senaryolarının Özellikleri.....	26
2.5.1. Birincil senaryoların özellikleri.....	28
2.6. Eşik Değer Temelli Yaklaşım	32
2.7. Eskalasyon İçin Güvenlik Mesafeleri	36
2.8. Domino Etkilerinin Değerlendirilmesinde Kullanılan Araçlar	46
2.8.1. Kaynak Gücü Modelleri.....	49
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	53
3.1. Geçmiş Domino Kaza Analizlerine Yönelik Çalışmalar	53
3.2. Domino Kazaları İçin Güvenlik Mesafelerinin Belirlenmesine Yönelik Çalışmalar	60

Sayfa

3.3. Domino kazalarının modellenmesine Yönelik Çalışmalar	70
4. MATERYAL VE METOD	81
4.1. Domino Etkisi İçeren Endüstriyel Kaza Örneklerinin Analizi.....	81
4.2. Domino Senaryolarının Oluşturulması	82
4.3. Hasar Eşikleri, İlgili Eskalasyon Vektörü ve Güvenlik Mesafeleri Belirlenerek Domino Etkileri İçin Eşik Değerlerin Tespiti	84
4.4. Fiziksel Etki Mesafelerinin Belirlenmesi ve Domino Etkilerinin Tespiti.....	88
4.4.1. BLEVE.....	89
4.5. Saha Uygulaması.....	96
5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	97
5.1.1. Kuruluş yer seçimi	97
5.1.2. Kuruluş özellikleri.....	97
5.2. Kimyasal Kaynak ve Atmosferik Seçimler.....	98
5.2.1. Kimyasal Kaynak.....	98
5.2.2. Atmosferik seçimler	99
5.3. Domino Senaryolarının Belirlenmesi.....	100
5.3.1. Birincil senaryolar	101
5.3.2. Sınır koşulları	103
5.3.3. İkincil senaryolar ve eskalasyon	103
5.4. Fiziksel Etki Mesafelerinin Belirlenmesi ve Domino Etkilerinin Tespiti.....	104
5.4.1. Toksik yayılım	105
5.4.2. Jet yangını	107
5.4.3. BLEVE.....	110
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	115
KAYNAKLAR	119
ÖZGEÇMİŞ	125

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Dünya üzerinde meydana gelen domino kazaları	3
Çizelge 2.2. Ülkemizde yaşanan büyük endüstriyel kazalar.....	8
Çizelge 2.3. 1272/2008 sayılı direktif yükümlülükleri ve başlangıç tarihleri.....	12
Çizelge 2.4. AB üye devletlerinde direktiflerinin uygulamasının değerlendirilmesi	13
Çizelge 2.5. Seveso III direktifinde endüstri kuruluşları için zorunlu tutulan hükümler	16
Çizelge 2.6. LPG ile ilgili standartlar	20
Çizelge 2.7. Emniyet ve güvenlik arasındaki farklar	25
Çizelge 2.8. Birincil senaryo, eskalasyon vektörü, ikincil senaryolar	27
Çizelge 2.9. 100 Domino kazasında eskalasyondan sorumlu fiziksel etkiler	30
Çizelge 2.10. Domino kazalarına dahil olan kimyasal maddeler.....	31
Çizelge 2.11. Domino kazalarının genel nedenleri	31
Çizelge 2.12. Literatürde yer alan eşik değerler	33
Çizelge 2.13. Üç ekipman kategorisine ve hasar durumuna göre sınıflandırılan ekipman hasarını takip eden eskalasyon potansiyelinin analizi: beklenen ikincil senaryolar ve önem derecesi	35
Çizelge 2.14. Eskalasyon için güvenlik mesafeleri	37
Çizelge 2.15. Sekiz AB üye devletindeki domino eşik değerlerinin özeti.....	38
Çizelge 2.16. Domino değerlendirmesinde eşik değerleri uygulayan ankete dahil edilen sekiz AB Üye Devleti için toplanan eşik değerleri	41
Çizelge 2.17. ALOHA'da modellenen tehlike kategorileri.....	49
Çizelge 3.1. Geçmiş domino kaza analizlerine yönelik literatür özeti	57
Çizelge 3.2. Tankların güvenlik mesafeleri	64
Çizelge 3.3. Domino kazaları için güvenlik mesafelerinin belirlenmesine yönelik literatür özeti	66
Çizelge 3.4. Domino kazalarının modellenmesine yönelik literatür özeti.....	75

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.5. ALOHA, KORA ve PHAST yazılımlarının karşılaştırılması.....	79
Çizelge 4.1. Kimyasal kuruluşlarda meydana gelebilecek muhtemel domino senaryoları.....	83
Çizelge 4.2. Önerilen eskalasyon güvenlik mesafeleri	85
Çizelge 4.3. Zarar görülebilirlik kategorileri ve tanımları	87
Çizelge 4.4. Bütünlük kaybı kategorileri ve tanımları.....	87
Çizelge 4.5. Atmosferik ve basınçlı ekipmanlar için önerilen zarar görülebilirlik ve bütünlük kaybı domino kaza matrisi (İkincil senaryo temelli)	88
Çizelge 5.1. Propan ve bütanın yanma özellikleri	98
Çizelge 5.2. Atmosferik koşullar	99
Çizelge 5.3. ALOHA yazılımında kaynak seçimine ait kullanılan veriler	104
Çizelge 5.4. Birincil senaryo-toksik yayılıma ait tehlike etki mesafeleri	106
Çizelge 5.5. Birincil senaryo-jet yangına ait tehlike etki mesafeleri	108
Çizelge 5.6. Termal radyasyon hasar eşikleri	110
Çizelge 5.7. Birincil senaryo-BLEVE'ye ait tehlike mesafeleri.....	111
Çizelge 5.8. Aşırı basınç hasar etkileri	113

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Kimyasalların sınıflandırılması, etiketlenmesi ile ilgili değişiklikler.....	12
Şekil 4.1. Ateş topu radyasyon etkisi.....	90
Şekil 4.2. Ateş topunun geometrik gösterimi.....	91
Şekil 4.3. Jet yangını geometrik gösterimi.....	94
Şekil 5.1. Örnek kuruluş tesis yerleşim planı	97
Şekil 5.2..Bütünlük kaybına bağlı muhtemel kaza senaryoları.....	100
Şekil 5.3. Tipik kilit olaylar üzerinden muhtemel kaza senaryoları	101
Şekil 5.4. Birincil senaryo-toksik yayılıma ait tehlike bölgeleri	105
Şekil 5.5. Birincil senaryo-jet yangınına ait tehlike bölgeleri	107
Şekil 5.6. Birincil senaryo-jet yangınına ait tehlike bölgeleri Google Earth görüntüsü.....	109
Şekil 5.7. Birincil senaryo-BLEVE'ye ait tehlike bölgeleri	111
Şekil 5.8. Birincil senaryo-BLEVE' ye ait tehlike bölgeleri Google Earth görüntüsü...	112

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

kW/m²

KiloWatt/metrekare(Isı Akısı)

kPa

Kilopascal

m

Metre

Kısaltmalar

Açıklamalar

AB

Avrupa Birliği

ABD

Amerika Birleşik Devletleri

AEB

Kaza evrimi ve bariyer fonksiyonu

AFAD

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı

AK

Avrupa Komisyonu

AKUP

Arazi kullanım planlaması

BEKÖH

Büyük endüstriyel kazaların önlenmesi ve etkilerinin azaltılması hakkında yönetmelik

BLEVE

Kaynayan sıvı genleşen buhar patlaması

BM

Birleşmiş Milletler

BREEZE

Hava Kalitesi Dağılım Modelleme Sistemi

BTX

Benzen, toluen, ksilen

CAM

Tıkanıklık değerlendirme yöntemi

CCPS

Kimyasal proses güvenliği merkezi

CE

Sınırlı patlama

CLP

Maddelerin ve karışımların sınıflandırılması, etiketlenmesi ve paketlenmesi

CO

Carbon monoxide – karbon monoksit

CFD

Hesaplama akışkanlar dinamiği

CSB

Kimyasal güvenlik ve tehlike araştırma kurulu

ÇSGB

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı

Kısaltmalar**Açıklamalar**

DS	Hasar durumu
DSER	Savunma amaçlı patlayıcıların güvenliği yönetmeliği
DOE	Enerji bölümü
EPA	Çevre Koruma Ajansı
ETA	Olay ağacı analizi
FMEA	Hata modları ve etkileri analizi
FTA	Hata ağacı analizi
GHS	Küresel uyumlaştırılmış sistem
H	Zararlılık
HAZOP	Tehlike ve işletilebilirlik
IFO	Ara akaryakıt
IVA	Sanayi katma değeri
İSG	İş sağlığı ve güvenliği
KKD	Kişisel koruyucu donanım
KPI	Anahtar performans göstergesi
LI	Kayıp yoğunluğu
LNG	Liquified natural gas – Sıvılaştırılmış doğal gaz
LOC	Bütünlük kaybı
LOPA	Koruma katmanları analizi
LPG	Sıvılaştırılmış petrol gazı
LUO	Yükleme ve boşaltma
MA	Büyük kaza
ME	Mekanik patlama
MGO	Deniz gaz yağı
MORT	Yönetim gözetimi ve risk ağaçları
NFPA	Ulusal yangından korunma derneği
NOAA	Ulusal okyanus ve atmosfer idaresi
OA	Sıradan kaza
OSHA	Piroteknik ve patlayıcı üretimi için proses güvenliği yönetimi

Kısaltmalar**Açıklamalar**

REACH	Kimyasalların kaydı, değerlendirilmesi izni ve kısıtlanması
P	Önlem
PHA	Proses tehlike analizi
PHAST	Proses tehlike analizi yazılım aracı
PGYS	Proses güvenliği ve yönetim sistemi
PLL	Potansiyel yaşam kaybı
PRA	Birincil risk analizi
PSA	Özellikle ciddi kaza
R	Risk
RCA	Kök neden analizi
RMP	Risk yönetim planı
S	Güvenlik
SA	Ciddi kaza
SCAT	Sistemik neden analizi tekniği
STEP	Sıralı olarak zamanlanmış olayların planlanması
QRA	Kantitatif risk analizi
TNT	Trinitro toluen
TOPSIS	İdeal çözüme benzerlik bakımından sıralama performansı tekniği
TTF	Arıza süresi
UHI	Birimin doğasında bulunan tehlike indeksi
UPD	Birim Potansiyel Domino İndeksi
UPI	Birim potansiyel tehlike indeksi
VCE	Buhar bulutu patlaması

1. GİRİŞ

Olasılığının düşük ancak gerçekleştiğinde büyük endüstriyel yıkımlara neden olan kazalar domino kazalarıdır. Bu kazalarda birinci kaza gerçekleşir ve birinci kaza zincirleme olarak tesiste diğer bölümlere yayılarak büyüyen bir kaza türüdür. Domino kazaları temel olarak üç unsurdan oluşur: birincil senaryo, eskalasyon vektörü ve bir veya daha fazla ikincil senaryo. Birincil senaryo, bir veya daha fazla ikincil kaza senaryosunu tetikleyen, diğer proses veya depolama birimlerine yayılan ve yükselen bir domino etkisi başlatan bir kaza senaryosudur. Birincil senaryo, parlama yangını, havuz yangını, jet yangını, ateş topu, kaynayan sıvı genişleyen buhar patlaması (BLEVE), sınırlı patlama (CE), mekanik patlama (ME) ve buhar bulutu patlaması (VCE) olarak sıralanabilir. Eskalasyon vektörü, birincil kaza senaryosunun nihai sonucunun ürettiği fiziksel etkilerin bir vektörüdür. Havuz yangını, jet yangını ve ateş topu, termal radyasyon ve alev çarpışması ile BLEVE, ME ve VCE, aşırı basınç ve parça projeksiyonunu ile eskalasyon vektörünü tetikleyebilir. İkincil senaryo ise bir birincil kaza senaryosu tarafından oluşturulan bir eskalasyon vektörünün etkisinin neden olduğu bir kaza senaryosudur. Muhtemel kaza senaryolarının fiziksel etkilerinin belirli bir hedefte ilgili hasara yol açmadığı minimum ayırma mesafesi “güvenlik mesafesi” olarak tanımlanır (Reniers ve Argentina, 2013). Domino eskalasyonu durumunda, hedef tipik olarak bir ekipmandır ve referans hasar, ciddi ikincil sonuçlara yol açacak kadar büyük bir bütünlük kaybıdır.

Geçmişte ciddi domino kazaları meydana gelmiştir. Örneğin, 4 Ocak 1966'da Fransa'da meydana gelen domino kazası ile 11 depolama tankı yerle bir olmuş, 1475 bina etkilenmiş ve Feyzin' den 18 km uzaklıkta bulunan Viyana çevresinde enkaz parçalarına rastlanılmıştır. Kazada 18 ölüm ve 84 yaralı kaydedilmiştir (Khan ve Abbasi, 1998; INERIS, 2002). 19 Kasım 1984' de meydana gelen Meksika kazası önemli bir başka domino kazasıdır. Kazada 550 ölüm, 7200 yaralı tespit edilmiş; 200 000 kişi tahliye edilmiştir (Mutlu,2020). Türkiye'de de domino etkisi içeren endüstriyel kazalar mevcuttur. 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi kaynaklı TÜPRAŞ yangını önemli bir domino ramak kala kazası iken 2002 Kocaeli-Akçagaz LPG patlaması önemli bir domino kazası olarak değerlendirilebilir. Kazada can kaybı olmamasına rağmen ciddi hasarlar tespit edilmiştir.

Geçmiş kaza analizleri, domino kazalarına patlamaların (% 57) en sık neden olduğunu bunu yangınların (% 43) izlediğini ortaya koymaktadır. Depolama alanlarının bir domino

kazasının (% 35) en olası başlatıcısı olduğu; proses tesisleri (% 28) ve tehlikeli madde transfer hatlarının (% 19) da ciddi katkılarının olduğu belirtilmektedir (Darbra vd., 2010). Ayrıca en sık rastlanan domino kaza dizileri, patlama - yangın (% 27,6), yangın - patlama (% 27,5) ve yangın - yangın (% 18) olarak yaşanmaktadır (Abdolhamidzadeh ve Abbasi, 201).

AB Seveso direktiflerinin uyumlaştırılması ile Mart 2019’ da ülkemizde ‘‘Büyük Endüstriyel Kazaların  nlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik’’ yayınlanmıştır. Yönetmelikte, büyük endüstriyel kazalardan korunmak çevreye ve insana olabilecek zararı önlemek için bazı önemli maddeler belirlenmiştir. Yönetmelikte büyük endüstriyel kaza, ‘‘Bir tesisin çalışması sırasında, bazı gelişmelerden kaynaklanan tesis içi veya tesis dışı oluşabilecek ciddi tehlikeye yol açan yangın, patlama veya yayılım’’ olarak tanımlanmıştır. Bu Yönetmelikte, ‘‘domino etkisi’’ kavramına doğrudan değinilmemekle birlikte, Madde 8’ de büyük kaza senaryo dokümanının, tehlikeli ekipmanlar üzerinden olabilecek tehlikelerin ve tehlikeli ekipmanlara etki edebilecek tesis dışından kaynaklanabilecek diğer tehlikelerin tanımlanarak hazırlanmasından bahsetmektedir.

Bu tez çalışmasında, endüstriyel kuruluşlarda proses kazalarının domino etkilerine yönelik güvenlik mesafelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, domino etkisi içeren endüstriyel kazalar analiz edilerek domino etkisi unsurları olan birinci senaryo, yükseltme vektörü ve ikincil kazalar tespit edilmiştir. Domino etkilerine yönelik güvenlik mesafelerinin belirlenmesinde diğer ülke uygulamaları araştırılmış, endüstriyel kaza domino etkileri için güvenlik mesafesi temelli eşik değerler tespit edilmiştir. Domino senaryoları oluşturularak ve fiziksel etkilerinin modellenmesine yönelik model aracı seçimi ile metodoloji  nerisi getirilmiştir. Metodolojinin saha uygulaması da gerçekleştirilmiştir.

2. ÇALIŞMA KONUSU VE KAPSAMI

2.1. Domino Etkisi İçeren Kazaların Özellikleri ve Geçmiş Örnek Kazalar

Kimyasal kuruluşların güvenlik skorları yüksek olsa bile risk her zaman vardır. Organize sanayi bölgeleri içerisinde kimyasal tesis kümeleri içindeki faaliyetlerin yoğunlaşması, birkaç tesis üzerinde eşzamanlı olarak etkili olan kazalara yol açabilir, bu da ciddi can, mal, çevre kayıpları ile toplum hayatının kesintiye uğramasına neden olabilir. En yıkıcı büyük endüstriyel kazalar, bir “domino etkisinin” meydana geldiği, birincil kazanın büyümesine ve muhtemelen birden fazla tesisi içeren birincil olayın yayılmasına neden olan kazalardır (Mutlu, 2020). Kaza önleme ve sanayi güvenliğinin ilk öncüsü Travelers Insurance Company görevlisi olan Herbert W. Heinrich’tir. Heinrich bir sigorta şirketinde çalışmakta olup 1920’li yılların sonunda 75.000 sanayi kaza raporu üzerinde bir inceleme yapmıştır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan pek çok teoreme Heinrich’in bu çalışması ışık tutmuştur. Bu çalışma “*Sanayi Güvenliği Gerçekleri*” adını taşır. Çizelge 2.1’de 1951 yılından 2013 yılına kadar Dünya üzerinde gerçekleşen kazalar ve etkilerine yer verilmiştir.

Çizelge 2.1. Dünya üzerinde meydana gelen domino kazaları (Abdolhamidzadeh vd, 2011, eMARS, 2020)

Sıra lam a	Yıl	Yer	Tesis/birim	Ölüm	Yaral anma	Bilinen Diğer Etkiler
1	1951	Port Newark, ABD	LPG depolama/ propan	0	14	73 tank imha edildi, şarapnel etkiler bir dolum istasyonunu yıktı ve yeraltı suyu ana hattını parçaladı.
2	1954	Lake Port, ABD	Depolama alanı/LPG	4	—	-

Çizelge 2.1. (devam). Dünya üzerinde meydana gelen domino kazaları (Abdolhamidzadeh vd, 2011, eMARS, 2020)

Sıra lam a	Yıl	Yer	Tesis/birim	Ölüm	Yaral anma	Bilinen Diğer Etkiler
3	1966	Feyzin, Fransa	Rafineri depolama tankı/propan	18	81	Beş küresel tank yok oldu.
4	1972	Rio de Janeiro, Brezilya	Rafineri/dep olama alanı/LPG	37	53	-
5	1984	Mexico City, Meksika	Depolama tankı/LPG	650	6400	Yakındaki evlerde ağır hasar, 31 milyon \$ hasar.
6	1984	Romeovill e, ABD	Absorpsiyon kolonu/propa n, bütan	17	31	Elektrik güç kaynağı sisteminde ve yangın söndürme sistemlerinde hasar.
7	1986	Petal, ABD	Boru hattı/LPG	–	12	2 mil yarıçapındaki sakinler tahliye edildi.
8	1990	Avustralya	Gaz deposu/LPG	–	–	-
9	1997	Hindistan	HPCL rafinerisi/	60	–	20 Milyon \$ hasar.

Çizelge 2.1. (devam). Dünya üzerinde meydana gelen domino kazaları (Abdolhamidzadeh vd, 2011, eMARS, 2020)

Sıra lam a	Yıl	Yer	Tesis/birim	Ölüm	Yarala nma	Bilinen Diğer Etkiler
10	2000	Teksas, ABD	Tanker/propa n	2	1	200 kişi tahliye edildi.
11	2009	Viareggio, İtalya	Yük treni/LPG	15	>50	Demiryolu alanını, sokakları ve demiryolu hattına yakın evleri kapsayan bir ani yangın meydana geldi.
12	2009	Karaçi, Pakistan	Sunta üretim fabrikası	3	5	-
13	2009	Pawane, Hindistan	Darshan Kimyasallar	2	9	-
14	2009	Columbus , ABD	Columbus kimya endüstrileri	–	3	-
15	2009	La Mesa, ABD	Tuzlu su bertaraf fabrikası	–	1	-
16	2009	Okhla, Hindistan	Köpük üretim fabrikası	1	8	Tüm fabrika yıkıldı.
17	2009	Gazipur Bangladeş	Bıçak yapımı fabrikası/LP G	3	15	-

Çizelge 2.1. (devam). Dünya üzerinde meydana gelen domino kazaları (Abdolhamidzadeh vd, 2011, eMARS, 2020)

Sıra lam a	Yıl	Yer	Tesis/birim	Ölüm	Yarala nma	Bilinen Diğer Etkiler
18	2009	Agra, Hindistan	Ticari bir komplekste havai fişek	–	–	Yangın, yakındaki dükkanlara yayıldı ve bazıları tahliye edildi.
20	2009	Ulyanovsk, Rusya Federasyonu	Ordu deposu/mühi mmat	2	10'dan fazla	3000 kişi tahliye edildi.
21	2009	Jaipur, Hindistan	Petrol ürünleri	13	>200	500 000 kişi tahliye edildi; 40 milyon \$ değerinde mal kaybı.
22	2013	Bilinmiyo r	Ham damıtma ünitesinde yangın ve patlama(Petr okimya)	-	3	2 milyon € dan fazla maddi hasar.
23	2018	Çek Cumhuri- yeti	Bakım sırasında hidrokarbon kalıntıları ile tank patlaması	6	2	Tesis içi 2 milyon € dan fazla Tesis dışı 0,5 € dan fazla hasar.

Çizelge 2.1. (devam). Dünya üzerinde meydana gelen domino kazaları (Abdolhamidzadeh vd, 2011, eMARS, 2020)

Sıra lam a	Yıl	Yer	Tesis/birim	Ölüm	Yarala nma	Bilinen Diğer Etkiler
25	2021	Fransa	Doğalgazın atmosfere salınması	1	6'dan fazla yaralı	Tesis içi 2 milyon € dan fazla Tesis dışı 0,5 € dan fazla hasar.
26	2023	Romanya	Benzin tahliye borusu	1	6	Tesis içi 2 milyon € dan fazla Tesis dışı 0,5 € dan fazla hasar.

Çizelge 2.1'den görüldüğü gibi en çok ölümün ve hasarın olduğu kaza Mexico City'de gerçekleşen kazadır. Bu kazaya LPG dahildir ve en sık domino kazasının meydana geldiği kimyasallardan biridir. Çizelge 2.2'de ise ülkemizde meydana gelen büyük endüstriyel kazaların özeti verilmiştir.

Çizelge 2.2. Ülkemizde yaşanan büyük endüstriyel kazalar (Özkılıç, 2014; TMMOB, 2017, 2020)

Sıralama	Yıl	Yer	Tesis/Birim	Ölüm	Yaralanma	Bilinen Diğer Etkiler
1	1997	Kırıkkale-MKE	Mühimmat Fabrikası	4	-	Şehrin tahliyesi ve büyük maddi hasar.
2	1999	İzmit-TÜPRAŞ	Akaryakıt depolama tankları yangını.	-	-	200 milyon dolar zarar. Patlama sonucunda petrol ürünü ve açığa çıkan toksik maddeler çevreye özellikle Kızılırmak'a dağılarak insan sağlığını tehdit eder boyuta ulaşmıştır
3	2002	Kocaeli, AKÇAGAZ	LPG dolum tesisinde yangın ve patlama .	-	3	3 milyon lira zarar
4	2004	Mersin-ATAŞ	Tank tam yüzey yangını.	-	-	50 m çapında tank kullanılamaz hale gelmiştir.
5	2007	İzmir-Aliaga	Boya vernik fabrikası yangını.	-	-	-
6	2011	Batman	LPG dolum tesisinde patlama.	3	-	büyük çapta maddi hasar.
7	2014	Manisa-Soma	Elektrik Panosu	301	162	Elektrik Panosunda meydana gelen patlama ve devamında çıkan yangın.
8	2017	İzmir-Aliaga	TÜPRAŞ Rafinerisinde, depolama tankı	4	2	Bakımda bulunan ve işletmeye alınmak üzere hazırlanan tankın içinde çalışma yapıldığı sırada patlama meydana gelmiştir.

Çizelge 2.2. (devam). Ülkemizde yaşanan büyük endüstriyel kazalar (Özkılıç, 2014; TMMOB, 2017, 2020)

Sıralama	Yıl	Yer	Tesis/Birim	Ölüm	Yaralanma	Bilinen Diğer Etkiler
9	2017	Bursa	Tekstil fabrikası boya atölyesinin buhar kazanı	5	16	Patlama ve sonrasında göçük meydana gelmiştir.
10	2020	Sakarya	Çoşkunlar Havai Fişek Fabrikası	7	127	Patlayıcı ortama uygun olmayan ekipman kullanımından dolayı patlama meydana gelmiştir.
11	2023	Ankara Elmadağ İlçesi	MKE roket ve patlayıcı fabrikası dinamit mikser atölyesi	5		Yangın çıkmıştır ve ardından patlama meydana gelmiştir.

Çizelge 2.2’de sunulan endüstriyel kazalardan 17 Ağustos 1999’daki deprem kaynaklı TÜPRAŞ yangını (hasar: 200 milyon dolar) domino ramak kala kazasıdır. Deprem sırasında rafinerinin 115 metrelik betonarme bacası yıkılmıştır. Bacanın yıkılmasıyla başlayan yangın yedi akaryakıt tankına ve şarj fırınına sıçramıştır. 63 adet boru hattının kopmasına ve elektrik kesintisine sebep olmuştur. Yerel itfaiyenin yetersiz kalması üzerine çevre illerden de destek istenilmiştir. Ancak bazı yerlerde söndürülen yangınların başka yerlerde tekrar başlaması sebebiyle kontrolü oldukça zor bir yangın meydana gelmiştir. Yangının patlama riski bulunduran LPG tanklarına ilerlemesi ve rafinerinin hemen yakınlarında İGSAŞ ve PETKİM tesislerine de sıçrama olasılığı ortaya çıkınca, tesisteki tüm çalışanlar tahliye edilmiştir. Patlama riskinden dolayı hükümet uluslararası yardım istemiştir. Yangın ancak 21 Ağustos ‘da söndürülebilmiştir. Kocaeli- Akçagaz LPG patlaması (hasar: 3 milyon) ülkemizde gerçekleşen önemli domino kazalarından biridir. Akçagaz Dolum Tesislerindeki LPG tanklarında meydana gelen patlama, gaz sıkışması sonucu oluşmuştur. Patlama sonucu 6 tankta süren yangın 2 tanka daha sıçramıştır ve 8 tank kullanılamaz hale gelmiştir. İzmir Aliğa TÜPRAŞ’ta ise 2017 yılında boş nafta tankındaki bakım sırasında gaz sıkışmasının neden olduğu bir patlama ile domino kazası meydana gelmiştir. İlk patlamanın ardından ikinci ve üçüncü patlamalar da meydana gelmiştir. Bu patlamalar esnasında tankta kalan bazı işçiler hayatını kaybetmiştir.

2.2. İlgili Ulusal ve Uluslararası Mevzuat

2.2.1. Uluslararası mevzuat

Büyük endüstriyel kazaların geçmişte vermiş olduğu zararların sonucunda, bu alanda düzenleme yapılması gerekliliği görülmüştür. Çalışan personellerin ve çevre sağlığını korumaya yönelik düzenlemeler yapılarak 27 Haziran 1967 tarihinde 67/548/EEC sayılı “Tehlikeli Maddelerin Sınıflandırılması, Paketlenmesi ve Etiketlenmesi Direktifi” yayımlanmıştır (EC, 1967).

Tehlikeli madde ve karışımların farklı tanımlanması, sınıflandırması, etiketlenmesinden kaynaklanan karışıklıkların oluşturduğu problemler nedeniyle, Birleşmiş Milletler (BM) tarafından 1992 yılında Rio Zirvesi’nde bu konu görüşülmüş ve karışıklıkları çözüme kavuşturmak için çeşitli planlar yapılmıştır (Halkbank, 2009:16). Küresel sınıflandırma ve etiketleme sisteminin geliştirilmesi ile AK tarafından 1999 yılında 1999/45/EC sayılı “Tehlikeli Karışımların Sınıflandırılması, Paketlenmesi ve Etiketlenmesi Direktifi” çıkarılmıştır (EC, 1999).

Kimyasal kullanımı ile ilgili düzenlemeler ve endüstriyel tesislerde güvenli bir ortam sağlanması için çalışmalar yapılmıştır. Önceden meydana gelen kazalar ve Seveso kazası, Seveso direktifleri olarak bilinen yasal çalışmaların çıkmasını sağlamıştır. İtalya’nın Seveso kasabasında 1976 yılında endüstriyel bir tesiste yaşanan teknik bir arıza sonucu oluşan dioksin salımı, yaklaşık 40 bin kişinin bir kısmının hemen ölümüne, bir kısmının ise ağır derecede cilt yanıklarına yakalanmasına ve geri kalanların da en hafifiyle yüksek kanser riskine maruz kalmasına sebep olmuştur (Vesilind vd., 2012). Seveso kazası sonrasında meydana gelen endüstriyel kazalarda benzer durumların yaşanmaması için mevcut güvenlik önlemlerinin yeterli gelmemesinden yola çıkılarak Avrupa ülkeleri tarafından 1982 yılında Seveso I olarak bilinen 82/501/EEC sayılı direktif kabul edilmiştir. Direktifte tanımlamalar yapılmış, tehlike kaynağı olabilecek önemli maddeler ve işlemler belirlenmiş, direktifin hangi işletmeler tarafından uygulanacağını yanı sıra kapsam dışı olan işletmeler belirlenerek büyük endüstriyel tesislerin çerçevesi çizilmiştir (EC, 1988). Direktifin etkin şekilde uygulanması ve geliştirilmesi için çevrenin korumasına yönelik ilgili bazı şartlar, gelişmiş arazi kullanım planlaması, yeni yönetim sistemleri, kamunun bilgiye erişimini kolaylaştırıcı yükümlülükler, denetim gibi başlıkların eklenmesi ile 1996 yılında

82/501/EEC yeniden düzenlenmiş ve 96/82/EC sayılı “Tehlikeli Maddelerle İlgili Büyük Kaza Risklerinin Kontrolüne İlişkin Direktif” (Seveso II Direktifi) kabul edilmiş ve 82/501/EEC sayılı direktifin yerini almıştır (EC, 1996). Seveso II direktifi sonrasında tehlikeli maddelerin depolanması, işlenmesi gibi faaliyetlerin olduğu tesislerde gerçekleşen kazalar, bazı düzenlemelerin eklenmesini gerekli kılmıştır. Seveso II direktifinin kabulünden yedi yıl sonra uygulama sorunlarının ve eksikliklerin giderilmesi, uyumun güçlendirilmesi için Avrupa Komisyonu (AK) tarafından direktifin gözden geçirilmesi önerilmiştir (Leonard, 2013). Tüm önleme çabalarına rağmen 2000 - 2001 yıllarında havai fişek üretimi yapan bir fabrikada (Enschede) ve amonyum nitrat üreten başka bir fabrikada (Toulouse) meydana gelen patlamalar sonucu yaşanan felaketler nedeniyle AK Seveso II direktifinin tekrar yenilenmesi gerektiği öngörülmüştür (Vince, 2011). Enschede, Baia Mare ve Toulouse’da meydana gelen kazaların sonrasında Seveso II’nin kapsamı genişletilmiş, görülen aksaklıkların çözümü için ek çalışmalar yapılarak 16 Aralık 2003 tarih ve 345/97 sayılı Avrupa Birliği Resmi Gazetesi’nde (Euro- Lex) 2003/105/EC sayılı direktif yayımlanmıştır. Seveso II’deki patlayıcı ve yanıcı maddelere amonyum nitrat dahil edilerek kurallar güncellenmiş ve daha katı bir hal almıştır. Bununla birlikte daha önce kapsam dışı kalan işletmeler bu direktif ile alt seviyeli kuruluşlar olarak kabul edilirken, alt ve üst seviyeli kuruluşlar arasında da bazı yer değişiklikleri yapılması öngörülmüştür (EC, 2003). 31 Aralık 2008 tarihinde 1272/2008 sayılı “Maddelerin ve Karışımların Sınıflandırılması, Etiketlenmesi ve Ambalajlanması” (CLP) direktifinin yayımlanması ile kimyasal maddelerin sınıflandırılmasının düzenlendiği 67/548/EEC Tehlikeli Maddeler Direktifi, 1999/45/EC Tehlikeli Karışımlar Direktifi ve 1907/2006/EC sayılı Tüzükte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik yayımdan kaldırılmıştır. Madde ve karışımların sınıflandırma, etiketleme ve ambalajlanması hakkındaki AB’nin bu yeni direktifi, BM’nin sınıflandırma ve etiketlemede “Küresel Uyumlaştırılmış Sistem” (GHS) kriterlerine uyumlu şekilde hazırlanarak, kapsama dâhil olmayan bazı tehlike sınıfları da kapsama alınmış ve GHS’nin ilkeleri ortaya konulmuştur. CLP yönetmeliğinin 16. maddesine göre; ilgili maddelerin ve karışımların sınıflandırılması, tehlikelerin belirlenmesi sorumluluğu sadece üreticiye ait olmayıp, dağıtıcılar, tedarik zincirindeki ithalat ve ihracatçılardan son kullanıcıya kadar tüm kişiler ve kuruluşlar madde ve karışımların tehlikelerini ilgili otoritelere bildirmek zorundadırlar (EuroLex, 2008). CLP/1272/2008 sayılı direktifle Kimyasalların Kaydı, Değerlendirilmesi, Ruhsatlandırılması ve Kısıtlanması (REACH)

hükümleri çerçevesinde maddelerin sınıflandırması yapılmıştır. Çizelge 2.3’de direktifte yer verilen yükümlülükler ve yükümlülüklere dair başlangıç tarihleri sunulmuştur.

Çizelge 2.3. 1272/2008 sayılı direktif yükümlülükleri ve başlangıç tarihleri (EC, 2022)

<i>Yükümlülük</i>	<i>Başlangıç Tarihi</i>
Kimyasalların tekrar sınıflandırılması	1 Aralık 2010
Tesislerde bulunan tehlikeli maddelerin etiketlenmesi	1 Aralık 2012
Karışımların CLP’ye göre sınıflandırılması	1 Haziran 2015
Piyasada bulunan kimyasalların tekrar etiketlenmesi ve yeniden paketlenmesi	1 Haziran 2017
Yeni tehlike sınıflarının tanıtılması (Endokrin bozucu ve diğer zararlı maddeler için eklemeler yapılmıştır)	19 Aralık 2022
Kimyasalların etiketlenmesine ve reklam gerekliliklerine açıklık getirilmiştir.	19 Aralık 2022

Çizelge 2.3’de görüldüğü gibi aksaklıkların ve sorunların giderilmesi için revizyonlar yapılmıştır.

Eski semboller	GHS ve CLP ye göre yeni semboller	Eski Harflendirmeler	Yeni Harflendirme
			
		R	H
			
		S	P

Şekil 2.1. Kimyasalların sınıflandırılması, etiketlenmesi ile ilgili değişiklikler (Leonard,2013)

İlgili direktifle daha önce kullanılmakta olan semboller yenilenmiştir. R (risk), S (güvenlik) harf sembolleri yerlerini H (zararlılık) ve P (önlem) ifadelerine bırakmıştır. (Şekil 2.1). 67/548/EEC ile 99/45/EC direktiflerinin yürürlükten kalkması ve yeni bir etiketleme sisteminin (GHS) geliştirilmesi, Seveso II direktifinde de güncelleme yapılması gereğini doğurmuştur (Leonard, 2013).

Çizelge 2.4. AB üye devletlerinde direktiflerinin uygulamasının değerlendirilmesi
(İKV, 2020)

<i>Almanya</i>	• Seveso II direktiflerinde neredeyse her yönetmeliği yerine getirmektedir. • En büyük sorun, üst seviyeli kuruluşların yıllık denetimlerinin yapılmaması hatta bazılarının hiç denetlenmemiş olmasıdır. • Üst seviyeli kuruluşlarda harici acil durum planları hazırlanmadığı belirtilmiştir.
<i>Avusturya</i>	• Seveso II direktiflerinde neredeyse her yönetmeliği yerine getirmektedir • Üst seviyeli tesislerin denetlenmesinde bazı problemler bulunmaktadır.
<i>Belçika</i>	• Seveso II direktiflerinde neredeyse her yönetmeliği yerine getirmektedir.
<i>Birleşik Krallık</i>	• Seveso II direktiflerinde neredeyse her yönetmeliği yerine getirmektedir.
<i>Çekya</i>	• Seveso II direktiflerinde neredeyse her yönetmeliği yerine getirmektedir. • Birçok üst seviyeli kurumda harici acil durum planının test edilmemesi büyük sorunlardan biridir.
<i>Danimarka</i>	• Seveso II direktiflerinde neredeyse her yönetmeliği yerine getirmektedir. • Birçok üst seviyeli kurumda harici acil durum planının test edilmemesi büyük sorunlardan biridir.
<i>Estonya</i>	• Seveso II direktiflerinde neredeyse her yönetmeliği yerine getirmektedir. • Bazı kuruluşların acil durum planının olmaması yaşanan önemli problemlerdendir.
<i>Finlandiya</i>	• Seveso II direktiflerinde neredeyse her yönetmeliği yerine getirmektedir. • Önemli olan sorun üst seviyeli kurumların yıllık denetimlerindeki eksikliklerdir.
<i>Fransa</i>	• Seveso II direktiflerinde neredeyse her yönetmeliği yerine getirmektedir. • Bazı kurumların harici acil durum planının olmaması, planların test edilmemesi ve yıllık denetimin yapılmaması yaşanan önemli problemlerdir.
<i>GKRY</i>	• Seveso II direktiflerinde neredeyse her yönetmeliği yerine getirmektedir.
<i>Hırvatistan</i>	• Direktifi'nin bazı gerekliliklerine uyum sağlamakta zorlanmaktadırlar. • Üst seviyeli kuruluşlarda harici acil durum planının olmaması, planların test edilmemesi ve yıllık denetimin yapılmaması yaşanan önemli problemlerdir.
<i>Hollanda</i>	• Seveso II direktiflerinde neredeyse her yönetmeliği yerine getirmektedir. • Harici durum planları bulunmaktadır ancak test edilmemektedir.
<i>İrlanda</i>	• Seveso II direktiflerinde neredeyse her yönetmeliği yerine getirmektedir.
<i>İspanya</i>	• Seveso II direktiflerinde neredeyse her yönetmeliği yerine getirmektedir. • Üst seviyeli kuruluşlarda harici acil durum planının olmaması, planların test edilmemesi ve yıllık denetimin yapılmaması yaşanan önemli problemlerdir.

Çizelge 2.4. (devam). AB üye devletlerinde direktiflerinin uygulamasının değerlendirilmesi (İKV, 2020)

<i>İsveç</i>	- Seveso II direktiflerinde neredeyse her yönetmeliği yerine getirmektedir. - Üst seviyeli kuruluşlarda harici acil durum planının olmaması ve planların test edilmemesi yaşanan önemli problemlerdir.
<i>İtalya</i>	- Seveso II direktiflerinde neredeyse her yönetmeliği yerine getirmektedir. - Üst seviyeli kuruluşlarda harici acil durum planının olmaması, planların test edilmemesi ve yıllık denetimin yapılmaması yaşanan önemli problemlerdir.
<i>Letonya</i>	Seveso II direktiflerinde neredeyse her yönetmeliği yerine getirmektedir.
<i>Litvanya</i>	Seveso II direktiflerinde neredeyse her yönetmeliği yerine getirmektedir.
<i>Lüksemburg</i>	- Seveso II direktiflerinde neredeyse her yönetmeliği yerine getirmektedir. - Harici acil durum planlarının test edilmesi ve halkın bilgilendirilmesi konularında önemli problemler bulunmaktadır.
<i>Macaristan</i>	- Seveso II direktiflerinde neredeyse her yönetmeliği yerine getirmektedir. - Beş tesisin henüz harici acil durum planı hazırlamamış olması yaşanan problemler arasındadır.
<i>Malta</i>	Seveso II direktiflerinde neredeyse her yönetmeliği yerine getirmektedir.
<i>Polonya</i>	Seveso II direktiflerinde neredeyse her yönetmeliği yerine getirmektedir.
<i>Portekiz</i>	- Direktife uyum sağlamada bazı sorunlar yaşanmaktadır. - Üç kuruluşta harici acil durum planının olmaması, planların test edilmemesi ve yıllık denetimin yapılmaması yaşanan önemli problemlerdir.
<i>Romanya</i>	- Seveso II direktiflerinde neredeyse her yönetmeliği yerine getirmektedir. - Üç kuruluşun harici acil durum planının olmaması ve planların test edilmemesi yaşanan önemli problemlerdir.
<i>Slovakya</i>	- Seveso II direktiflerinde neredeyse her yönetmeliği yerine getirmektedir. - Yaşanan en büyük sorun üst seviyeli kuruluşların yıllık denetimlerinin yapılmamış olmasıdır.
<i>Slovenya</i>	Seveso II direktiflerinde neredeyse her yönetmeliği yerine getirmektedir.
<i>Yunanistan</i>	- Seveso II direktiflerinde neredeyse her yönetmeliği yerine getirmektedir. - Üst seviyeli kuruluşlarda harici acil durum planının olmaması, planların test edilmemesi ve yıllık denetimin yapılmaması yaşanan önemli problemlerdir.
<i>Bulgaristan</i>	Seveso II direktiflerinde neredeyse her yönetmeliği yerine getirmektedir.

Gelecekte daha yaşanılabilir bir çevre, sağlıklı koşullar sağlanabilmesi, kamunun sürece katılımı ve yargıya başvurma konularının değerlendirilenden 30 Ekim 2001 tarihinde yürürlüğe giren “Çevresel Konularda Bilgiye Erişim, Çevresel Karar Verme Sürecine Halkın Katılımı ve Yargıya Başvuru Sözleşmesi” (Aarhus Sözleşmesi) de bir anlamda çevresel konularda

eksiklikleri bulunan Seveso II direktifinin yeniden düzenlenmesi görüşünü desteklemiştir (Leonard, 2013). Tüm bu gerekçeler sonucunda, Seveso II direktifinde güncellemeye gidilerek 4 Temmuz 2012 tarihli Avrupa Birliği Resmî Gazetesi'nde yayımlanan 2012/18/EEC sayılı Seveso III Direktifi, 26 Haziran 2012 tarihinde AB Bakanlar Konseyi'nde kabul edilmiştir (EC, 2012). 1 Haziran 2015 tarihinde AB ülkelerinde Seveso II direktifi kaldırılmış ve Seveso III direktifleri yürürlüğe girmiştir (EC, 2015). Seveso II direktifinde yalnızca tehlikeli maddelerin mevcudiyeti ve firmalara ilişkin tesis içi tehlikelerin tanımlanması yapılırken, yenilenen direktifte bunlara ilaveten kullandıkları tehlikeli maddeler nedeniyle büyük endüstriyel kazalara sebep olabilecek riskleri arttıran tesislerin veya tesis gruplarının konumlarının tanımlanması ve kayıt altına alınması, yerleşim yerlerine yakınlıkları nedeniyle büyük bir kazanın meydana gelme olasılığının artmasının değerlendirilmesi, halkın güvenli bilgiye erişimi ve karar alma adımlarında daha etkili şekilde yer alması ile denetim mekanizmalarının daha sıkı kurallara tabi olması gibi birçok bileşen ele alınmıştır. Seveso III direktifinde alt ve üst seviyeli kuruluşlara çeşitli ek yükümlülükler getirilmiştir. Seveso II direktifinde kuruluşların acil durum planı hazırlama ve uygulama sorumluluğu bulunurken (EC, 1996), Seveso III'te temel gereklilikler aynı olup alt seviyeli kuruluşlara bazı ek gereklilikler getirilmiştir. Buna göre alt seviyeli kuruluşların dahili acil durum planlarını daha net ve uygulanabilir şekilde hazırlamaları gerekmektedir. Üst seviyeli kuruluşların güvenlik raporu hazırlama zorunluluğu devam ederken, büyük endüstriyel kaza önleme politikasının (BKÖP) kaza tehlikeleri ile orantılı olması ve devletin bu politikanın işletmede uygulandığından emin olması istenmektedir (EC, 2012). Çizelge 2.4'de Seveso III'te, kuruluşlar için zorunlu tutulan hükümler sunulmuştur.

Çizelge 2.5. Seveso III direktifinde endüstri kuruluşları için zorunlu tutulan hükümler

<i>Zorunluluklar</i>	<i>Alt Seviyeli Kuruluşlar</i>	<i>Üst Seviyeli Kuruluşlar</i>
Bildirim	+	+
BEKRA önleme politika belgesi ve GYS	+	+
Tehlike belirleme ve Risk Değerlendirme	+	+
Dahili Acil Durum Planları	-	+
Harici Acil Durum Planları Hakkında Kamuoyu Bilgilendirme	-	+
Güvenlik Raporları	-	+
Halkı Bilgilendirme	-	+
Planlama Otoritelerini Bilgilendirme	+	+
Tesis İçinde Domino Etkisinin Değerlendirilmesi	+	+

Seveso III direktifinde belirtildiği üzere tehlikeli madde bulunduran, işleyen veya depolayan tesislerin, olası büyük kazaları önlemeye yönelik tedbirleri alarak kazaların canlılara ve çevreye verdiği kısa veya uzun vadeli etkileri en aza indirmesi zorunludur. Bununla birlikte işletmelerin bu maddelere, proseslere ve risklere ilişkin bilgileri çalışanlarla, kullanıcılarla ve tesis civarında bulunan halkla paylaşmaları ve komşu tesislerle domino etkisi oluşturacak tehlikeler konusunda iş birliği yapmaları da zorunlu kılınmıştır (Leonard, 2013). Ayrıca Seveso II direktifinin Ek-I kısmında tehlikeli maddelerin ve karışımların sınıflandırılmasının, 1272/2008/EC sayılı Yönetmelik ile uyumlu olacak şekilde işletmelerce yeniden tanımlanması zorunlu kılınmıştır. Buna göre, Seveso II direktifindeki 3 “Çok Toksik” kategorisi Seveso III’ te “Akut Toksik 1”e, “Toksik” kategorisi “Akut Toksik 2”ye (tüm maruziyet yolları) ve “Akut Toksik 3”e (cilt ve soluma yolları) dönüştürülmüş olacaktır (EC, 2012). Sağlığa zararlı maddeler Seveso III direktifinde 1272/2008/EC’deki kategorilere uygun olarak yeniden tanımlanmıştır. Mevcut düzenlemede, daha genel özellikleriyle belirtilen fiziksel tehlikelere ilişkin oksitleyici, patlayıcı, alevlenebilir madde kategorileri tanımlamalarının yerini CLP Tüzüğü’nde yer alan spesifik kategori tanımlamalarına bırakmıştır. Seveso III direktifinde tehlikeli madde isimlendirmeleri yer almış ve tehlikeli maddeler; sağlık tehlikeleri (H), fiziksel tehlikeler (P), çevre tehlikeleri (E), diğer tehlikeler (O) olmak üzere dört kategori başlığı altında toplanmıştır (Leonard, 2013). Düzenlemede olabilecek en yüksek seviyede güvenliğin temin edilebilmesi, güvenlik kurallarının eksiksiz ve etkin şekilde uygulanmasının sağlanması amacıyla alınması gereken önlemlere yenileri eklenmiş, denetim standartları gibi tedbirlerde

eklenmiştir. İdari sorumlulukların azaltılması için mevzuatta azaltmaya gidilmiştir. Yine Seveso III direktifleri kapsamında halkın bilgilere erişimi kolaylaşmış, bilginin ulaşımı analizi, iyileştirilmesi sağlanmıştır. Diğer komşu ülkelere ise sınırları aşan kazalar ile ilgili belirli düzenlemeler yapılmıştır. Özetle Seveso III direktifi ile gelen yenilikler şunlardır;

- Kuruluşlar için önemli sorumluluklar Bildirim (Madde 7)
- BEKRA önleme belgelerinin belirlenmesi ve hazırlanması (Madde 8)
- Üst seviyeli kuruluşlar için bir güvenlik raporu hazırlanması (Madde 10)
- Üst seviyeli kuruluşlar için dahili acil durum planlarının üretilmesi (Madde 12)
- Kaza durumunda bilgi verilmesi (Madde 16).
- Üye devlet yetkilileri için önemli sorumluluklar üst seviyeli kuruluşlar için harici acil durum planlarının hazırlanması (Madde 12)
- Tesislerde yer seçimi için arazi kullanımını planlaması yapılması (Madde 13)
- Önemli ve gerekli bilgilerin halka açık olması (Madde 14)
- Kaza sonrası gerekli acil durum önlemleri de dahil olmak üzere tüm önlemleri almak ve operatörün gerekli düzeltici önlemleri almasını ve etkilenmesi muhtemel kişilerin bilgilendirilmesinin sağlanması (Madde 17)
- Kazaları komisyona raporlama (Madde 18)
- Yasadışı kullanımı ya da işyerlerinde çalışmasını yasaklamak (Madde 19)
- Denetim (Madde 20)

Tüm bu değişikliklerle beraber Seveso III direktifinin uygulanmasında bazı sıkıntılarla karşılaşılacağı da düşünülmektedir. Seveso III direktifi kapsamında tesislerin Seveso direktiflerinin düzenlenmesi gerekecektir. Direktifte yer alan ‘işletmelerin ve kuruluşların belirtilen yasaklara uymadığı durumda, çalışmalarının durdurulması işletmelerin ve kuruluşların incelemesi gereken bir ibaredir. Öte yandan ülkelerin büyük endüstriyel kazaları önlemek için tesislerin etki ve alanlarının düzenli takibi, önlemlerin alınması ve buna yönelik çalışmaların yürütülmesi üzerinde durulması gereken konulardır (Özkılıç, 2014). Türkiye’de 30.12.2013 tarihli ve 28867 mükerrer sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik (BEKÖH) kapsamında (ÇSGB, 2013) “Arazi Kullanımı Planlaması” çalışmaları henüz yeterli bir düzeyde uyumlaştırılamamışken, Seveso III direktifinde “komşu kuruluş” kavramının eklenmesi ile gereklilikleri genişletilmiş ve kazaların insan ve çevre sağlığına etkilerinin azaltılıp önlem alınmasına yönelik emniyet mesafeleri uygulaması getirilmiştir.

Yapılan tüm çalışmalar göz önünde bulunduğunda, Seveso III direktifi ile uyumluluk sağlanabilmesi için mevzuatımızda yenilemelere gidilmesi, tesislerin teknik kapasitelerinin ve tesisler arası iletişimin, uyumun artırılması gerektiği düşünülmektedir.

Ulusal mevzuat

Ülkemizde Mart 2019’ da “Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik” yayımlanmış olup, tehlikeli maddelerin bulunduğu kuruluşlarda, büyük endüstriyel kazaların önlenmesi ve insan, çevre ve tesis varlıklarına etkilerinin hafifletilmesi amacı ile usul ve esaslar belirlenmiştir. Yönetmeliğe göre “bir kuruluşun işletilmesi esnasında, kontrolsüz gelişmelerden kaynaklanan ve kuruluş içinde veya dışında insan ve/veya çevre sağlığı için anında veya daha sonra ciddi tehlikeye yol açabilen bir veya birden fazla tehlikeli maddenin sebep olduğu büyük bir yayılım, yangın veya patlama olayı” büyük endüstriyel kaza olarak tanımlanmaktadır. Yönetmelik kapsamında yer alan direktiflere göre tesislerdeki kimyasal miktarları göz önünde bulundurularak alt seviyeli kuruluş veya üst seviyeli kuruluş tanımları yapılmaktadır. Tesislere ait kuruluş seviyelerine göre belirlenen sorumlulukların yerine getirilmesi beklenmektedir. Yönetmeliğe göre alt seviyeli kuruluşlar bildirim yapmaktan, tesislerindeki potansiyel tehlikelerin ve risklerin belirlenmesinden, güvenlik yönetim sistemi kurulumundan ve kazaların raporlanmasından sorumlu iken üst seviyeli kuruluşlar, alt seviyeli kuruluşların sahip olduğu sorumluluklara ek olarak güvenlik raporunun hazırlanmasından, dâhili acil durum eylem planlarının oluşturulmasından ve tesis çevresinde bulunan halkın bilgilendirilmesinden sorumlu tutulmaktadır (Resmî Gazete, 2019). Yönetmeliğin 3. Maddesine göre kapsam dışında bulunan çeşitli faaliyet alanları yer almakta ve askeri kuruluş, tesis ve depoları da bu madde altında yer almaktadır. 2012 yılına kadar tehlikeli kimyasalların bulunduğu tüm çalışma alanları “Parlayıcı Patlayıcı Tehlikeli ve Zararlı Maddelerle Çalışılan İşyerlerinde ve İşlerde Alınacak Tedbirler Hakkında Tüzük” kapsamında değerlendirilmiştir. Ancak ilgili tüzük 17.07.2014 tarihinde, 29063 sayılı Resmî Gazete ’de yayımlanan tüzük ile yürürlükten kaldırılmıştır (Taşdemir,2023).

İş güvenliği insanın bedensel ve ruhsal hasar almasını önlemeye çalışırken, proses güvenliği prosesin durmasını, ekipman hasarlarını ve kimyasal madde kaybını azaltmayı hedefler. Bu sebeple prosesi oluşturan ekipmanların bütünlüğü çok önemlidir. İş güvenliğinde kaza gerçekleşme riski yüksek ancak beklenen sonucun kötü olma olasılığı düşüktür. Proses

güvenliğinde ise kazanın gerçekleşme riski düşüktür ancak meydana geldiğinde ise şiddetli ve etkisi büyük sonuçlar meydana getirebilmektedir. Bazı ulusal kuruluşların aldıkları tedbir ve öneriler;

- *OSHA (Mesleki güvenlik ve sağlık yönetimi):* 1990 yılında Proses Güvenliği Yönetim Sistemi (PGYS) gerekliliklerine yüksek tehlikeli kimyasallar da eklenmiştir. 4 ay sonra (CAAA ve EPA) işverenlerden 14 elementli yapı içinde PGYS kurlmaları zorunlu kılınmıştır.
- *ILO (Uluslararası Çalışma Örgütü):* ILO 2001 yılında bir kılavuz yayınlayarak 16 elementli yapı içinde bir proses güvenlik yönetim sistemi önermiştir.
- *Kanada Kimya Mühendisliği Toplumu:* 1987'den 1999'a kadar olan süreçte tartışılan PGYS' ni 1999'da yayınlamış ve 12 elementli bir durum içinde öneri yapmıştır.
- *AIChE (Amerikan Kimya Mühendisleri Enstitüsü):* Risk tabanlı proses güvenliği yaklaşımı geliştirerek uygulama yapmıştır. 20 elementli bir durum ile güvenliği daha ileri bir boyuta taşımıştır.
- *EPA (Çevre Koruma Ajansı):* Risk Yönetim Planı (RMP) (Temiz Hava Yasası uyarınca; 16 element), Amerikan Kimya Konseyi (ACC) Sorumlu Bakım (18 element), API Tavsiye Edilen Uygulama 1173 Boru Hattı Güvenlik Yönetim Sistemi (API 1173) (2015'te tanıtıldı; 11 element).

Türkiye' de Seveso direktifi ve 6331 Sayılı İSG Kanunu ile 2872 sayılı çevre kanununa dayalı olarak hazırlanmış olan Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik dışında tesislere proses güvenliği için bir zorunluluk getirilmemiştir.

- *ISO (Uluslararası Standardizasyon Örgütü):* Dünya çapında bir ulusal standartlar federasyonudur. Uluslararası Standartların hazırlanmasını yürütür. TSE, Türkiye'de her türlü madde ve mamuller ile usul ve hizmet standartlarını yapmak amacıyla kurulan bir kurumdur.

Endüstride kullanılan kimyasalların kazalara neden olmaması için dünya ve Türkiye'de yer alan bazı standartlara uyulması gerekmektedir. LPG kimyasalı ise kimya endüstrisinde en çok kullanılan maddelerden biridir. LPG kimyasalı için Türkiye'de kullanılan bazı standartlar aşağıda verilmiştir:

- *TS 1446 Standardı:* Sıvılaştırılmış petrol gazlarının (LPG) dökme veya TS 55 (Tüpler- Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG)) için taşınabilir, tekrar doldurulabilir (çelikten, kaynaklı- tasarım ve imalatı) standart ile TS 5306 (Kullanımdaki LPG Tüplerinin Muayene, Deney, Bakım ve Tamiri) standartlarına uygun tüplere doldurulmuş halde depolanması kurallarını kapsar. Diğer petrol ürünleri ile sıvılaştırılmış doğal gazların ve başka gazların depolanması kurallarını kapsamaz.
- *TS 1449 Standardı:* Sıvılaştırılmış petrol gazlarının (LPG) dökme taşıma kara araçlarına, depolama tanklarına ve tüplere (TS 55 ve TS 5306'ya uygun) doldurma ve boşaltma kurallarını kapsar. Deniz araçlarına dökme olarak doldurma ve boşaltma kurallarını ve sıvılaştırılmış doğal gazlarla yapılan işlemleri kapsamaz.
- *TS 11939 Standardı:* Karayolu taşıtları için kurulmuş ve kurulacak olan LPG ikmal istasyonları ile ilgili kuruluş ve emniyet kurallarını kapsamaktadır.
- *TS 12820 Standardı:* Esas itibarı ile kara yolu taşıtlarına yakıt ikmali yapılan akaryakıt istasyonlarıyla ilgili emniyet kurallarını kapsar. LPG, LNG veya sıkıştırılmış doğal gaz istasyonlarını ise kapsamaz.
- LPG ile ilgili diğer standartlar ise Çizelge 2.6'da yer verilmiştir.

Çizelge 2.6. LPG ile ilgili standartlar (TMMOB, 2012)

<i>Sıralama</i>	<i>Standart Numarası</i>	<i>Standardın Adı</i>	<i>Kabul Tarihi</i>	<i>Zorunlu Standart ise Resmî Gazete Tarih ve Sayısı</i>
1	TS 2178	Petrol ürünleri - Yakıtlar (Sınıf F) Sıvılaştırılmış petrol gazları (LPG) Özellikler	09.04.2009	-
2	TS EN 589	Otomotiv yakıtları - LPG- Özellikler ve deney yöntemleri	23.03.2010	-
3	TS 55 EN 1442	Tüpler- Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG) İçin- Taşınabilir Tekrar Doldurulabilir- Çelikten, Kaynaklı- Tasarım ve İmalât	29.11.2001	29.05.1990 (20532 sayılı)

Çizelge 2.6. (devam). LPG ile ilgili standartlar (TMMOB, 2012)

<i>Sıralama</i>	<i>Standart Numarası</i>	<i>Standardın Adı</i>	<i>Kabul Tarihi</i>	<i>Zorunlu Standart ise Resmî Gazete Tarih ve Sayısı</i>
4	TS 5306	Taşınabilir, tekrar doldurulabilir, kullanımdaki çelik LPG tüpler – Kusur tanımları, hurdaya ayırma sınırları ve tüplerin tamiri veya hurdaya ayrılması	14.07.2011	29.05.1990 (20532 sayılı)
5	TS 1445	Sıvılaştırılmış Petrol Gazları (LPG) - Taşıma Kuralları	30.12.1997	22.05.1990 (22643 sayılı)
6	TS 1446	Sıvılaştırılmış Petrol Gazlarının (LPG)- Depolama Kuralları	25.05.1998	23.05.1990 (22644 sayılı)
7	TS 1449	LPG doldurma ve boşaltma kuralları – Emniyet gerekleri	29.06.2009	22.05.1990 (22643 sayılı)
8	TS 11939	Sıvılaştırılmış Petrol Gazları (LPG)- İkmal İstasyonu- Karayolu Taşıtları İçin-Emniyet Kuralları	08.03.2012	30.05.1998 (23357 sayılı)
9	TS 12095-1 EN 12805	Otomotiv - Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) sistem bileşenleri - Yakıt tankları	12.04.2004	-
10	TS 12095-2 EN 12806	Otomotiv - Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) sistem bileşenleri – Yakıt tankları dışındaki diğer donanımlar	12.04.2004	-
11	TS 12305 EN 12979	Karayolu Taşıtları-LPG Sistemleri-Yerleştirme Kuralları	18.04.2003	-
12	TS 1862	Sıvılaştırılmış Petrol Gazları İçin-Tüp Donanımları-Valfler, Basınç Düzenleyicileri ve Emniyet Valfleri	14.03.1997	20.02.1989 (20086 sayılı)
13	S 1862-4 EN 12864	Bütan, propan veya bunların karışımları – Basınç düzenleyiciler ve ilgili emniyet tertibatları (...)	26.01.2006	-
14	TS 2179	Sıvılaştırılmış Petrol Gazları (LPG) - Kullanma Kuralları	10.04.1991	-
15	TS 1846	Hortumlar (Sıvılaştırılmış Petrol Gazları ve Havagazı İçin)	19.02.1975	11.12.1975 (15439 sayılı)

TSE, uluslararası ECE R 67 Standardını referans alarak konuyla ilgili halen yürürlükte bulunan zorunlu ve ihtiyari standartlar Çizelge 2.6’da verilmiştir. Bu tez çalışması domino kazalarında eşik temelli güvenlik mesafesi belirlenmesi üzerine olduğu için doğru kıyaslama ve değerlendirme kapsamında mevzuatlarda yer alan güvenlik mesafeleri ile ilgili standartlar da aşağıda sunulmuştur;

- *TS EN ISO 13857 Standardı:* Makine tehlike bölgelerine ulaşılmasını önlemek için endüstri ve endüstri dışı ortamlarda güvenlik mesafesi belirlemeyi amaçlar.
- *TS ISO 13855 Standardı:* İnsan yaklaşma hızlarını tanımlayan standarttır. Sensor teknolojisinde ve emniyet tedbirleri tasarlarken bu standart incelenerek yapılması tavsiye edilir.
- *EN ISO 13855 Standardı:* Olması gereken güvenli mesafe için bazı durma süresi ölçümlerini hesaplar.
 - $S = K * T + C$
 - S = minimum mesafe (mm)
 - K = sabit değer (mm/s), yaklaşım hızına göre atanır
 - T = toplam sistemin durma performansı/süresi (s)
 - C = ilave mesafe (mm), koruyucu sistem aktive edilmeden içeri girilebilen mesafe
 - $T = t_1 + t_2 + \dots + t_n$
 - T = sistemin toplam duruş performansı
 - t_1 = algılama fonksiyonunun aktivasyonu ve cihazın çıkışını aktif etmesi için gerekli süre
 - t_2 = makinenin maksimum tepki süresi
 - t_n = olası ilave süreler
- *ISO 13855 Standardı:* Güvenlik mesafelerinde güvenlik ışık perdeleri veya emniyet modülü ile ilişkilendirerek hesaplanmasını belirten bir standarttır. Yani maksimum el hızının tanımını yapar.
- *TS EN IEC 61472-2 Standardı:* Canlı çalışma minimum yaklaşma mesafelerini ifade eder.
- Bu standart prosesteki aşırı gerilimleri ve aralarındaki çalışma mesafelerini ele almaktadır.
- *TS ISO 7507-2 Standardı:* Bu standart, çapı sekiz metrenin üzerinde, dikey silindirik sıralara sahip tankların kalibrasyonu için yöntemleri belirtmememize yardımcı olan bir standarttır.
- *TS 11642, TS 11939:* LPG ikmal istasyonlarında bulunan; depolama tankları, dispenserler, pompa ve aksamı, idari ve yardımcı tesisler ve bunun gibi yerlerin; komşu arsa sınırı, karayolu, demiryolu, binalar ile istasyonda bulunan depolama tankları, dispenserler, emniyet valfleri, pompa ve aksamı, borular, elektrik aksamı, yangın

güvenliği, topraklama tesisatı ile diğer makine ve teçhizatla ilgili genel kurallar ve emniyet kurallarını belirleyemeye yarayan bir standarttır.

Endüstriyel tesislerde çalışanların sağlıklı ve güvenilir bir ortamda çalışmaları çok önemlidir. Bu kapsamda ilgi standartlar aşağıda sunulmuştur:

- *TS 1939 Standardı:* LPG ikmal istasyonlarında yetkili idare tarafından belirlenecek mesafede sağlık koruma bandının bırakılması zorunludur.
- *TS 11939 Standardı:* Bu standartta belirtilen güvenlik mesafelerine göre sağlık koruma bandının çalışanlar için ayarlanmasını sağlar (TSE).

Proses güvenliği için en önemli noktalardan biri ise yönetim sistemleri ile ilgili verilen mevzuatlar ve standartlardır (MTA).

- *Yönetim Sistemleri (YS),* Kuruluşların sürdürülebilir yönetim alt yapısına kavuşmaları için bir sistem, kişi esaslı yönetim yerine sistem esaslı yönetim, tahmine ve ön yargıya dayalı yönetim yerine veriye dayalı yönetim, süreç yaklaşımı ile faaliyetlerin kontrol altına alındığı ve sistematik bir şekilde ölçülendirilip iyileştirildiği bir yönetim, bunun belgelenmesi ise YS yapısının dünya çapında görünür kılınmasıdır. İlgili yönetim sistemleri:

ISO 9001 Kalite Yönetim Sistemleri, ISO 10001 Müşteri memnuniyeti Yönetim Sistemi, ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemi, ISO 22000 Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi, ISO 22301 Toplumsal güvenlik - İş sürekliliği yönetim sistemleri, ISO 27001 Bilgi Güvenliği Yönetim Sistemi, ISO 28000 Tedarik Zincirinde Güvenlik Yönetim Sistemi, ISO 29000 Petrol, Petrokimya ve Doğalgaz Endüstrileri-Sektöre Özel KYS, ISO 31000 Risk Yönetimi, ISO 39001 Yol Trafik Güvenliği Yönetim Sistemi, ISO 45001 İş Sağlığı ve Güvenliği (Yönetim) Sistemi, ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemleri, ISO 55000 Varlık Yönetimi.

Güvenlik Kültürü'nün en sade tanımı kimse tarafından görülmediği durumda yapılan davranıştır. Bu davranışlar kurumda ve dışarıda farklılık gösteriyor ise kurum içerisinde kazanılan kurum kültürü veya kurum içi davranış kalıbı olarak değerlendirilen bir davranıştır. Güvenlik kültürü 3 seviyeden oluşmaktadır. Bunlar ise:

- a) Patolojik
- b) Reaktif
- c) Proaktif

Yetkinlik konusu proseste çalışanların işe alımı, buna uygun eğitilmesi ve prosesin doğru işletilebilmesi için gereken yeterlilikler belirlendiği takdirde proses güvenliği sağlanabilir. Belirtilen bu üç aşama sağlanılarak proses güvenliği düzenli ve sürekli hale getirilebilir.

Tesis bütünlüğü ve güvenilirliği; kritik ekipmanların yaşam süresince, görev süresini yerine getirebilmesi için kuruluşun gerekli denetim ve testleri yaparak güvenilirlik ve bütünlüğü sağlama gereğidir. Tesis bütünlüğü ve güvenilirliği kapsamında Proses ve Ekipman Bütünlüğü (CSChE-6), Proses, donanım ve sistemlerin denetimi ve testleri, Bakım prosedürleri (Risk temelli bakım (API RP 580/API RP 581)), Güvenilirlik Mühendisliği (TS EN 60300-1 ve TS EN 60300-3), inşaat malzemeleri, üretim ve denetim prosedürleri, uygulama prosedürleri, önleyici bakım, alarm ve enstrüman yönetimi (KMO) dikkate alınabilir (KKD,2020).

2.3. Domino Etkilerinin Önlenmesi: Güvenlik ve Emniyet

Literatürde olan konuyla ilgili ilk çalışma, eskalasyon değerlendirmesine dayanmaktadır. 1995'den sonra nicel metodolojilerle de çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Domino kazalarının bazı kötü yönleri literatüre bu çalışmalar hakkında bilgi vermiştir. 1990'larda iki önemli konu domino etkilerinin nicel değerlendirmesini zorlaştırmıştır: birincisi, yazılım araçlarının yetersizliği ikincisi, hasar hakkında bilgi eksikliği ve domino olasılığının değerlendirilmesi için önemli bir nokta olan ekipman hasarıdır.

Son yıllarda ikincil kazanın değerlendirilmesi ve önlenmesi ile ilgili bazı çalışmalar literatürde yer almaktadır. Domino senaryolarının nicel değerlendirilmesine yönelik Coğrafi Bilgi Sistemlerini destekleyen bazı yazılım araçları kullanılmaktadır. Domino etkilerinin tanımlanması ve değerlendirilmesinde “Oyun Teorisi” olarak bir yaklaşım önerilmiştir (Reniers vd., 2005; Reniers ve Dullaert, 2007, 2008). Oyun teorisi, karar vermeye yardımcı olabilmek için sayısal bir araç olarak kullanılmaktadır (Reniers, 2010). Ekipman hasarının daha iyi değerlendirilmesi için modellerde verilmektedir (Cozzani ve Salzano, 2004a, 2004b; Zhang ve Jiang, 2008). Bu değerlendirmeler domino kazalarının tanımlanması,

yönetilmesi ve risklerin anlaşılması bakımından yol gösterici olmuştur. Bu bakış ile, kavram, teori, yöntem ve araçların geliştirilmesi gibi içsel güvenliğe (Cozzani vd., 2007) dayalı yaklaşımların uygulanmasından ve domino etkilerinin değerlendirilmesi için emniyet ve güvenliğin bütünleştirilmesinden (Reniers, 2010) daha iyi sonuçlar beklenmektedir.

Güvenlik ve emniyet ise önleyici tedbirler arasında yer almaktadır. Risk değerlendirmeleri ve daha sonra güvenlik ve emniyet için önleyici tedbirler benzerlik göstermektedir, ancak bazı farklılıklar vardır. Emniyet ve güvenlik risk kavramının açıklanması ile daha iyi anlaşılabilceği düşünülmektedir. “Risk” kavramı, örneğin kesinlikten ziyade ihtimal veya frekans olarak görülen belirsizliği ifade eder. CCPS (2000) 'de emniyet riski, “insanın maddi manevi zarar görmesi durumunda aldığı zararın ölçüsü yani kayıp ölçüsüdür. Kayıp veya yaralanmanın büyüklüğü, felakete kadar geçen sürede, devam eden süreçte nasıl tanımlanacağını anlamamızı sağlar.

Tüm bu emniyet ve güvenlik arasındaki farklar çizelge 2.7’ de güvenlik ve emniyet ile ilgili farklı özelliklere genel bir bakış sunulmuştur.

Çizelge 2.7. Emniyet ve güvenlik arasındaki farklar (Reniers ve Cozzani, 2013)

<i>Emniyet</i>	<i>Güvenlik</i>
Bir olaydaki olay bir risktir	Olaya bir insan eylemi neden olur
Kasıt yoktur	Kasıt vardır
Zarar veren bir insan yoktur	Zarar veren bir insan vardır
Risklerin frekansları ve ihtimalleri vardır	Sadece risklerin kalitatif ihtimalleri vardır. (Terörizm gibi)
Riskler rasyonel özelliktedir	Tehditler sembolik özellikte olabilir

Bu tür konulara yönelik gerekli proaktif yaklaşımlardaki farklılıklara rağmen, emniyet ve güvenliğin önemli bir benzerliği vardır. Yaklaşımda ister kazara ister kasıtlı olsun belirli bir eylemin sonuçları ele alınır.

2.4. Domino Etkisi ve Kimyasal Endüstri Alanları

Kimyasal kuruluşlar çoğunlukla fiziksel olarak gruplar halinde bulunur ve nadiren ayrı olarak yerleştirilir. Bu tür endüstriyel alanlar, ekipman ve altyapılar arasındaki karşılıklı

tehlike ile karakterize edilir. Her kimyasal kuruluş, mevcut maddelerin miktarına, maddelerin fiziksel ve toksik özellikleri ile spesifik proses koşullarına bağlı olarak bir tehlike oluşturur. Bu nedenle, bu tür kuruluşlar özellikle insanlar için tehlike arz eder. Birçok kimya kuruluşu endüstriyel parklarda gruplandırılmış olsa da güvenlik çalışmaları bireysel kimyasal tesisler üzerinde yoğunlaşmıştır. Emniyet ve güvenlik konularıyla ilgili kuruluşlar arası iş birliğini geliştirmek için sınırlı yaklaşımlar veya kavramlar mevcuttur (Reniers, 2010). Ancak, kuruluşlar arası bağlantılı tehditlerle uğraşmak domino risklerini azaltmada çok önemlidir. Kuruluşlar arası afet yönetimi ihtiyacı (önleme ve hafifletme ile ilgilenmek potansiyel olarak birden fazla kuruluşu içeren domino etkileri ile ilgilidir. Bu durum hem güvenlik hem de emniyet unsurları içerir. Kuruluşlar arası büyük sorunlarla mücadele için yönetim stratejileri kimyasal endüstri parklarında sistematik yöntemlerle geliştirilmelidir. Bu tehlikelere yönelik domino senaryoları dikkate alınmalıdır (Reiners ve Cozzani, 2013).

2.5. Domino Eskalasyon Senaryolarının Özellikleri

Çeşitli tehlikeli kimyasalların sürece dahil olduğu ve ciddi oranlarda can kayıpları ve yaralanmaların yaşandığı görülmektedir. Kazaların şiddetinin artması, birincil olayların neden olduğu fiziksel etkilerden (termal radyasyon, pik basıncı vb.) kaynaklanmaktadır. Domino etkisi kazalarında fiziksel etkiler eskalasyon(yükselme) vektörü olarak tanımlanır. Domino etkisi kazaları temel olarak üç unsurdan oluşur: birincil senaryo, eskalasyon vektörleri ve bir veya daha fazla ikincil senaryo .Birincil senaryolar, parlama yangını, havuz yangını, jet yangını, ateş topu, kaynayan sıvı genleşen buhar patlaması (BLEVE), sınırlı patlama (CE), mekanik patlama (ME) ve buhar bulutu patlaması (VCE) olarak sıralanabilir(Cozzani vd., 2005). Eskalasyon vektörleri, kazaların yayılmasına neden olabilecek kaza senaryolarının neden olduğu tehlike etkileridir. Havuz yangını, jet yangını ve ateş topu, termal radyasyon ve alev çarpması ile eskalasyon vektörlerini tetikleyebilir. BLEVE, ME ve VCE, aşırı basınç vektörlerini ve parça projeksiyonunu tetikleyebilir. Sonuç olarak, eskalasyon vektörleri termal radyasyon, alev çarpması, aşırı basınç ve parça projeksiyonundan oluşur (Alileche vd., 2015). Yangın senaryoları, tehlikeli tesislerde eskalasyon vektörleri aracılığıyla ciddi ısı yüklerine neden olabilir ve bu da depolama tanklarının, boruların, proses ekipmanlarının arızalanmasına yol açar. Termal radyasyonun neden olduğu kap arızalanması, arıza süresi (TTF) nedeniyle dinamik bir süreçken, termal radyasyonunun etkilediği kapların zarar görmesi ve patlamaların meydana gelmesi eş zamanlı olarak düşünülebilir. Bu açıklamalar ışığında, yangının neden olduğu domino

etkileri zamana bağılıyken, patlamadan kaynaklanan domino etkileri zamanla ilgili değildir. Birincil senaryolar ve eskalasyon vektörleri yanı sıra domino etkisini içeren kazalarda bir veya daha fazla ikincil senaryo olması gerekir. Bu durumda, birincil kuruluştaki birincil senaryolar, yakındaki diğer kuruluşlarda yükselir ve genel sonuçları birincil olaydan daha ciddi hale getirir. Her bir eskalasyon vektörünün yoğunluğu, muhtemelen birincil muhafaza sisteminden (reaktör, depolama tankı, vb.) salınan toplam enerji (veya madde) miktarına bağlıdır. Eskalasyon için eşik değerler mevcutsa, güvenlik mesafesi standart modellerinin uygulanmasıyla kolayca hesaplanabilir (Çetinyokuş, 2017). Atmosferik ve basınçlı ekipmanlar için eskalasyon dizileri ancak yüksek enerjili birincil senaryolar gerçekleştiğinde mümkündür. Çizelge 2.8’de, eskalasyon etkilerini tetiklemesi muhtemel birincil senaryolar, ikincil senaryolar ve her senaryo için tanımlanan eskalasyon vektörleri gösterilmektedir.

Çizelge 2.8. Birincil senaryo, eskalasyon vektörü, ikincil senaryolar (Cozzani vd., 2006; Salzano ve Cozzani, 2012)

<i>Birincil Senaryo</i>	<i>Eskalasyon Vektörü</i>	<i>Beklenen İkincil Senaryo</i>
<i>Havuz Yangını</i>	Radyasyon ve Alev Çarpması	Jet Yangını, Havuz Yangını BLEVE ve Toksik Yayılım
<i>Jet Yangını</i>	Radyasyon ve Alev Çarpması	Jet Yangını, Havuz Yangını BLEVE ve Toksik Yayılım
<i>Ateş Topu</i>	Radyasyon ve Alev Çarpması	Tank Yangını
<i>Parlama Yangını</i>	Alev Çarpması	Tümü
<i>Mekanik Patlama (ME)</i>	Parçalar ve Aşırı Basınç	Tümü
<i>Kapalı Patlama (CE)</i>	Aşırı Basınç	Tümü
<i>VCE</i>	Parçalar ve Aşırı Basınç	Tümü
<i>BLEVE</i>	Aşırı Basınç ve Alev Çarpması	-

Çizelge 2.8’ dan görüldüğü gibi, genellikle üç eskalasyon vektörü dikkate alınmaktadır. Her bir eskalasyon vektörünün yoğunluğu (eskalasyon yarıçapı), muhtemelen birincil muhafaza sisteminden (reaktör, depolama tankı, vb.) salınan toplam enerji (veya madde) miktarına bağlıdır ve eskalasyon etkilerinin güvenilir olarak kabul edilebileceği minimum mesafe “güvenlik mesafesi” olarak tanımlanabilir. Bu mesafe, proses ekipmanının daha savunmasız kategorileri için belirlenen eskalasyon eşik değerlerine dayanarak tahmin edilebilir.

2.5.1. Birincil senaryoların özellikleri

Jet yangını, bir yanıcının belli bir yöne doğru sürekli salım yapması sonucu oluşan bir patlamayla meydana gelen yayılım alevidir. Sürekli salım, alev alabilen bir sıvının tutuşmasından ve yanmasından sonra bir alev oluşturur. Bu, salım düzlemine yakın bir borudan veya açıklıktan kaynaklanabilir. Jet yangınları, kazara veya kasıtlı olarak ortaya çıkabilir. Örneğin, gaz üretim tesislerindeki çeşitli işlem koşulları altında hidrokarbon gazları jet yangınlarına sebebiyet vermektedir. Jet yangını alevleri termal radyasyon yayar; alevin görünür sınırlarından uzak, tehlikeli olabilecek ısı enerjisini ileterek can, mal kayıplarına neden olur.

Ateş topları, genellikle türbülanslı buhar/iki fazlı (sıvı, aerosol) yakıtların havadaki tutuşması ve yanması sonucu ortaya çıkan kısa ömürlü alevlerdir. Alevler genellikle anlıktır ve basınçlı kapların/boru hatlarının yıkıcı felaketini içerir. Geniş alanlarda dağılabilir; görünür sınırlardan uzakta, can ve mal için tehlikeli olabilecek ısı enerjisini iletebilecek miktarlarda termal radyasyon yayabilir.

Havuz yangını, yakıtın sıfır veya düşük başlangıç momentumuna sahip olduğu yatay bir buharlaşan hidrokarbon yakıt havuzunun üzerinde yanan türbülanslı bir difüzyon alevidir. Açık alandaki yangınlar iyi havalandırılacaktır (yakıt kontrollü), ancak muhafaza içindeki yangınlar yetersiz havalandırılabilir (havalandırma kontrollü). Havuz yangınları statik (ör. havuzun bulunduğu yerlerde) veya 'dinamik' yangınlar olabilir. Havuz yangınları, özellikle büyük sıvı hidrokarbon stoklarına sahip olabilen tesislerde, deniz aşırı tesislerde büyük kazalarla ilişkili riskin önemli bir unsurudur.

Parlama (Flash) Yangını, hava ile önceden karışan ve genişleyen, sonunda tutuşan yanıcı buharın (veya buharlaşan sıvının) salımıdır. Tutuşma meydana geldikten sonra, yanma hızı ateşleme noktasından salım noktasına doğru ilerleyerek potansiyel olarak kaynağı da ateşler. Bu, buhar karışımının tüm hacmini tutuşturduğundan, alevin hacmi büyüktür ve hasarın çoğunluğu alev çarpmasına bağlıdır (Amerikan Kimya Mühendisleri Enstitüsü, Kimyasal Proses Güvenliği Merkezi, 2003). Büyük ölçekli parlama yangınları, özellikle geniş bir alanı kapsayabilecekleri ve ateşlendikten sonra hızlı bir şekilde meydana gelebilecekleri için özellikle tehlikelidirler. Önceden karıştırılmış yanıcı karışımlar sınırlı bir ortamda ise parlama yangınları, daha şiddetli hale gelebilir ve hatta bir patlama ile neticelenebilir.

BLEVE (Kaynayan Sıvı Genleşen Buhar Patlaması), yüksek basınçta depolanan gaz veya sıvı içeren bir tankta, yangın gibi ısı artışına neden olan bir durumun sonucu olarak, tank içi sıcaklık ve basınç artar. Artan iç basınç, tank yırtılmasına, serbest kalan enerji ise şok dalgasına ve tank parçalarının şarapnel etkisiyle fırlamasına neden olur. BLEVE için her zaman yanıcı bir sıvının bulunması gerekmez. Tank içerisinde yanıcı bir sıvının bulunması durumunda ise patlamanın yanı sıra serbest kalan gazlar yanıcı bir ateş topu ortaya çıkartırlar (Assael vd., 2010).

Mekanik patlama (ME), kapalı kapların ve kazanların fiziksel etmenler sebebiyle iç basınçlarının artması ve basınç giderici bir elemanın bulunmaması durumunda, kabın direncini aşan basınç, kabın infilak etmesine neden olur. Gürültülü bir patlama çeşididir. Genel olarak yüksek ısıda meydana gelir ve insan sağlığına zararlı gazlar meydana getirir (Olgun, 2019).

Buhar bulutu patlaması (VCE), gaz sızıntısından kaynaklanan yanıcı gaz bulutu, parlama yangınına neden olabilir. Eğer ateşlemede bir gecikme olursa bir buhar bulutu patlaması meydana gelir. Yanıcı madde türü ve miktarı, sızıntı ve ateşleme arasında geçen süre, ortam engelliliği, ateşleme kaynağının konumu ve sayısı, rüzgâr ve sıcaklık gibi koşullar patlamanın yoğunluğuna etki etmektedir. Buhar bulutu patlamalarının, yanma ürünlerinin hızlı genişlemesine bağlı aşırı basınçtan kaynaklanan zararlı etkileri, insanların, ekipmanların ve tesislerin en önemli hasar nedenidir.

Kapalı Patlama (CE), Kısıtlı bir alanda veya kapalı bir hacimde yanıcı özellikli toz tanelerinin, ateşleyici sebeplere maruz kalması ve oksijenle tepkimeye girmesi sonucunda ortaya çıkan patlama türüdür. Kapalı bir alanda patlayan toz taneleri, patlama etkisi ile yeniden havaya karışarak ikincil bir patlama oluşturabilirler (Glasstone vd., 1977). Çizelge 2.9’ da 100 domino kazasında eskalasyondan sorumlu fiziksel etkiler verilmiştir.

Çizelge 2.9. 100 Domino kazasında eskalasyondan sorumlu fiziksel etki (Cozzani vd., 2005)

<i>Eskalasyon Vektörü</i>				
<i>Birincil Senaryo</i>	<i>Olaylar</i>	<i>Termal radyasyon</i>	<i>Aşırı Basınç</i>	<i>Parçalar</i>
<i>Buhar Bulutu Patlaması (VCE)</i>	17	0	16	1
<i>Mekanik Patlama</i>	17	0	10	7
<i>BLEVE</i>	13	0	0	13
<i>Ateş Topu</i>	1	1	0	0
<i>Jet Yangını</i>	8	8	0	0
<i>Havuz Yangını</i>	44	44	0	0
<i>Parlama Yangını (Flash)</i>	0	0	0	0

Çizelge 2.9'dan, aynı birincil olay türünden domino yükselmesine farklı eskalasyon vektörlerinin neden olduğu görülmektedir. Parlama yangını, herhangi bir eskalasyona yol açmazken, havuz yangını en çok eskalasyona yol açan birincil senaryodur. Domino kazalarına dahil olan kimyasal maddeler Çizelge 2.10' da sunulmuştur.

Çizelge 2.10. Domino kazalarına dahil olan kimyasal maddeler (Cozzani vd., 2005)

<i>Madde</i>	<i>Kaza Sayısı</i>	<i>%</i>
LPG	60	26,7
Yağ	25	11,1
Benzin	4	10,7
Nafta	14	6,2
Dizel	12	5,3
Toluen	9	4,0
Vinil Klorür	9	4,0
Etilen	8	3,6
Etilen Oksit	7	3,1
Doğalgaz	7	3,1
Klor	7	3,1
Metanol	6	2,7

Yanıcı maddeler, kazaların çoğunda (%89) yer almıştır ve domino kazalarında en sık rastlanan maddelerdir. LPG açık ara en sık görünenidir (60 vaka, %27) ve kaydedildiği vakaların çoğu ulaşım kazalarıdır. Bu kazalara dahil olan kimyasalları, petrol ve benzin (her biri %11), ardından nafta (%6) ve dizel (%5) izlemiştir. Kazaların %3'üne klor ve sadece %2'sine amonyak dahil olmuştur. Domino kazalarının genel nedenleri Çizelge 2.11' de verilmiştir.

Çizelge 2.11. Domino kazalarının genel nedenleri (Vílchez vd., 1995)

<i>Neden</i>	<i>Sayı</i>	<i>%</i>
Harici olaylar	69	30,7
Mekanik arıza	65	28,9
İnsan faktörü	47	20,9
Darbe	40	17,8
Şiddetli impuls	21	9,3
Cihaz arızası	8	3,6
Set değeri dışı proses koşulları	5	2,2
İşletim hatası	3	1,3

Çizelge 2.11'den en çok domino kazalarını tetikleyen olayların harici olaylar, mekanik arıza ve insan faktörü olduğu görülmüştür.

2.6. Eşik Değer Temelli Yaklaşım

Domino kazası tehlikesinin değerlendirilmesinde başlangıç noktası, birincil kaza senaryoları tarafından üretilen fiziksel etkiler (eskalasyon vektörleri) tarafından "hasar görebilecek" ekipmanın tanımlanmasıdır. Bu çerçevede, birincil bir olayın ardından olası hasarın doğrudan tanımlanması, hasar eşik değerleri olarak adlandırılanların, yani hedef ekipmanın hasarına neden olabilecek minimum fiziksel etki değerlerinin mevcudiyeti ile büyük ölçüde geliştirilmiştir. Eskalasyon eşikleri, domino kazalarıyla sonuçlanan olası eskalasyon senaryolarının ön değerlendirmesi için "temel kurallar" veya tarama yaklaşımı geliştirmek için değerli bir araçtır. Bu bağlamda, birincil senaryoların simülasyonuna uygulanan sonuç analizi modellerinin sonuçları, minimum güvenilir bir eskalasyon yarıçapı tanımlayarak eşik değerleriyle kolayca karşılaştırılabilir (Cozzani vd., 2007). Bu basit prosedür, basitliği ve şeffaflığı nedeniyle çekicidir. Yaklaşım, eskalasyon değerlendirmesini tek boyutlu bir probleme indirgeme ve böylece genişletilmiş tesis düzenlerinde bile analizi gerçekleştirmek için gereken hesaplama kaynaklarını sınırlama hakkına sahiptir. Kantitatif risk analizinde patlama dalgalarının neden olduğu hasarın değerlendirilmesi için çeşitli basitleştirilmiş modeller (Bagster ve Pitblado, 1991) ve teknik standartlarda benimsenen birçok "güvenlik mesafesi" kriteri (Contini vd., 1998; Bosh vd., 1997) ve hatta mevzuatta (DM 151/2001), eşik değerlere dayanmaktadır (Cozzani vd., 2006). Bununla birlikte, domino eskalasyonu için eşik değerlerde geniş bir belirsizlik vardır. Eşik değerlerdeki geniş belirsizlik, eskalasyon fenomeninin karmaşıklığından kaynaklanmaktadır. Sağlam bir eskalasyon eşiği kümesi elde etmek için çeşitli sorunların tanımlanması gerekir. Birincil senaryonun hasar mekanizması (örneğin, uzak radyasyona karşı sıkışma veya yutma, patlama dalgası etkisine karşı parça etkisi, vb.); Hedef ekipmanın geometrisi ve özellikleri (örneğin şekil, duvar kalınlığı, bağlantılar, basınç tahliye vanaları (PRV'ler) veya yanmazlık gibi korumalar); İlgili bir eskalasyon için gereken hasarın kritik bir şekilde uzatılması (ör. küçük hasar, bağlantıların tam delik kopması, çökme vb.). Yayılma olasılığını etkileyen faktörler arasında, ele alınan senaryodaki eskalasyon vektörlerinin spesifik özellikleri önemli bir rol oynayabilir (örneğin, senaryonun süresi radyasyon nedeniyle eskalasyon olasılığını etkileyebilir). Ayrıca, olası hedef ekipmanın tasarım özellikleri, eskalasyon vektörlerinin neden olduğu hasarlara karşı oldukça farklı bir dirençle sonuçlanabilir. Özellikle son nokta, eskalasyon analizinde genellikle göz ardı edilir. Aslında, ikincil ekipmanın hasarı, domino kazasını tetiklemek için yeterli değildir, çünkü tanımın önemli bir kısmı, domino senaryosunun genel sonuçlarının birincil olayınkinden daha yüksek olması gerektiğidir. Bu

nedenle, yıkıcı bir patlamanın bir sonucu olarak tetiklenen küçük bir havuz yangını, ilgili bir eskalasyon olarak kabul edilmeyebilir (Cozzani vd., 2013). Literatürde yer alan eşik değerler Çizelge 2.12’ de sunulmuştur.

Çizelge 2.12. Literatürde yer alan eşik değerler

<i>Eskalasyon Vektörü</i>	<i>Eşik</i>	<i>Ekipman Kategorisi</i>	<i>Referans</i>
<i>Radyasyon (kW/m^2)</i>	12,5	Tüm	Decreto Ministeriale İtalya Cumhuriyeti Resmi Gazetesi (2011)
	37	Tüm	Khan ve Abbasi (1998)
	24	Tüm	Bagster ve Pitblado (1991)
<i>Aşırı basınç (kPa)</i>	42	Basınçlı	Cozzani ve Salzano (2004a)
	7	Atmosferik	Gledhill ve Lines(1998)
	10,0	Atmosferik	Bottelberghs ve Ale (1996) ·
<i>Parçalar(m)</i>	800,0	Tüm	Decreto Ministeriale İtalya Cumhuriyeti Resmi Gazetesi (2011)

Çizelge 2.12’de farklı proses ekipmanı kategorileri için daha sık görülen üç eskalasyon vektörünün eşik değerlerine yer verilmiştir. Senaryonun eskalasyon potansiyelinin daha iyi anlaşılması için DS ve L1 kavramlarının tanımları yapılmalıdır. Son olarak eskalasyon eşikleri belirli özelliklerinin tanımı için ayrıntılı kriterler önerilerek farklı birincil senaryolar sunulur.

Hasar eşik değerlerinin tanımlanmasında iki önemli nokta dikkate alınmalıdır:

- 1- Eşik değerler belirli bir hasara işaret etmelidir.
- 2- Belirli yapısal direnci dikkate almalıdır (ekipmanın tasarımı).

Bununla birlikte, hasar eşiklerinin uygulanmasına yönelik çerçeve yalnızca ekipman özellikleri ve beklenen hasar hakkındaki sınırlı ayrıntıları dikkate alır. Eşik değer

yaklaşımındaki belirsizliği gidermek için DS ve LI kavramları önem taşımaktadır. DS yapı hasar durumu anlamına gelir.

- DS1: Yapıya veya yardımcı ekipmana hafif hasar.
- DS2: Yoğun veya yıkıcı hasar, yapının tamamen çökmesi, bunu yoğun bir muhafaza kaybı izler.
- LI: muhafaza kaybı anlamına gelir. Hollanda'da risk değerlendirmesi üzerine kullanılan Mor kitap" ta (önerilene büyük ölçüde benzer bir yaklaşım izlenerek) üç kayıp yoğunluğu sınıfı (LI) tanımlanmıştır.
- LI1: "küçük kayıp", patlama dalgasının etkisinden 10 dakikadan fazla bir zaman aralığında kısmi envanter kaybı veya toplam envanter kaybı.
- LI2: 1 dakika ila 10 dakika arasındaki bir zaman aralığında toplam envanter kaybı olarak tanımlanan "yoğun kayıp".
- LI3: "Anlık" tam envanter kaybı olarak tanımlanan "felaket kaybı" (1 dakikadan kısa bir zaman aralığında tam kayıp).

Aşırı basınçtan kaynaklanan ekipmanın kaza sırası, yapı arızası, muhafaza kaybı ve tehlikeli maddelerin sızmasıdır. DS1, LI1 durumunda sonuçlanabilir ve DS2, LI2 ve LI3 durumlarında sonuçlanabilir. Böylece, aşırı basıncın neden olduğu hasar fenomeninin bir sınıflandırması yapılır, üç derecede sunulur:

- DS1LI1: Ekipmanın yapısında hafif hasar, ardından patlama dalgasının etkisinden 10 dakikadan fazla bir zaman aralığında kısmi envanter kaybı veya toplam envanter kaybı.
- DS2LI2: Yoğun veya yıkıcı hasar, yapının tamamen çökmesi, ardından patlama dalgasının etkisinden 1 ila 10 dakika arasındaki bir zaman aralığında toplam envanter kaybı.
- DS2LI3: Yoğun veya yıkıcı hasar, yapının tamamen çökmesi, ardından patlama dalgasının etkisinden 1 dakikadan daha kısa bir zaman aralığında tam kayıp.

Üç ekipman kategorisine ve hasar durumuna göre sınıflandırılan ekipman hasarını takip eden eskalasyon potansiyelinin analizi Çizelge 2.13' de verilmiştir.

Çizelge 2.13. Üç ekipman kategorisine ve hasar durumuna göre sınıflandırılan ekipman hasarını takip eden eskalasyon potansiyelinin analizi: beklenen ikincil senaryolar ve önem derecesi (Cozzani vd., 2006)

<i>Ekipman Kategorisi</i>						
<i>Hasar Durumu (DS)</i>	<i>Kayıp Yoğunluğu (Ll)</i>	<i>Ekipman Hasarı</i>	<i>Atmosferik</i>	<i>Basınçlı</i>	<i>Uzama</i>	<i>Yardımcı</i>
DS1	Ll1	Alev	Havuz yangını (ikincil)	Jet Yangını	Havuz yangını(ikincil)	Havuz yangını(ikincil), parlama yangını(ikincil)
		Toksik	Toksik Yayılım (İkincil)	Toksik Yayılım	Toksik Yayılım (İkincil)	Toksik Yayılım (İkincil)
DS2	Ll2	Alev	Havuz Yangını; parlama yangını, VCE	Jet Yangını; parlama yangını, VCE	Havuz Yangını; parlama yangını, VCE	Havuz yangını(ikincil), parlama yangını(ikincil)
		Toksik	Toksik Yayılım	Toksik Yayılım	Toksik Yayılım	Toksik Yayılım (İkincil)
DS3	Ll3	Alev	Havuz Yangını; parlama yangını, VC	BLEVE, Ateş Topu, Parlama Yangını; VCE	Havuz Yangını; parlama yangını VCE	Havuz yangını(ikincil), parlama yangını(ikincil)
		Toksik	Toksik Yayılım	Toksik Yayılım	Toksik Yayılım	Toksik Yayılım (İkincil)

Eşik yaklaşımı bir ön analiz olup, saha ve ekipman hakkında yüksek düzeyde ayrıntıya ihtiyaç duymaz ve yalnızca sıradan bir güvenlik raporu hazırlamak için gerekli olanla ilgili

sınırlı bir ek çalışma gerektirir (örneğin Seveso Direktiflerinin yükümlülükleri altındaki tesisler için gerekli olan: 96/82 / EC sayılı Direktif ve 2012/18 / EU Direktifi) .Hasar durumu ve kayıp yoğunluğu kavramları bize Çizelge 2.13’de görüldüğü gibi ekipmanların hasarı konusunda bilgi veren önemli iki kavramdır ve derecelerine göre ekipmanların nasıl hasar gördüğü özetlenmiştir. Bu nedenle değerlendirme, tesis ekipmanı ve yerleşimi ile ilgili sınırlı ayrıntıların mevcut olduğu erken tasarım aşamalarında da gerçekleştirilebilir. Bu bilgilere dayanarak eşik değerlerin doğru seçimi yapılırsa, sonuçların koruyucu olması muhtemeldir.

2.7. Eskalasyon İçin Güvenlik Mesafeleri

Domino etkilerinin önlenmesi ile ilgili çalışmalar, bariyer tipleri, mesafeler ve kendiliğinden güvenli tasarım üzerinedir (Cozzani vd., 2009). Muhtemel kaza senaryolarının fiziksel etkilerinin belirli bir hedefte ilgili hasara yol açmadığı minimum ayırma mesafesi “güvenlik mesafesi” olarak tanımlanır. Domino eskalasyonu durumunda, hedef tipik olarak bir ekipmandır ve referans hasar, ciddi ikincil sonuçlara yol açacak kadar büyük bir bütünlük kaybıdır. Atmosferik ve basınçlı ekipmanlar için yükseltme dizileri ancak yüksek enerjili birincil senaryolar gerçekleştiğinde mümkündür. Güvenlik mesafeleri ülkeden ülkeye büyük ölçüde değişir. Amerika Birleşik Devletleri (ABD) veya Avrupa Birliği (AB) ülkelerinde güvenlik mesafeleri, kimya endüstrisine ve işlenen yanıcı maddelerin miktarına bağlı olarak düzenlenmektedir. ABD ve İngiltere’de ise düzenlemeler alt bölümlere ayrılıp detaylandırıldığından ve güvenlik mesafeleri nispeten büyük olduğundan (300 m ila 1000 m), domino kazası meydana gelme olasılığı düşüktür. Çin’ de de domino kazası olasılığı düşüktür ve ülke sıkı bir düzenlemeye tabidir. Domino kaza simülasyonları, yanıcı maddelerin fizikokimyasal özelliklerine, işlenen miktara, depolama koşullarına ve işlemlerine bağlı olarak önemli ölçüde farklılık gösterir (Lee vd., 2019).

Çizelge 2.14’de Yükseltme etkilerini tetiklemesi muhtemel birincil senaryolar, ikincil senaryolar ve her senaryo için tanımlanan eskalasyon vektörleri ile güvenlik mesafeleri sunulmuştur.

Çizelge 2.14. Eskalasyon için güvenlik mesafeleri (Cozzani vd., 2007)

<i>Birincil senaryo</i>	<i>Eskalasyon vektörü</i>	<i>Beklenen İkincil Senaryo</i>	<i>Ekipman kategorisi</i>	<i>Eşik değeri</i>	<i>Güvenlik mesafesi</i>
Ateş topu	Termal radyasyon	Tank Yangını	Atmosferik	15 kW/m ²	Ateş topu yarıçapı
			Basınçlı	50 kW/m ²	0
Jet yangını	Termal radyasyon	Jet yangını, havuz yangını, BLEVE, toksik salım	Atmosferik	15 kW/m ²	Alev uzunluğu + 50 m
			Basınçlı	50 kW/m ²	Alev uzunluğu + 25 m
Havuz yangını	Termal radyasyon	Jet yangını, havuz yangını, BLEVE, toksik salım	Atmosferik	15 kW/m ²	Havuz sınırı + 50 m
			Basınçlı	50 kW/m ²	Havuz sınırı + 15 m
Buhar bulutu patlaması (VCE)	Aşırı basınç ($F \geq 5$; $M_f \geq 0,35$)	Yok	Atmosferik	22 kPa	$R = 1,75$ m
			Basınçlı	16 kPa	$R = 2,10$ m
BLEVE	Aşırı basınç	Yok	Atmosferik	22 kPa	$R = 1,80$ m
			Basınçlı	16 kPa	$R = 2,00$ m
	Parça projeksiyonu		Herhangi biri	Tanımsız	Tanımsız

Yapılan analizler, ciddi hasar durumlarının her zaman büyük kayıp yoğunluklarına ve dolayısıyla ciddi ikincil senaryolara yol açmasına rağmen, belirli çalışma koşulları ve maddi tehlikeler mevcutsa, küçük yapısal hasarların da ciddi ikincil sonuçları tetikleyebileceğini kanıtlamıştır. Örneğin, basınçlı ekipmanda uçucu toksik maddeler söz konusudur, bu da nispeten ılımlı sızıntı çaplarında toksik dağılımlar nedeniyle ciddi ikincil senaryolara neden olabilir (örneğin, bağlantı nozullarının arızalanması). Bu nedenle, eskalasyon tehlikesinin

analizinde yapısal hasar için genel eşikler yerine spesifik eskalasyon eşikleri kullanılmalıdır. Çizelge 2.14’de çeşitli kaza senaryoları için elde edilen hasar ve eskalasyon için eşik değerler verilmiştir. Eşikler, literatür verilerinin analizinden ve çok sayıda temsili vaka çalışması temelinde doğrulanan basitleştirilmiş yapısal modellerden elde edilmiştir.

(Alileche vd., 2015). Domino etkisi eşik mesafelerinin farklı AB üye devletlerine göre değerlendirilmesi ise Çizelge 2.15’ de sunulmuştur.

Çizelge 2.15. Sekiz AB üye devletindeki domino eşik değerlerinin özeti
(Alileche vd., 2015)

<i>Eşik Değerleri</i>			
	<i>Aşırı Basınç Etkileri</i>	<i>Radyasyon Etkileri</i>	<i>Mekanik Etkiler</i>
Flander, Belçika	Eşik 1:100 mbar(depoların tamamen çökmesi),Eşik 2:160 mbar(basınçlı yapıların hasar görmesi),Eşik 3:450 mbar(basınçlı yapıların tamamen çökmesi)	Eşik 1:8 kW/m ² (korumasız yükleme ögesi),Eşik 2: 32 kW/m ² (korumalı basınç depolama),Eşik 3:8 kw/m ² (korumasız yükleme bölgesi)	Eşik 1:Rüzgar türbininin kanadının kopması,Eşik 2:Rüzgar Türbini, elektrik hatları gibi dış tehlike tesisatlarının yüksekliği,İsteğe bağlı: Eşik 3 ile parça etkileri(Parçaların %80 ‘i)
Wallonia,Belçika	Eşik 1:160 mbar	Eşik 1: 8 kW/m ² (korumasız yükleme ögesi),Eşik 2:32kW/m ² (korumalı atmosferik depolama),Eşik 3: 44 kW/m ² (korumalı basınçlı depolama	Eşik 1:Referans değeri yok
Fransa	Eşik 1: 200 mbar	Eşik 1: 8 kW/m ²	Sadece kuruluş içinde komşu ekipmanlar için (duruma göre) Eşik yok:

Çizelge 2.15. (devam) Sekiz AB üye devletindeki domino eşik değerlerinin özeti
(Alileche vd., 2015)

<i>Eşik Değerleri</i>			
	<i>Aşırı Basınç Etkileri</i>	<i>Radyasyon Etkileri</i>	<i>Mekanik Etkiler</i>
Yunanistan	Eşik 1: 700 mbar (UVCE için)	Eşik 1: 37,5 kW/m ² Havuz yarıçapı (havuz yangını için), ateş topu yarıçapı (BLEVE için), alev in uzunluğu (jet yangını için)	Referans değeri yok
İtalya	Eşik 1: 300 mbar	Eşik 1: 12,5 kW/m ² (sabit radyasyon için), Eşik 2: 200–800 m (ateş topu için)	Eşik 1: 200–800 m
Polonya	Eşik 1: 1140 mbar (yapının kısmen çökmesi), Eşik 2: 1300 mbar (ciddi hasarlar)	Eşik 1: 37,5 kW/m ²	Eşik yok: belirli hesaplamalara dayalı
Katalonya, İspanya	Eşik 1: 160 mbar	Eşik 1: 8 kW/m ²	Eşik 1: parçaların maksimum erişimi
Hollanda	Eşik 1: 100 mbar (depolama binaları), Eşik 2: 200 mbar (atmosferik depolama kabı), Eşik 3: 300 mbar (atmosferik çift veya tam muhafazalı depolama kabı), Eşik 5: 450 mbar (basınçlı depolama kabı)	Eşik 1: 8 kW/m ² (korumasız yükleme ögesi), Eşik 2: 10 kW/m ² (binalar ve diğer savunmasız depolama tankları), Eşik 3: 35–37,5 kW/m ² (korumalı yükleme ögesi)	Eşik 1: Bir parça tarafından vurulma şansı % 0,5'tir
Birleşik Krallık, Büyük Britanya (İngiltere, İskoçya, Galler)	Eşik 1: 70 mbar	Eşik 1: Havuz yangını, ateş topu ve jet yangını için, eşik 1: 500 (kW) ^{4/3} .s Flaş ateşi için, eşik 1: 1/2 LFL Eşik 2: 0,3×10 ⁻⁶ bireysel risk LFL tarafından tanımlanan parlama yangın aralığı içinde olma olasılığı	Eşik 1: Gerçek olaylardan parça yolculuğunun en uzak kapsamı (genellikle uygulanmaz)

Konuyla ilgili güncel bilgileri toplamak amacıyla, on AB Üye Devleti'nde bir anket gerçekleştirilmiştir. Anket, domino senaryolarına yol açan eskalasyon için güvenlik mesafelerinin değerlendirilmesinde kullanılan eşik değerlere ve Üye Devletlerde kabul edilen domino etkisinin tanımına odaklanmış ve Seveso Direktifinin uygulanması için güvenlik uzmanlarına veya yetkili makamların üyelerine hitap etmiştir. Bu çalışmada yapılan anket, çoğu önceden tanımlanmış eşik değerlerine veya güvenlik mesafelerine dayansa bile, her Üye Devletin domino etkileriyle başa çıkmak için kendi yaklaşımına sahip olduğunu kanıtlamıştır. Çizelge 2.15'de domino değerlendirmesinde eşik değerleri uygulayan ankete dahil edilen sekiz AB Üye Devleti için toplanan eşik değerler bildirilmiştir: Belçika, Fransa, Yunanistan, İtalya, Polonya, İspanya, Hollanda ve Birleşik Krallık (Alileche vd., 2015). Domino değerlendirmesinde eşik değerleri uygulayan ankete dahil edilen sekiz AB Üye Devleti için toplanan eşik değerler Çizelge 2.16' da verilmiştir.

Çizelge 2.16. Domino değerlendirmesinde eşik değerleri uygulayan ankete dahil edilen sekiz AB Üye Devleti için toplanan eşik değerleri (Alileche vd., 2015).

Ülke	Değerlendirme çerçevesi	Değerlendirme yöntemleri ve yazılım araçları	Eşik mesafelerinin değerlendirilmesi	Eşik Değerler İle İlgili Mevzuatlar
Flanders, Belçika	Seveso II Direktifi tarafından istenen güvenlik raporları.	Sertifikalı güvenlik uzmanları tarafından farklı yöntem ve programlar kullanılarak Kantitatif Risk Analizi.	Aşırı basınç: VCE: TNO-Çoklu Enerji. BLEVE, Basıncılı kap patlamaları: Baker Strehlow modelleri.	Domino etkileri için eşik değerler mevzuatta değil, güvenlik raporları için kılavuzlarda açıklanmıştır (AMINAL direktifleri).
	Bölgesel mevzuat: 05/04/1995 tarihli kararname (DABM) ile gerekli olan çevre güvenliği raporları (OVR).	Ticari programlar: EFFECTS/RISK CURVES; PHAST RISK, SAFE II	Radyasyon: Ateş topu: TNO, SEÇ, SFPE ve Martinsen ve Marx modeli. Havuz yangını: PHAST, POOLFIRE6, TNO modeli, SAVE II modeli ve Mudan ve Croce modeli. Jet yangını: Chamberlain modeli, Cook modeli, Johnson modeli.	
		Sertifikalı güvenlik uzmanları tarafından geliştirilen ticari olmayan programlar.	Füze/şarapnel: Domino etkileri hesaplamasına dahil değildir.	
Wallonia, Belçika	Seveso II Direktifi tarafından istenen güvenlik raporları.	PHAST; EFFECTS; DOMINOXL; Mor kitap; ARAMIS.	Aşırı basınç: Belirli bir model gerekmez.	Bölgesel direktifler Vade-Mecum güvenlik çalışmalarının, tehlike tanımlama bildirimlerinin ve güvenlik raporlarının içeriği ve sunumuna ilişkin teknik özellikler (Valon bölgesi bölümü) Ocak 2005.
	Bölgesel mevzuat: 04/07/2012 tarihli Valon Hükümeti Kararnamesi ile gerekli kılınan güvenlik çalışmaları (ES) ve tehlike tanımlama raporları (NID).		Radyasyon: Belirli bir model gerekmez.	
			Füze: Belirli bir model gerekmez.	

Çizelge 2.16. (devam) Domino değerlendirmesinde eşik değerleri uygulayan ankete dahil edilen sekiz AB Üye Devleti için toplanan eşik değerleri (Alileche vd., 2015).

Ülke	Değerlendirme çerçevesi	Değerlendirme yöntemleri ve yazılım araçları	Eşik mesafelerinin değerlendirilmesi	Eşik Değerler İle İlgili Mevzuatlar
Katalonya, İspanya	Seveso II Direktifi tarafından istenen güvenlik raporları.	EFFECTS; ALOHA; RISKCURVES; Mor kitap; Referans El Kitabı Bevi Risk Değerlendirmeleri (Bevi 3.2).		16 Temmuz 1999 tarihli Kraliyet Kararnamesi 1254/1999 (20 Temmuz 1999 tarihli B. O. E.).
			Aşırı basınç: TNT Eşdeğerlik yöntemi, Çoklu enerji yöntemi, Sarı kitap, Mor kitap.	19 Eylül 2003 tarih ve 1196/2003 sayılı Kraliyet Kararnamesi (9 Ekim 2003 tarihli B.O.E.) tarafından onaylanan, tehlikeli maddeleri içeren ciddi kazaların kontrolü ve planlanması için Temel Sivil Koruma Kılavuzları.
			Radyasyon: Yeşil kitap, Sarı kitap, Bevi 3.2.	31 Temmuz tarihli ve 12/2008 sayılı Endüstriyel Güvenlik Yasası (DOGC 5191, 8 Ağustos 2008).
			Füze/şarapnel: Belirli bir model gerekmez.	Talimat 11/2010 SIE (Generalitat de Catalunya, 29 Ekim 2010).

Çizelge 2.16. (devam) Domino değerlendirmesinde eşik değerleri uygulayan ankete dahil edilen sekiz AB Üye Devleti için toplanan eşik değerleri (Alileche vd., 2015).

Ülke	Değerlendirme çerçevesi	Değerlendirme yöntemleri ve yazılım araçları	Eşik mesafelerinin değerlendirilmesi	Eşik Değerler İle İlgili Mevzuatlar
Fransa	Seveso II Direktifi tarafından istenen güvenlik raporları.	Rehberlik ve tavsiye 10 Mayıs 2010 tarihli Genelge ile verilmiştir.	Aşırı basınç: VCE:Çoklu Enerji (Sarı kitap), CAM veya Baker Strehlow modelleri. BLEVE:Shield modeli (TRC) (doluluk oranı % 30 ila% 85 arasında, aksi takdirde belirli bir model gerekmez).	Fransız mevzuatı (tehlike çalışmalarında meydana gelme olasılığının, kinetiğin, etkilerin yoğunluğunun ve potansiyel kazaların sonuçlarının ciddiyetinin değerlendirilmesi ile ilgili 29 Eylül 2005 tarihli Bakanlık kararnamesi).
		Belirli bir değerlendirme yöntemi gerekmez.	Radyasyon: ateş topu: Shield modeli (TRC) (doluluk oranı % 30 ila% 85 arasında, aksi takdirde belirli bir model gerekmez).	
			Füze: Belirli bir model gerekmez.	
Yunanistan	Seveso-II Direktifinin gerektirdiği güvenlik raporları. EFFECTS; ALOHA; PHAST; SOCRATES.		Aşırı basınç: TNT eşdeğerlik, Çoklu Enerji yöntemi, Sarı kitap, Mor kitap. Radyasyon: Yeşil kitap, Sarı kitap.	Hiçbiri (mevzuatta tanımlanmamıştır).
			Füze: Belirli bir model gerekmez.	

Çizelge 2.16. (devam) Domino değerlendirmesinde eşik değerleri uygulayan ankete dahil edilen sekiz AB Üye Devleti için toplanan eşik değerleri (Alileche vd., 2015).

Ülke	Değerlendirme çerçevesi	Değerlendirme yöntemleri ve yazılım araçları	Eşik mesafelerinin değerlendirilmesi	Eşik Değerler İle İlgili Mevzuatlar
İtalya	Seveso-II Direktifinin (D.Lgs.334/99) İtalyan uygulamasının gerektirdiği güvenlik raporları.	DPCM 31/3/1989'da verilen genel kriterler.	Aşırı basınç: Belirli bir model gerekmez.	Bakanlık kararnamesi 09/05/2001 (Büyük kaza riski taşıyan kuruluşlardan etkilenen alanlar için şehir ve bölge planlaması alanında asgari güvenlik gereklilikleri).
		Belirli bir değerlendirme yöntemi gerekmez.	Radyasyon: Belirli bir model gerekmez.	
			Füze: Belirli bir model gerekmez.	
Polonya	Seveso II Direktifi tarafından istenen güvenlik raporları.	Belirli bir değerlendirme yöntemi gerekmez.	Aşırı basınç: Belirli bir model gerekmez.	Hiçbiri (mevzuatta tanımlanmamıştır)
			Radyasyon: Belirli bir model gerekmez.	
			Füze: Belirli bir model gerekmez.	
Hollanda	Seveso II Direktifi tarafından istenen güvenlik raporları.	Referans El Kitabı Bevi Risk Değerlendirmeleri; enstrüman domino efektleri; tehlikeli maddelerin yayın serisi (Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen, PGS).	Aşırı basınç: TNT eşdeğerlik yöntemi veya çoklu enerji modeli (TNO) Sarı Kitap, AASTP-1.	Hollanda mevzuatı (Konut, Fiziksel Planlama ve Çevre Bakanlığı: BRZO 1999 ve BEVI 27-04-2004).
	Bevi (Besluit externe veiligheid inrichtingen) kararnamesi ile gerekli kılınan kantitatif risk Analizi raporları.		Radyasyon: Yeşil Kitap, Sarı Kitap, AASTP-1.	
			SAFETI PHAST.	

Çizelge 2.16. (devam) Domino değerlendirmesinde eşik değerleri uygulayan ankete dahil edilen sekiz AB Üye Devleti için toplanan eşik değerleri (Alileche vd., 2015).

Ülke	Değerlendirme çerçevesi	Değerlendirme yöntemleri ve yazılım araçları	Eşik mesafelerinin değerlendirilmesi	Eşik Değerler İle İlgili Mevzuatlar
Birleşik Krallık, Büyük Britanya	COMAH (Seveso) bildirimleri.	Arazi kullanım planlaması risk değerlendirmeleri. Ya da:	Aşırı basınç: VCE için TNO çoklu enerji yöntemi ve katı faz patlayıcılar için TNT eşdeğerlik yöntemi.	Hiçbiri (mevzuatta tanımlanmamıştır). Arazi kullanım planlama tavsiyesi sağlamak amacıyla HSE tarafından değerlendirme politikası olarak belirlenmiştir.
		1) Nicel risk değerlendirmeleri (belirli bir tehlikeli doz alma riski)	Termal radyasyon: Havuz yangını, ateş topu ve jet yangını için HSE kuruluş içi modelleri.	
	Arazi kullanım planlaması – tehlikeli maddelerin onayı.	2) Koruma kavramı değerlendirmeleri (belirli bir zarar seviyesine kadar uzanır, genellikle savunmasız bir nüfus için ölüm eşiği)	Parlama yangını: DRIFT dağılım modeli.	
			Zehirli gaz: DRIFT kullanılarak yoğun veya pasif gaz dispersiyonu. Pestisit depo yangınları için SEÇ kurum içi modelini kullanarak depo yangını.	
			Oksijen zenginleştirme: DRIFT kullanarak dağılım.	

Seveso Direktifleri, AB Üye Devletlerinde uygulanmasına ve domino etkilerini tetikleyebilecek alanların tanımlanmasına yönelik yöntem ve araçlara dayandırılmasına rağmen, bu görevi yerine getirmek için genel kabul görmüş bir prosedür mevcut değildir. Üye Devlete bağlı olarak niteliksel, nicel veya yarı nicel yaklaşımlar kullanılmaktadır. 2012 yılında, AK Ortak Araştırma Merkezi ve Norveç Sivil Koruma Müdürlüğü, Avrupa'da domino etkisine yaklaşım ile ilgili bir rapor yayınlamıştır. Raporda, tüm ülkelerin "domino tesislerini" tanımlamaları gereği belirtilmiştir (sadece 14 ülke bu tür faaliyetleri

tamamladığını bildirmiştir). Ayrıca, AB'nin büyük çoğunluğunun domino etkilerinin değerlendirilmesine adanmış özel bir aracı (kılavuzlar, kontrol listeleri, modeller, yazılımlar) yoktur. Olası domino etkilerinin değerlendirilmesi ya güvenlik raporu değerlendirmesinin bir parçası olarak ya da denetim makamlarının hiç dahil olmadığı ayrı bir faaliyet olarak gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, ülkelerin büyük çoğunluğunda, Seveso dışı kuruluşlar, domino senaryolarına yol açan eskalasyonun potansiyel hedefleri olarak komşu Seveso kuruluşlarının denetimlerine hiçbir şekilde dahil edilmemektedir (Alilehe vd., 2015).

Hollanda'da basılan “renkli kitaplar”, domino etkilerinin nicelleştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Çeşitli yönetmelikler ve kılavuzlar kullanılmaktadır. Bu standardizasyonun bir kısmı, Afetlerin Önlenmesi Komitesi (CPR, Commissie Preventie van Rampen) kılavuzlarında kurumsallaştırılmıştır. Hollanda sistemlerindeki birincil standartlar, *Sarı Kitap* (CPR14E) ve *Yeşil Kitap* (CPR16E)’ dir. *Mor Kitap* olarak adlandırılan bir de risk değerlendirmesi için genel bir standardizasyon el kitabı geliştirilmiştir. Bu yeni kılavuz, güvenilir bir değerlendirme elde etmek için ayrı risk modellerinin nasıl birleştirilmesi gerektiğini açıklamaktadır (Bottelberghs, 2000).

2.8. Domino Etkilerinin Değerlendirilmesinde Kullanılan Araçlar

Sanayi tesislerinde, domino etkilerinin değerlendirilmesi ve/veya analizinden kaynaklanan sorunu ele almak için birkaç yöntem ve yazılım araçları geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılım araçları;

- *MAXCRED (Maximum Credible Crash) Yazılımı*: Kimyasal kuruluşlarda toksik yayılımlar, patlamalar ve yangınları içeren kazaları tahmin etmek ve önlemek için, Olay Ağacı Analizi ve Hata Ağacı Analizi üzerine oluşturulmuştur. İkinci versiyon MAXCRED-II, herhangi bir kimyasal proses sahasındaki kazaları kantitatif olarak simüle edebilmektedir (Khan ve Abbasi, 1996).
- *DOMIFECT (Domino Effect) Yazılımı*: Analiz, deterministik modellere dayanmaktadır ve olasılık analizi içermektedir. Sistematik bir domino yönetimi sağlamaktadır. Yazılım, PC tabanlı C++ ile kodlanmış nesne yönelimli mimariye sahiptir. Data, Kaza, Senaryo, Analiz, Domino, Grafik ve Kullanıcı Arayüzü olmak üzere altı ana modülden oluşmaktadır (Khan ve Abbasi, 1996).

- *ARIPAR Yazılımı*: Yazılım çeşitli fabrikalardan gelen riski değerlendirmeye çalışır. Sabit kurulumu nedeniyle yerel, bireysel ve sosyal riskin hesaplanması; tehlikeli maddelerin taşınması için kullanılmaktadır. Yazılım, verilerin karşılık gelen güvenlik açığını değerlendirir ve probit korelasyonlarını kullanır (Spadoni vd., 2003).
- *ATLANTIDE Yazılımı*: Tesadüfi olayların sonuçlarını değerlendirmek için depolama alanlarında kullanılır. LPG depolama ve işleme için uygundur (maddeler/gaz dağılımı ve BLEVE ve ateş topu gibi diğer olaylar). İlk kaza olayından itibaren olası tüm senaryoları hava durumunu dikkate alarak değerlendirmek için ağaçlar, fabrikaya özgü farklı sürümler, mod ve diğer özellikler kullanılır (Cozzani vd., 2007).
- *DOMINOXL Yazılımı*: Olası tüm domino etkilerini sıralamayı amaçlamaktadır. Dahili ve harici ardışık kazaları inceler. Bir grup kimyasaldaki en tehlikeli ekipman bölgeleri, potansiyel tehlike başına birincil domino etkilerinin sayısı toplanarak belirlenir. Benzer şekilde, en hassas ekipman bölgeleri veya boru hatları da toplanarak belirlenir. Bu hesaplama bir güvenlik açığı faktörüne yol açar (Delvosalle vd., 2002).
- *GEOSIRIS Yazılımı*: Yazılım, tesadüfi olayların sırasını tanımlar. Olayların etki mesafelerini belirleyerek, karar vermede yardım sağlar; etkili bir müdahale gerçekleştirmek için tepki süresinin hesaplanmasında kullanılır (Tixier vd., 2002).
- *MINIEFFECT Yazılımı*: Etkileri en aza indirmek için kimyasal tesislerin konumunu ve en uygun konumlandırmayı belirlemeye izin verir. Ardışık olayların belirlenmesinde doğrusal olmayan programlama yaklaşımı kullanır. Yazılım, kartezyen koordinatlara sahip her tesis için domino etkilerinin üç ana faktörünü hesaba katar: i) ısı yükü, ii) aşırı basınç ve iii) parça etkisi (Lee vd., 2005).
- *BREZEE (Breeze Incident Analyst)*: Tank yangınlarında termal radyasyon maruziyeti ve sıcaklık yükselmesi, düşey ve dikey jet yangını ve BLEVE modelleri ile toksik yayılım modelleri oluşturulabilmektedir. Kimyasallarla ilgili kendi veri tabanı bulunur. Karışımlar için kullanılabilir. Yazılım, üç boyutlu analist ile görüntü sağlamaktadır. Tek noktada modelleme yapılmaktadır (Çetinyokuş, 2017).
- *EFFECTS (GEXCON)*: Kaza senaryosunun fiziksel etkilerinin tahminini ve hesaplanmasını sağlayan bir modelleme aracıdır. 50'den fazla kaçak, yangın, patlama, yayılım, hasar modellerini içermektedir. Kapsamlı kimyasal madde veri tabanına sahiptir ve karışımlar için uygulanabilmektedir. Birden fazla noktada modelleme yapılabilmektedir (Çetinyokuş, 2017).

- *PHAST (Process Hazard Analysis Software)*: Yanıcı maddelerin yangın, patlama ve zehirli maddelerin tehlikelerinin analizi için kullanılabilen, ilgili tehlike durumlarına istinaden kapsamlı modelleme imkânları sunan, saf madde ve karışımlara ait geniş kütüphaneye sahip bir yazılımdır (Mukhim vd., 2017).
- *ALOHA Yazılımı*: Windows ve Macintosh işletim sistemleri için geliştirilmiş bağımsız bir yazılım uygulamasıdır. Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi'nin (NOAA) ve Çevre Koruma Ajansı'nın (EPA) birlikte yaptıkları çalışmalar sayesinde geliştirilmiştir. ALOHA havayla taşınan kimyasallarla sınırlı olduğundan, bir kimyasalın muhafazadan salınma ve buharlaşma hızını değerlendirmek için modeller içerir. ALOHA, veri girişi ve sonuçların görüntülenmesi için bir grafik arayüz kullanır. Zehirli buharlara, yanıcı bir atmosfere, bir buhar bulutu patlamasından kaynaklanan aşırı basınç veya bir yangından kaynaklanan termal radyasyona maruz kalma olasılığının olduğu alan, grafiksel olarak tehdit bölgeleri ile gösterilir. Tehdit bölgeleri, bir salım başlamasından bir süre sonra, yer seviyesinde maruziyetin kullanıcı tarafından belirlenen endişe düzeyini aştığı alanı temsil eder. Tehdit bölgesindeki tüm noktalar, salım takip eden bir zamanda endişe düzeyini aşan geçici bir maruziyet yaşar; zaman içinde tahmin edilen en yüksek maruziyetin bir kayıdır. ALOHA' da modellenen tehlike kategorileri Çizelge 2.17' de verilmiştir.

Çizelge 2.17. ALOHA'da modellenen tehlike kategorileri

<i>Senaryo</i>	<i>Doğrudan Kaynak</i>	<i>Tank</i>	<i>Kimyasal Birikinti</i>	<i>Gaz Boru Hattı</i>
<i>Buhar Bulutu</i>	Zehirli Buharlar	Zehirli Buharlar	Zehirli Buharlar	Zehirli Buharlar
<i>Buhar Bulutu (Parlama Yangını)</i>	Alevlenebilir Alan	Alevlenebilir Alan	Alevlenebilir Alan	Alevlenebilir Alan
<i>Buhar Bulutu (Patlama)</i>	Aşırı Basınç	Aşırı Basınç	Aşırı Basınç	Aşırı Basınç
<i>Havuz Yangını</i>	-	Termal Radyasyon	Termal Radyasyon	-
<i>Kaynayan Sıvı-Genleşen Buhar Patlaması (Ateş Topu) (BLEVE)</i>	-	Termal Radyasyon	-	-
<i>Jet Yangını</i>	-	Termal Radyasyon	-	Termal Radyasyon

Yazılımda doğrudan, tank, birikinti ve gaz boru hattı olmak üzere dört farklı kaynak üzerinden model çalışması yürütülebilmektedir. Havuz, parlama ve jet yangını, BLEVE, buhar bulutu patlama senaryoları çalışılabilmektedir.

2.8.1. Kaynak gücü modelleri

Bir kimyasalın havada yayılma hızı, zehirli veya yanıcı bir bulutun boyutu ve süresi için kritik öneme sahiptir. ALOHA' nın, bir kimyasalın kapalı ortamdan salınma ve atmosfere girme hızını tahmin etmek için kullandığı modellere kaynak gücü modelleri denir.

ALOHA, dört genel kimyasal salım kaynağı için kaynak gücünü tahmin edebilir:

- *Doğrudan*: Kimyasal buharların tek bir noktadan havaya anlık veya sürekli olarak salınması.
- *Birikinti*: Kaynayan veya kaynayan bir sıvı içeren sabit alanlı bir sıvı birikintisi.
- *Tank*: Tek delikli veya sızdıran valfli, zemin seviyesinde silindirik veya küresel bir tank. Tank sıvı, basınçlı gaz veya basınç altında sıvılaştırılmış gaz içerebilir. Tank içeriği doğrudan atmosfere kaçabilir veya önce yayılan bir buharlaşma havuzu oluşturabilir.
- *Gaz boru hattı*: Çok büyük bir rezervuara bağlı veya herhangi bir depolama tankına bağlı olmayan gaz içeren basınçlı boru.

ALOHA, herhangi bir kaynağın süresini bir saatle sınırlar ve ALOHA'da izin verilen en kısa kaynak süresi bir dakikadır (bu, ALOHA'da anlık salım olarak adlandırılır). Çoğu durumda, kaynak gücü salım süresi boyunca sürekli olarak değişir. ALOHA, bir dizi çok kısa sabit durum salımıyla sürekli değişken salımlara yaklaşıp. Zamanla değişen yayınları modellemek için 150'ye kadar zaman adımı kullanılır. Bu zaman adımları, dağılım modelleriyle bağlantılı beş veya daha az sabit durum zaman adımına indirgenir.

Doğrudan kaynak seçeneği, kullanıcının uzaydaki bir noktadan havaya verilen kimyasal buhar miktarını doğrudan belirlemesine imkan verir. Kullanıcı anlık bir salım veya sonlu süreli sabit durum salımı belirleyebilir. Havadan daha yoğun olan ve yerçekiminden etkilenen gazlarla veya nötr yüzer gibi davranan gazlarla kullanılabilir. ALOHA, nötr yüzer gibi davranan gazlar için yer seviyesinin üzerinde bir salıma izin verir.

Kimyasal birikinti senaryosu ile sabit bir alan birikintisinden uçucu kimyasalların buharlaşması modellenir. Su veya uçucu olmayan bir çözücü ile karıştırılmış toksik bir kimyasal içeren sınırlı sayıda karışım modellenir. Bu durumlarda sadece toksik bileşenin buharlaşması ve taşınması dikkate alınır. ALOHA, birikintinin kaynama noktasına yeterince yakın olup olmadığına bağlı olarak buharlaşma oranını bulmak için iki yöntemden birini kullanır: *Brighton'ın formülasyonu* (Brighton 1985), ortalama birikinti sıcaklığı kaynama noktasının yeterince altında olduğunda kullanılır ve birikinti kaynama noktasına yaklaştığında ise bir *enerji dengesi yöntemi* kullanılır. *Kaynamayan birikintilerin* buharlaşma hızı, öncelikle rüzgar hızı, birikintinin alanı ve kimyasalın buhar basıncı veya karışımların söz konusu olduğu durumlarda kısmi basıncı tarafından yönetilir. ALOHA,

karışımları içeren durumlarda sıcaklık ve bileşimdeki değişiklikleri açıklar. *Kaynayan birikintiler* için sıcaklık kaynama noktasında tutulur ve buharlaşma oranı enerji dengesi ile tanımlanır. Türbülanslı difüzyonun, buharlaşmış malzemeyi birikintisinden uzaklaştıran birincil mekanizma olması beklenmektedir. Sıcaklık ve bileşimin birikinti boyunca uzamsal olarak tekdüze olduğu varsayılır. Buharlaşma, materyali uzaklaştırdıkça, birikintinin inceldiği varsayılır, ancak yarıçapı sabit alınır. ALOHA, çeşitli katı yüzeylere ve birikinti kütlelerine uçucu kimyasalların dökülmesini içerir. Dökülen sıvının toprağa nüfuz etmediğini, batmadığını veya suda çözünmediğini varsayar. *Tank*; ALOHA, bir tankın patlaması sonucunda havaya salınan madde miktarını tahmin edebilir. ALOHA, basınçlı gazlar, ortam basıncındaki sıvılar, soğutma ile sıvılaştırılmış gazlar ve basınç altında sıvılaştırılmış gazlar içeren tankları analiz eder. ALOHA, yalnızca tek bir kimyasal içeren tanklarla ilgilenir. Hava veya inert bir gaz gibi ikinci bir madde ile basınçlandırılmış tanklarla ilgilenmez. Malzeme tanktan salındıkça, ALOHA tankların içindeki koşulları yeniden değerlendirir ve gerektiğinde salınma oranı hesaplamasını değiştirebilir. Bir kimyasalın atmosfere girme hızı, kimyasalın tanktan salınma hızıyla sınırlıdır, ancak tamamen belirlenmemiştir. Tanktan salınma oranı salınan faza (sıvı, gaz veya karışık faz), etki basıncına ve kırılmanın doğasına bağlıdır. İki tür kırılma modellenilebilir: tank duvarındaki bir delik veya kısa bir boru veya vanadan bir boşalma. Bir delikten salınma modelleri, bir gaz veya kaynamayan bir sıvı söz konusu olduğunda her iki tür kırılma için de kullanılır; kısa borular için makul fazla tahminler sağlar. Bununla birlikte, aşırı ısıtılmış sıvılar ve iki fazlı sıvılar için, bir delikten ve kısa borudan boşalma hızı önemli ölçüde farklılık gösterebilir, dolayısıyla boşalma hızı modeli bu iki kırılma tipini birbirinden ayırır.

Hava Dağılım Modelleri, uçucu kimyasalların kazara salınması, salınma noktasından uzakta yaşam ve sağlık için bir tehdit oluşturabilir ve zehirli veya yanıcı gaz bulutlarıyla ilişkili tehlike bölgelerini tahmin etmek için hava dağılım modellerini gerektirir. ALOHA, maruziyetin konsantrasyonu ve süresi hakkında bilgi sağlar, ancak yaralanma olasılığını çözmez. Yanıcı kimyasal buhar bulutları tutuşabilir ve yanmanın bulutta yayılma hızına bağlı olarak zararlı şok dalgaları veya ani yangınlar oluşturabilir. Gauss modeli yerçekiminden etkilenmeyen kirleticiler için kullanılırken, ağır gaz modeli yoğunlukları ortam havasından daha büyük olan ve yerçekiminden etkilenen kirletici bulutlar için kullanılır. Bu modeller, rüzgâr hızındaki ve atmosferik türbülansla dikey eğimleri hesaba katabilir, ancak topografya veya zamanla değişen rüzgarları hesaba katamaz. Tehdit Bölgesi; ALOHA'nın tehdit bölgesi, herhangi bir zamanda yer seviyesindeki gaz konsantrasyonunun

endiŖe seviyesini aŖtıęı alan olarak tanımlanır. Bu, ALOHA tarafından kazara salındıktan sonra kirletici konsantrasyonunun zamana ve konuma göre nasıl deęiŖtięini tahmin etmek için kullanılan hava dağılım modellerine dayanmaktadır. Tehdit bölgesi, acil durum müdahale ekipleri ve karar vericiler tarafından, salımdan etkilenebilecek alanları hızlı bir Ŗekilde belirlemek ve halk sağlığını ve güvenliğini korumak için uygun önlemleri almada kullanılabilir (Jones vd., 2013).



3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür araştırması, geçmiş domino kaza analizleri, domino kazaları için güvenlik mesafelerinin belirlenmesi ve domino kazalarının modellenmesi olmak üzere üç başlık üzerinden incelenmiştir.

3.1. Geçmiş Domino Kaza Analizlerine Yönelik Çalışmalar

Swuste vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada, 2018 döneminde domino etkileri üzerine yapılan araştırmaların sonuçları ve bu kaza süreçlerinin başlıca belirleyicileri tartışılmıştır. Geçmiş kazalar araştırılırken; hükümet ve araştırma kurumlarının yayınladığı rapolar kazaların daha iyi anlaşılması için büyük önem taşımaktadır. Geçmiş kazaların veritabanları bağlam anlamında eksiklik olduğu için güvenilir bulunmamaktadır. Yapılan araştırmalara bakıldığında senaryolar ve merkezi olayların tesise özgü olması veritabanlarında eksiklik meydana getirmiştir. Kaza analizlerinde çoğunlukla görselleştirmek için Çift Papyon Yöntemi; risk hesaplamalarında QRA, modelleme amacıyla ise Minimum Evrim Süreci, Domino Evrim Grafiği, Markov Zincirleme Yaklaşımı, Bayes Ağı, Domino Kaza Analizi; domino etkilerinin sonuçlarının hesaplanması için ise DOMIFFFECT, DOMPreyplanning yazılımları kullanılmıştır. İncelenen makalelerin birçoğu risk analizi üzerine yönelmiştir. Risk yönetimi, küme güvenliği, karar verme, engel yönünde ve çoğunlukla da domino olasılıkları hesaplanması yönünde incelemeler gerçekleştirilmiştir. QRA analizi yöntemi ile domino kazalarının etkileri göz ardı edilememekte ancak bu analizde engel etkileri dahil edilememektedir. Yapılan analizler sonucunda bitişik tesislerde güvenlik mesafesi olmadığı ve domino kazalarının birçoğunun bu sebep ile gerçekleştiği tespit edilmiştir. Domino kazalarının daha iyi anlaşılabilmesi için senaryo kapsamında tesis yöneticileri ve operasyonel personel ile iletişim kurulması gerektiği sonucuna varılmıştır. Orta ve Güneydoğu Asya 'da meydana gelen büyük kazalar, domino kazaları üzerine yapılan çalışmaları arttırmıştır. Çin 'deki nüfus yoğunluğu ve endüstriyel tesis yoğunluğu bu ülkede araştırma sayısını artıran olaylardan biridir (Swuste vd., 2019).

Wang vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, vinil klorür sızıntısı ile başlayan domino etkisi yaratan kazanın kök nedenleri araştırılmıştır. Çalışmada, bazı yazılımlar ve kaza raporları kullanılmıştır. Kaza analizi ve araştırmasında, proses güvenliği yönetimi, kaza nedenselliğini araştırmak için Olay sırası ve Balık kılçığı grafik diyagramı gibi teknikler

kullanılmıştır. 24Model ise bu tehlikeli kimyasal kazanın analizi için bir araç olarak seçilmiştir(Burada "2", bireysel düzeyde ve örgütsel düzeyde nedenler anlamına gelir; "4", güvenli olmayan eylemler ve güvensiz koşullar, alışılmış davranışlardaki kusurlar, güvenlik yönetim sistemindeki eksiklikler, güvenlik kültüründeki zayıflıklar dahil olmak üzere nedenlerin sınıflandırılması anlamına gelmektedir).Yapılan analizler sonucunda kazanın temel sebebi gaz tutucunun muhafazasının arızalanması ve operatörlerin yanlış kullanımı nedeniyle oluşan bir vinil klorür sızıntısıdır. Sızan vinil klorür, difüzyon sürecinde yüksek sıcaklıktaki bir cihaz tarafından ateşlenmiş ve yangın hızla yasadışı park edilmiş araçlara yayılmıştır. Tesis içinde yeterli güvenlik mesafesi korunmuş olsaydı, bu kaza gibi domino etkisinden kaçınılabılır, can ve mal kayıpları bu kadar şiddetli gerçekleşmeyebilirdi. Kaza raporuna göre şirketin, yönetmelikleri ihlal eden birçok yüksek riskli güvensiz eylem (örneğin, gaz tutucunun altı yıl içinde elden geçirilmemesi, kompresörün geri dönüş valfinin keskin bir şekilde ayarlanması, yasadışı park edilme vb.) içerdiği açıklanmıştır. Bu kaza temel anlamda örgütsel düzeydeki eksiklikten kaynaklanmıştır. Shenghua Şirketi'nin, güvenlik performansını sistematik ve proaktif bir şekilde geliştirmek için organizasyon yapısında, personeline, güvenlik sorumluluğunda, tesis yönetiminde, tehlikelerin tanımlanmasında, acil durum bertarafında vb. etkili bir güvenlik yönetim sistemi kurması ve sürdürmesi gerektiği ortaya konulmuştur. Kazanın büyümesinin nedeni ise Shenghua Şirketi'nin tedarikçilerinden gelen araçların o gece İl Karayolu 310'a yasadışı olarak park edilmiş olmasıdır. Kimya endüstrisi parkındaki işletmeler, kendi alanlarındaki tüm büyük tehlike kurulumlarını açıklığa kavuşturmak için iletişimi ve değişimi geliştirmeli ve ayrıca dış ortam değiştikçe tesis için düzenli güvenlik değerlendirmesi yapmalıdır. Bu prosedürler ise düzenli bir şekilde takip edilmelidir (Wang vd., 2021).

Sarvestani vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada, sıvılaştırılmış gaz tankı kazalarının araştırılması ve bunlara yönelik çözümler sunulması hedeflenmiştir. Depolama tankı kazaları nadirdir, ancak can kaybı, yaralanma, bozulmuş tedarik zinciri, önemli finansal kayıp ve çevresel etki gibi ciddi sonuçlar doğurabildiği meydana gelen kazalar sonucunda görülmüştür. Bu tarzda kazaları araştırmak için çoğunlukla veri tabanları ve kaza raporları tercih edilmiştir. En önemli kaza senaryoları belirlenmiş, geçmiş kazalara göre önleme ve kontrole yönelik çözümler sağlanmıştır. Yapılan araştırmalarda 23 kazada toplam 638 kişi ölmüş, 7280 kişi yaralanmıştır. Bu, her kazada ortalama 31 kişinin öldüğü ve 364 kişinin yaralandığı anlamına gelmektedir. Kazaların %67'sinde en az bir zayıyat vardır. Yönetim ve organizasyon faktörleri ile tasarım ve kurulum hataları kazaların sırasıyla %25 ve %23'ünü

oluşturmaktadır. Kazaların %70'inde domino etkileri meydana gelmiş ve kaza depolama tankı ile sınırlı kalmamış diğer alanlara da yayılmıştır. Kazaların %43'ü BLEVE fenomeni ile sonuçlanmıştır. Kazaların %47'si buhar bulutu patlaması içermiştir. Kazaların %22'si ise jet yangını ile sonuçlanmıştır. Kazaların nedenlerinin %38'inin doğrudan çevresel faktörler, %20'sinin ekipman faktörleri, %15'inin operasyonel faktörler ve %13'ünün domino etkisi, %10'unun bakım, %4'ünün sabotaj ve terörizm olduğu görülmüştür. Çin'de 50 depolama tankı kazası araştırılmıştır. Sonuçlar, kazaların en önemli nedeninin operatör hatası olduğunu göstermiştir (Sarvestani vd., 2021).

Xiang vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada 2000-2020 yılları arasında Çin'de meydana gelen endüstriyel kazaların domino etkisi ve özelliklerinin detaylı bir şekilde araştırılması ve analiz edilmesi hedeflemiştir. Bu çalışmada kullanılan veri kaynakları bilgi ağları, raporlar ve istatistik yıllıklarıdır; analiz aracı Pearson Korelasyonu' dur. Endüstriyel kazalar çoğunlukla Çin 'de doğu kıyı sanayi illerinde dağılmıştır ve Mart, Nisan, Temmuz ve Ağustos aylarında yoğunlaşmıştır. 9: 00-11: 00 ve 15: 00-16: 00 saatlerinde kazaların meydana gelme olasılığının yüksek olduğu bulunmuştur. Kazaların %80'inden fazlasının normal operasyonlar, bakım ve revizyon çalışmaları sırasında meydana geldiği görülmüştür. Bunların %41,6'sı patlama, %32,4'ü yangın sonuçlarını içermektedir. Kazalar, çoğunlukla yanıcı sıvıları, gazları içermektedir. Kazaların %49'u ise ihlallerden veya yanlış çalışmadan kaynaklanmıştır. Çoğu kaza, Sanayi Katma Değeri(IVA)'nin daha yüksek olduğu illerde meydana gelmiş, risk sanayileşmiş bölgelerde daha yüksek çıkmıştır. Bölgesel dengesizlik, Çin'deki endüstriyel kazaların önemli bir özelliği olarak vurgulanmıştır. Tehlikeli maddelerin listesi yapılarak yönetmeliğe eklenmiştir (Xiang vd., 2022)

Chen ve Reniers (2020) tarafından yapılan çalışmada, Çin'de 2004-2019 arası meydana gelen endüstriyel kazalar analiz edilmiş ve bu kazaların güvenlik yönetimi ile ilgili öneri ve çözümlerinin getirilmesi hedeflenmiştir. Kazaların araştırılması yapılırken resmi istatistiksel belgeler kullanılmıştır. Araştırma sonucunda ise zamanla büyük kazaların çok arttığı görülmüştür. Üst düzey kazaların neden olduğu ölümlerin oranı son üç yılda %15,4'ten %40'a yükselmiştir. Çin'deki kaza oranlarının bölgelere göre dağılımının grafiği oluşturulmuş ve bu grafikten Shandong ve Jiangsu'da, mutlak sayıda en fazla kimyasal kaza olduğu gözlenmiştir. Çin 'de meydana gelen 70 kaza arasında patlama, en yaygın senaryo (%56,2) olup, bunu toksik salım (%33,7) ve yangın (%21,3) izlemiştir. Bu kazaların %7,7'inde ise domino etkileri gözlenmiştir. Proses kazalarında en tehlikeli alanın ise

depolama alanları olduğu görülmüştür. Kazalarda en çok zehirlenmenin sebep olduğu madde hidrojen sülfür olarak belirlenmiştir. Meydana gelen kazaların %72,2'sinin insan hatasından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Kazalar, küçük ve orta ölçekli şirketlerde daha yoğun meydana gelmiş, sayısı daha az olan büyük şirketlerde ise teftiş ve kontrolün kolaylığına bağlı kaza sayısı azalmıştır. Bu sebeple bazı küçük ve orta ölçekli kimya tesislerinin kapatılması önerilmiştir. Özellikle kimya şirketlerinde acil durum müdahale planlarının olmadığı veya eksik olduğu durumlar için Çin'de güvenlik yönetimi ve denetimin artırılması gerektiği vurgulanmıştır. Çıkarılan bu olumsuz sonuçların giderilmesi için 4 aşamada gerçekleştirilen yeni bir metodoloji önerilmiştir: Çin'in kimya endüstrisine genel bakış, Çin'deki kimyasal kazaların araştırılması, Çin güvenlik politikasının analizi ve sorunların ve ihtiyaçların tartışılması. Son yıllarda kazaların artması sebebi ile eşik tabanlı yaklaşım yasallaştırılarak gerekli önlemler alınmaya çalışılmaktadır (Chen ve Reniers, 2020).

Chen ve Reniers (2019) tarafından yapılan başka bir çalışmada, yangın ile ilgili yükleme ve boşaltma (LUO) işlemleri sırasında meydana gelen kazaların incelenmesi hedeflenmiştir. Yükleme ve boşaltma esnasında gerçekleşen yangın kazaları ile ilgili QRA ve Bayes Ağı analiz yöntemleri tercih edilmiştir. Yapılan araştırmalar ve analizler sonucunda jet yangını içeren domino kazalarının %11'inden LUO'nun sorumlu olduğu bulunmuştur. Kaynaklar, LUO'lar sırasında kazaların en sık nedeninin aşırı dolum olduğunu göstermiştir. ABD Kimyasal Güvenlik ve Tehlike Araştırma Kurulu (CSB) 1962'den 2010'a kadar aşırı dolumdan kaynaklanan 17 benzer domino kazası tespit etmiştir. LUO'ların neden olduğu riskle mücadele etmek için bir acil durum stratejisi önerilmiştir. Metodolojinin, domino olaylarının başlatılması veya eskalasyonu ile ilgili en kritik alanları belirleyebildiği tespit edilmiştir. LUO'lar sırasında domino etkisi riskinin üstesinden gelmek için bir acil müdahale stratejisi önerilmiştir. Acil müdahale süresini kısaltmak için kimya endüstrisi alanlarındaki uyarı düzeyinin iyileştirilmesi sağlanmıştır. Uyarı seviyesini belirlemek için $E=(Q*P*O)/S$ gösterilen denklem ile yükseltme yetenek indeksi (E) tanımlanmıştır. E değerlerine göre de domino kazaları risk sınıflarına ayrılmıştır (Chen ve Reniers, 2019). Yukarıda açıklanan literatür çalışmalarının özeti Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Geçmiş domino kaza analizlerine yönelik literatür özeti

Referans	Çalışmanın Başlığı	Çalışmanın Amacı	Çalışmada Kullanılan Yöntemler	Çalışmada Elde Edilen Sonuçlar
Swuste vd.(2019) Process Safety and Environmental Protection	Kimya Fabrikalarında Ve Kümelerinde Domino Etkileri: Tarihsel Bir Bakış Açısı Ve Tartışma	1966-2018 döneminde domino etkileri üzerine yapılan araştırmaların sonuçları ve bu kaza süreçlerinin başlıca belirleyicilerinin tartışılması amaçlanmıştır.	Çift Papyon Yöntemi, QRA Yöntemi, Minimum Evrim Süreci(MET Algoritması), Domino Evrim Grafiği(DEG), Markov Zincirleme Yaklaşımı, Bayes Ağı, Domino Etki Analizi, DOMIFFFECT-DOMPprevplanning	Genellikle kullanılan yöntem QRA' dir. QRA analizinin dezavantajı engel etkilerinin dahil edilememesidir. Bitişik tesislerin birçoğunda güvenlik mesafesi olmamasından dolayı büyük kazaların meydana geldiği gösterilmiştir.
Chen (2019) Chem. Eng. Transact.	Kimya Sanayi Parklarında Domino Etkileriyle İlgili Olarak Yükleme Ve Boşaltma Operasyonlarının Araştırılması	Son 20 yılda LUO'lerden meydana gelen kazaların incelenmesi hedeflenmiştir.	Nicel risk değerlendirmesi (QRA) ve Bayes Ağı	Yangın ile ilgili kazaların çoğunun yükleme boşaltma esnasında meydana geldiği gösterilmiştir. Tankların aşırı doldurulmaması gerektiği vurgulanmıştır. Tesislerde uyarı seviyesi belirlenip, sınıflandırma yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Çizelge 3.1. (devam) Geçmiş domino kaza analizlerine yönelik literatür özeti

Referans	Çalışmanın Başlığı	Çalışmanın Amacı	Çalışmada Kullanılan Yöntemler	Çalışmada Elde Edilen Sonuçlar
Wang vd.(2020) Processes	Proses Endüstrisinde Tehlikeli Kimyasal Kazaların Araştırılması ve Analizi: Tetikleyiciler, Kök Nedenler ve Çıkarılan Dersler	Çin’de Vinil Klorür sızıntısı ile başlayıp domino etkisi yaratarak yayılan kaza hakkında derinlemesine bir araştırma ve analiz amaçlanmıştır.	Olay sırası diyagramı (ESD), Balık kılçığı diyagramı , 24Model tehlikeli kimyasal analizi	Yapılan analizler sonucunda kazanın temel sebebi gaz tutucunun arızalanması ve operatörlerin yanlış kullanımı nedeniyle sızıntıdır. Ön Tehlike Analizi yapılmamış ve yeterli güvenlik mesafeleri korunmamıştır Kazanın meydana geldiği tesiste ihmaller söz konusudur.
Xiang vd.(2022) Engineering Failure Analysis	2000'den 2020'ye Kadar Çin'deki Büyük Endüstriyel Kazaların İstatistiksel Analizi	Çin ‘de 2000 ‘den 2020 yılına kadar meydana gelen 478 büyük endüstriyel kazanın domino etkisinin detaylı analiz edilmesi hedeflenmiştir.	Bu çalışmanın birincil veri kaynakları; Çin Yangın İstatistik Yıllığı (CFSY, 2000-2003),Çin Yangın Yıllığı (CFY, 2004-2019),Çin Kimyasal Güvenlik Ağı, Kimyasal Kaza Bilgi Ağı, Yerel Yönetim Web Siteleri, Haber Raporları. Pearson korelasyon analizi	Çin’de doğu kıyı sahil bölgelerinde endüstriyel alanlar daha yaygın olduğu için bu bölgelerde domino kazası daha çok meydana gelmiştir. Kazaların büyük bir çoğunluğu patlama ve yangın şeklinde meydana gelmiştir. Çin’de endüstriyel kazalarda bölgesel dengesizlik tespit edilmiştir.

Çizelge 3.1. (devam) Geçmiş domino kaza analizlerine yönelik literatür özeti

<i>Referans</i>	<i>Çalışmanın Başlığı</i>	<i>Çalışmanın Amacı</i>	<i>Çalışmada Kullanılan Yöntemler</i>	<i>Çalışmada Elde Edilen Sonuçlar</i>
Chen ve Reniers(2020) Safety Science	Çin'deki Kimya Endüstrisi: Mevcut Durum, Güvenlik Sorunları Ve Gelecekteki Sürdürülebilir Kalkınmanın Yolları	Çin'de 2004-2019 arası meydana gelen endüstriyel kazalar toplanmış ve bu kazaların güvenlik yönetimi ile ilgili tartışma ve önerilerin sunulması hedeflenmiştir.	EMIS, McKinsey & Company, Oxford Economics gibi yetkili kurumlardan ve Çin'deki resmi istatistik kurumlarından sağlanan kaza bilgileri	Yapılan araştırmalar sonucunda Çin'de kazaların daha çok olduğu ve bunun sebebinin nüfus yoğunluğu, çok fazla çalışan olmasından kaynaklıdır. Endüstriyel kazaların birçoğunun yangın ile sonuçlandığı görülmüştür. Az miktarda domino kazası görüldüğü ancak etkisinin büyük olduğu tespit edilmiştir. Büyük kazaların birçoğunun insan hatası barındırdığı görülmüştür. Çin'de kaza oranlarının bölgelere göre değiştiği ve Shandong ve Jiangu' da en fazla kimyasal kaza gerçekleştiği ortaya konulmuştur.

Çizelge 3.1. (devam) Geçmiş domino kaza analizlerine yönelik literatür özeti

Referans	Çalışmanın Başlığı	Çalışmanın Amacı	Çalışmada Kullanılan Yöntemler	Çalışmada Elde Edilen Sonuçlar
Sarvestani vd. (2021) Journal of Failure Analysis and Prevention	LPG Depolama Tankı Kazaları: Olayların Başlangıcı, Nedenleri, Senaryoları ve Sonuçları	Sıvılaştırılmış gaz tankı kazalarını araştırmak, kazaları önlemek ve kontrol altına almak için çözümler sunulması hedeflenmiştir.	CSB-U Veri Tabanı, eMARS- Büyük Kaza Raporlama Sistemi, MHIDAS- Büyük Tehlike Olayı Veri Servisi, JTS- Arıza Bilgi Veri Tabanı, FACTS-Arıza ve Kaza Teknik Bilgi Sistemi	Kazaların %67'sinde en az bir zayıyat vardır. Kazaların %70'i domino etkisi kaynaklıdır. Depolama tankı kazalarının nadir ancak meydana geldiğinde çok şiddetli olduğu sonucuna varılmıştır. Çin'de araştırılan depolama tankı kazalarının en önemli nedeni operatör hatasıdır.

Araştırılan kazalardan alınan dersler şöyle özetlenebilir: Büyük hasara neden olabilecek tesislerin kamusal kontrolünün önemi; büyük hasara neden olabilecek tesislerin yerleşiminin önemi; büyük hasara neden olabilecek tesislerin yönetiminin önemi; tesis ve süreç modifikasyonlarının kontrolünün önemi; envanterin sınırlandırılmasının faydaları; güvenliğin üretime göre öncelik sahibi olması; standartların ve uygulama kodlarının kullanımının gerektiği; kimyasal reaktörlerin kontrolü ve korunmasının önemi; kimyasal süreçlerin daha güvenli şekilde tasarlanması gereği; acil durum planlarının önemi; ekipmanların bakımının yapılmasının önemi; yetkili idarelerin ve kamunun bilgilendirilmesinin önemi.

3.2. Domino Kazaları İçin Güvenlik Mesafelerinin Belirlenmesine Yönelik Çalışmalar

Yu vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada, 4 Ağustos 2020' de Lübnan Beyrutta meydana gelen amonyum nitrat patlaması için krater boyutuna ve fiziksel etkilere dayanan kapsamlı bir sonuç analizi yapılması hedeflenmiştir. Meydana gelen kaza, 204 kişinin ölümüne 7000'den fazla kişinin yaralanmasına sebep olmuştur. Yaklaşık 15 Milyon Dolar civarında da maddi hasar meydana gelmiştir. Deponun sadece önemli ölçüde büyük miktarda

amonyum nitrat depolamakla kalmayıp, aynı zamanda yeterli bir güvenlik mesafesi olmadan komşu topluluklara ve yerleşim bölgelerine çok yakın olduğu tespit edilmiştir. Yapılardaki aşırı basınç ve patlayıcı patlamaların simülasyon sonuçlarından patlama merkezinden yaklaşık 487 m uzaklıkta bir ölüm yarıçapı olduğu belirlenmiştir (Yu vd., 2021).

Gholamizadeh vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada 2 Haziran 2021 'de Tahran Rafinerisinde depolama tankının sızıntısından meydana gelen büyük bir yangının analizinin yapılması ve ilerleyen zamanlarda böyle bir kaza meydana gelmemesi için önerilerin sunulması hedeflenmiştir. Bu çalışma üç ana aşamada yürütülmüştür. İlk aşamada olay verilerinin toplanması ve sınıflandırılması ile kazanın nedenleri toplanmıştır. İkinci aşamada ise toplanan veriler kullanılarak Accimap yöntemi üzerinden kazanın nedenleri ile ilgili etkileşimler altı katmanda belirlenerek kontrol çözümleri önerilmiştir. Üçüncü aşamada, tanklar için daha güvenli yerleşim düzeni, nicel domino etkisi analizi yapılarak tasarlanmıştır. İlk aşamada, kazanın üzerine yapılan özel toplantı raporu, Tahran Petrol Rafinerisi eski CEO 'su ile yapılan röportajdan yararlanılmıştır. İkinci aşamada Accimap yöntemi uygulanmış, bu yöntemde kazalar aşağıdan yukarıya doğru altı katmanda incelenmiştir: sonuçlar, fiziksel olaylar ve koşullar, teknik ve operasyonel yönetim, şirket yönetimi ve yerel alan planlaması, düzenleyici kurumlar ve dernekler, devlet mevzuatı. Üçüncü aşamada yapılan kantitatif analizlerde aktif ve pasif yaklaşım izlenmiştir. Aktif yaklaşımda olay öncesi ve olay sonrası olayın olma olasılığı incelenmiş; pasif yaklaşımda ise olasılığın belirlenmesi, sonuçların modellenmesi, şiddetin eskalasyon eşikleri ile karşılaştırılması ve güvenlik mesafelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Yapılan analizde aşırı basınç ve termal radyasyon için 7kPa ve 15kW/m eşik değerlerine ulaşan bulgular bulunmuştur. Termal radyasyon 15 kW/m 'den fazla ise domino etkisi yaratma olasılığı fazla, aşırı basınç 7 kPa 'dan fazla ise yine domino etkisi yaratma olasılığı fazladır ve bu kazada da çok sınırdaki olduğu için tankların güvenlik mesafelerinin yeniden tasarlanması gerektiği ortaya konulmuştur. Rafineride tankların güvenlik mesafesi 30m olarak tasarlanmıştır. Ancak, Amerikan Petrol Enstitüsü (API) 650 standardı, basınçlı tankların etrafındaki güvenli mesafenin 200 feetten (yaklaşık 60 m) daha yüksek olması gerektiğini belirtmektedir. Olay komuta sisteminde zayıflık, proses güvenliği standartlarına uyulmaması, hükümet ve mevzuat seviyelerinde güvenlik düzenlemelerinin uygulanmasının izlenmesindeki eksiklik, tankların güvensiz bir şekilde düzenlenmesi, olası sonuçların dikkate alınmaması, her rezervuar için özel bir dikme duvarının bulunmaması kazanın meydana geliş sebepleri olarak tespit edilmiştir (Gholamizadeh vd., 2023).

Lee vd.(2019) tarafından yapılan çalışmada benzen, toluen ve ksilen (BTX), çok çeşitli hammadde, ürünler kullanıldığında yanıcı özellik taşıdığı ve sızıntı meydana geldiğinde yakınındaki yanıcı maddelerde ikinci, üçüncü kazaları meydana getirebileceği için bu kazalar ilgili bazı yöntemler kullanılarak güvenlik mesafelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. BTX Kore Endüstrisinde boya imalatında kullanılan bir maddedir. Bu maddeleri analiz etmek için PHAST, ALOHA, Baker-Strehlow Tang yöntemleri kullanılmıştır. Yapılan simülasyon ve analizlerde Kore sanayi komplekslerinin domino patlaması olma olasılığı olduğu görülmüştür. BTX tesislerinin domino patlamalarını önlemek için benzen için 150 m, toluen için 120 m ve ksilen için 30 m komşu kimyasal tesislerden uzaklıkları dikkate alınmalıdır. Domino patlamalarının meydana gelmesini önlemek için fizikokimyasal özellikleri ve işlenen kimyasal maddelerin miktarını göz önünde bulundurarak güvenlik mesafelerini belirlemek için makul bir yöntem önermek gerektiği ve Kore 'de domino kazaları ile ilgili mevzuat açıklarının düzenlenerek önlem alınması gerektiği sonucuna varılmıştır. Diğer ülkelerin güvenlik mesafeleri, Kore, Tayvan ve Dubai'ninkinden daha büyüktür. ABD 'de her endüstri bölgesi için ayrı bir güvenlik mesafesi belirlenmiştir. İngiltere'de ise yanıcı maddelerin depolama miktarına göre güvenlik mesafeleri belirlenmiştir. Ancak Kore'de domino patlamalarıyla ilgili herhangi bir düzenlemesi veya direktif bulunmamaktadır. Tayvan'da ise yanıcı maddenin parlama noktasına bağlı olarak güvenlik mesafesi değişmektedir. Minimum güvenlik mesafesi sadece 40 m dir. Çin'de ise tehlike daha az denilebilir. Çünkü, sıkı bir şekilde takip edilmekte ve mevzuatlarında domino kazaları ile ilgili güvenlik mesafeleri bulunmaktadır (Lee vd., 2019).

Ding vd.(2021) tarafından yapılan çalışmada depolama tanklarında yükleme ve boşaltma sırasında oluşabilecek yangına bağlı domino riskinin azaltılması hedeflenmiştir. Çalışmada LOC(Muhafaza kaybı) riskinin değerlendirilmesi için E-FMEA kullanılmıştır.Şiddet ve tespit puanları uzmanlar tarafından değerlendirilmiştir.Domino etkisini modellemek için Grafik teorisi ,ikicil kazanın neden olma durumu için Probit Model ,Termal radyon ve tankın yanma hızı için ALOHA yazılımı tercih edilmiştir.Analizler yapılırken örnek bir senaryo kurgulanmıştır. Bu senaryoda su sprink sistemi içeren 5 tane depolama tankı bulunmaktadır. Belirtilen analiz yöntemleri bu tanklara uygulanıp, tanklarda risk gösterge değerleri (RPN_{birim} , OC_{birim} ,C) kıyaslanlandığında risk değerlerinin tank 3'de yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Tanklara yükleme yapılırken ise en düşük risk değeri C ' ye sahip tank 5 tercih edilmiştir. Tanklardan boşaltma yapılırken ise en yüksek C değerine sahip olan tank 3 uygun

bulunmuştur. Arızaya kadar minimum güvenilir olarak kabul edilen süre 15 dakika olarak tespit edilmiştir (Ding vd., 2021).

Güneş vd.(2021) tarafından yapılan çalışmada yer altında bulunan benzin ve LPG tankları ile ilgili güvenlik mesafesi üzerine iki vaka çalışması incelenerek bu gibi tesislerde güvenliğin artırılması hedeflenmiştir. Ateş Topu modeli için Dinamik Termal Radyasyon Modeli kullanılmıştır. Potansiyel yaşam kaybı (PLL), yangın, patlama, zehirlenme ve diğer büyük tehlikeler gibi kazaların neden olduğu birim zaman başına ölüm olasılığının hesaplanmasında kullanılmıştır. Güvenlik mesafesi için; Ağırlıklı Güvenlik mesafesi $L=L_r=Ln(1+\%10)$ (L =Ağırlıklı güvenlik mesafesi, L_r =Eğerdeğer güvenlik mesafesi, Ln =Farklı kaza türleri güvenlik mesafesi) hesaplanarak Hollanda’ da risk değerlendirmesi üzerine kullanılan Mor Kitap içeriğindeki güvenlik mesafeleri ve bulunan değerler kıyas yapılarak en uygun güvenlik mesafesi elde edilmeye çalışılmıştır. Kullanılan yöntemler ve kaynaklar sonucunda yeraltı kazalarında VCE, Ateş Topu, Havuz Yangını ve BLEVE olduğu görülmüştür. Yapılan iki vaka analizinde yeraltı derinliği 0,5 m’den 1,1 m’ye değiştirildiğinde, aşırı basınç değerinin önemli ölçüde düştüğü gözlemlenmiştir. Derinlik 2 m olduğunda, personel ve binalara verilen hasar, patlama merkezinden 2 metrenin ötesinde büyük ölçüde azaltılmıştır. Kaza senaryosu sonrasında toprak özelliklerinin yüksek hava içeriğine sahip suya doymuş kumlu toprağın ve düşük yoğunluklu doymamış kumlu toprağın aşırı basıncın zayıflaması üzerinde daha iyi etkileri olduğu bulunmuştur. Tankların yeraltına gömülü olması, toprağın engellemesi nedeniyle potansiyel kaza sonucunu azaltmıştır. Her bir vakanın PLL değerleri hesaplanarak benzin depolama tankı tek başına yeraltına yerleştirildiğinde PLL değerinin %36,7 azaldığı, sadece LPG tankı yer altına yerleştirildiğinde PLL’nin %6,33 azaldığı, benzin tankı ve LPG tankının aynı anda yeraltına yerleştirildiğinde PLL’nin %42,3 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Bulunan sonuçlar olması gereken değerler ile uyumlu çıkmıştır. Yapılan analizlerde güvenlik mesafeleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Tankların güvenlik mesafeleri (Güneş vd., 2021)

	1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye
Hidrojen Depolama Tankı	24,2 m	40,m	124,22 m
LPF Depolama Tankı	39,67 m	170,31 m	649,09 m
Benzin Deposu	117,97 m	311,72 m	1127,34 m
Atmosferik Damıtma Kulesi	118,75 m	314,84 m	1136,72 m

Chen vd.(2018) tarafından yapılan çalışmada petrokimya depolama alanlarında havuz yangınının etkili olduğu domino kazalarının bazı methodlar ile güvenlik mesafeleri kullanılarak çözüm yolu sunulması hedeflenmiştir. Çalışmada, Netica yazılımı ve Bayes Ağı kullanılmıştır.Dört tank senaryosu belirlenmiş olup tanklar arası minimum güvenlik mesafesi 31,17 m olarak ayarlanmıştır. Sadece bir tank olduğunda ve havuz yangını meydana geldiğinde kullanılan güvenlik mesafesi ile uzaktaki tankın neredeyse hiç etkilenmediği görülmüştür. Birden fazla termal radyasyon alanı olduğunda domino kazasının meydana gelme olasılığı artmış ve eskalasyon olasılığı 0,3632' e ulaşmıştır. Tank çifliğinde bir havuz yangını meydana geldiğinde kurtarma sırasında domino kazasını önlemek için bitişik tankların soğutulması gerektiği öngörülmüştür. Termal radyasyon için arıza eşik değeri tüm ekipmanlar için 9,5 ; 12,5; 15,6; 24,25; 37; 37,5 ve 38 kW/m² ayrı ayrı belirlenmiştir. Atmosferik ve basınçlı tanklar ısı radyasyonundan etkilendiğinde 10 dakikadan fazla süre için olması gereken eşik değeri 50 kW/m² olarak belirlenmiştir (Chen vd., 2018).

Güneş ve Çetinyokuş (2020) tarafından yapılan çalışmada Türkiye’de meydana gelen büyük endüstriyel kazalara arazi kullanım planması(AKUP) ile çözüm önerisi getirilmesi hedeflenmiştir. Çalışmada sonuç odaklı ve risk odaklı yaklaşımlar ile jenerik güvenlik mesafeleri üzerinde durulmuştur. Türkiye’de mevzuatta endüstriyel kazalara yönelik AKUP uygulaması olmadığı görülmektedir. AKUP ve Acil Durum Yönetimi, büyük kazaların sonuçlarını kontrol etmeyi (büyük kazaların ortaya çıkardığı toksik gaz, ısı radyasyonu gibi tehlikeli maddelerin yayılımı nedeniyle kamu/çevreye verilebilecek zararları) ve sınırlandırmayı amaçlar. AKUP kapsamında yapılan çalışmalar ise endüstriyel kazalarda hasar eşik değerleri dikkate alınarak hasar etki bölgeleri tanımlanması gerektiği ve endüstriyel tesiste kullanılan tehlikeli madde/karışımlar, tesisteki süreçler dikkate alınarak

tesis bazında tespit edilen standart güvenlik mesafeleri belirlenmesini gerektirir. Endüstriyel kuruluş niteliğinde olan bir kısım yapı/alanlar için TSE tarafından oluşturulmuş güvenlik mesafelerini de kapsayan uluslararası standartlarla paralel standartlar mevcuttur. Bunlar, akaryakıt ve LPG ile sınırlı kalmaktadır. AKUP' a yönelik güvenlik mesafelerini belirlemede bu standartlar bir kaynak teşkil edebilir (Güneş ve Çetinyokuş, 2020).

Aliabadi vd.(2022) tarafından yapılan çalışmada depolama tanklarının kirlenme riskinin niceliksel değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Kullanılan analiz yöntemleri ise QRA ve PHAST 'dır. On bir tank senaryosu belirtilen yöntemler ile analiz edilmiştir. En yüksek radyasyon yoğunluğu en düşük gerçekleşme olasılığına sahip olan jet yangını senaryosudur. Hasar eşiği en yüksek tanklar 2 ve 4 'tür. 9 ile 11 arası tanklarda yıkıcı patlama olasılığı senaryosunun fazla olduğu görülmüştür. Sonuçlara göre sızıntı senaryosunda en iyi güvenlik mesafesi 612 m olarak tespit edilmiştir. Felaket senaryosunda ise bu mesafe 3430 m'dir. (Aliabadi vd., 2022).

Mohammadizade ve Seifinia (2022) tarafından yapılan çalışmada petrokimyasal depolama tankının mesafesinin düzenlenmesi ve domino kazalarının önlenmesi için analizler yapılması hedeflenmiştir. Eulerian-Lagrangian kuplaj yöntemi ile patlama simülasyonu kullanılmıştır. Autodyn yazılımı da kullanılmıştır. Çalışmanın ilk bölümünde 8 g TNT ile patlama dalgasının yayılması ve basıncın tanklar arasındaki ortama hapsedilmesi hedeflenmiştir. İkinci bölümde ise bariyer şeklinin 1000 kg TNT'nin patlama basıncını gerçek ölçekte azaltmadaki etkisi araştırılmıştır. Yapılan analiz sonuçlarında tanklar arası mesafesinin korunmadığı gözlemlenmiştir. Güvenlik mesafesinin yönetmelikler tarafından önerilen miktarın iki katına kadar artırılması, patlama basıncının hapsedilmesinin etkisini ortadan kaldırmaktadır. Aynı zamanda sonuçlardan patlamada aşırı basıncın ölçüsünü azaltmak için bariyer oluşturulabileceği önerilmiştir. Burada bariyerin şekli bir önem taşımamaktadır (Mohammadizade ve Seifinia, 2022). Açıklanan literatür çalışmalarının özeti Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Domino kazaları için güvenlik mesafelerinin belirlenmesine yönelik literatür özeti

<i>Referans</i>	<i>Çalışmanın Başlığı</i>	<i>Çalışmanın Amacı</i>	<i>Çalışmada Kullanılan Yöntemler</i>	<i>Çalışmada Elde Edilen Sonuçlar</i>
Yu vd. (2021) Process Safety and Environmental Protection	Beyrut Limanındaki Depoda Depolanan Amonyum Nitratin Feci Patlamasına İlişkin Kapsamlı Çalışma	4 Ağustos 2020’ de Lübnan Beyrutta meydana gelen Amonyum Nitrat patlaması için krater boyutuna ve fiziksel etkilere dayanan kapsamlı bir sonuç analizi yapılması hedeflenmiştir.	Entegrasyon Yöntemi	Yeterli güvenlik mesafesi olmadığı ve tesisin yerleşim yerlerine yakın olduğu tespit edilmiştir. Simülasyon ile patlama merkezinden yaklaşık 487 m mesafede ölümcül etkiler belirlenmiştir.
Gholamizadeh vd. (2023) Fire Technology	Tahran Rafinerisi Yangın Kazasında Kapsamlı Hata Analizi: Accimap Metodolojisi ve Kantitatif Domino Etkisi Analizinin Uygulanması	2 Haziran 2021 ‘de Tahran Rafinerisinde depolama tankının sızıntısından meydana gelen büyük bir yangının analizinin yapılması ve ilerleyen zamanlarda böyle bir kaza meydana gelmemesi için önerilerin sunulması hedeflenmiştir.	Accimap Yöntemi Kantitatif Analiz	Kazanın en önemli sebepleri komuta sistemindeki sıkıntı ve tankların güvensiz bir şekilde yerleştirilmiş olmasıdır. Meydana gelen kazanın havuz yangını olduğu tespit edilmiştir. Olması gerektiğinden daha küçük bir güvenlik mesafesi seçildiği belirlenmiştir. Uygun eşik değeri önerilmiştir.

Çizelge 3.3. (devam) Domino kazaları için güvenlik mesafelerinin belirlenmesine yönelik literatür özeti

<i>Referans</i>	<i>Çalışmanın Başlığı</i>	<i>Çalışmanın Amacı</i>	<i>Çalışmada Kullanılan Yöntemler</i>	<i>Çalışmada Elde Edilen Sonuçlar</i>
Lee vd.(2019) International Journal of Environmental Research and Public Health	Kore'de Domino Etkisi Dikkate Alınarak Yanıcı Maddeler: Güvenlik Mesafesinin Değerlendirilmesi	Benzen, toluen ve ksilen (BTX), çok çeşitli hammadde ve ürünle kullanıldığında domino kazaları meydana gelebilmesi durumuna karşı güvenlik mesafelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.	PHAST, ALOHA, Baker-Strehlow-Tang yöntemi (Çoklu enerji yöntemi)	Benzen, Toluene ve Ksilen için uygun güvenlik mesafeleri hesaplanmıştır ve her ülkenin kullandığı güvenlik mesafesi, mevzuatları araştırılarak kıyaslama yapılmıştır. Kore 'de domino patlamalarıyla ilgili mevzuat olmadığı tespit edilmiştir. Mevzuattaki açığın giderilmesi öngörülmüştür.
Ding vd. (2021) Process Safety and Environmental Protection	Kimya Endüstri Parklarındaki Yükleme/Boşaltma Taleplerinden Yararlanarak Yangına Bağlı Domino Etkisi Riskini Azaltmaya Yönelik Yeni Bir Yaklaşım	Depolama tanklarında yükleme ve boşaltma sırasında oluşabilecek yangına bağlı domino riskinin azaltılması hedeflenmiştir.	E-FMEA ,Grafik Teorisi, Probit Model, ALOHA	5 farklı tank simüle edilmiştir. Tank 5' e yükleme yapılabileceği ve tank 3 'de boşaltma işlemi yapılabileceği tespit edilmiştir.

Çizelge 3.3. (devam) Domino kazaları için güvenlik mesafelerinin belirlenmesine yönelik literatür özeti

<i>Referans</i>	<i>Çalışmanın Başlığı</i>	<i>Çalışmanın Amacı</i>	<i>Çalışmada Kullanılan Yöntemler</i>	<i>Çalışmada Elde Edilen Sonuçlar</i>
Güneş vd. (2021) Journal of Loss Prevention in Process Industries	Tipik Petrokimya Tesislerinde Yer Altı Ve Yer Altı Tesislerinin Güvenlik Mesafesine İlişkin Bilgi	Yer altında bulunan benzin ve LPG tankları ile ilgili güvenlik mesafesi üzerine iki vaka çalışması incelenerek bu gibi tesislerde güvenliğin artırılması hedeflenmiştir.	Radyasyon Modeli, Potansiyel yaşam kaybı (PLL), Mor Kitap korelasyonlar	Yeraltı derinliği arttırıldığında aşırı basıncın önemli ölçüde düştüğü tespit edilmiştir. Toprağın engellemesinden dolayı tankların gömülü olması daha güvenilir bulunmuştur. Yapılan hesaplamalarda bulunan güvenlik mesafelerinin uygun olduğu tespit edilmiştir.
Chen vd. (2018) Procedia Engineering	Petrolifer Tank Çiftliğinde Havuz Yangınının Yol Açtığı Domino Etkisine İlişkin Risk Analizi	Petrokimya depolama alanlarında havuz yangınının etkili olduğu domino kazalarının güvenlik mesafeleri kullanılarak önlenmesi hedeflenmiştir.	Netica Yazılımı, Bayes Ağı	4 tank için simülasyon analizi yapılarak olması gereken eşik değerleri ve güvenlik mesafeleri ile kıyaslama yapılmıştır. Tanklar arası minimum güvenlik mesafesi 31,17 m olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.3. (devam) Domino kazaları için güvenlik mesafelerinin belirlenmesine yönelik literatür özeti

Referans	Çalışmanın Başlığı	Çalışmanın Amacı	Çalışmada Kullanılan Yöntemler	Çalışmada Elde Edilen Sonuçlar
Güneş ve Çetinyokuş (2020) Journal of Humanities and Tourism Research	Türkiye’de Endüstriyel Kazalara Yönelik Arazi Kullanım Planlaması (AKUP) Problemi	Türkiye’de meydana gelen büyük endüstriyel kazalara arazi kullanım planlaması(AKUP) ile çözüm önerisi getirilmesi hedeflenmiştir.	Sonuç odaklı yaklaşım, risk odaklı yaklaşım, jenerik güvenli mesafesi	AKUP uygulamasında büyük kazaların sonuçlarını kontrol etmeyi ve sınırlandırmayı hedeflenmek için hem hasar eşik değerleri dikkate alınmış hem de güvenli mesafe uygulaması dikkate alınmıştır. Sanayi bölgelerinde daha güvenli bir ortam olması için bir çözüm önerisi hazırlamaya çalışan bir planlama olup ve ülkemizde de uygulanması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Çizelge 3.3. (devam) Domino kazaları için güvenlik mesafelerinin belirlenmesine yönelik literatür özeti

Referans	Çalışmanın Başlığı	Çalışmanın Amacı	Çalışmada Kullanılan Yöntemler	Çalışmada Elde Edilen Sonuçlar
Aliabadi vd. (2022) Journal of Occupational Health and Safety	Yoğuşma Suyu Depolama Tankının Domino Etkilerini Dikkate Alan Niceliksel Risk Değerlendirmesi	Yoğuşma suyu depolama tanklarının kirlenme riskinin niceliksel değerlendirilmesi amaçlanmıştır.	QRA, PHAST(7.22)	Simülasyon için 11 adet depolama tankı analiz edilmiştir. Sızıntı senaryolarında en iyi güvenlik mesafesi 612m ve felaket senaryolarında ise en iyi güvenlik mesafesi 3430 m olarak tespit edilmiştir.
Mohammadizade ve Seifinia(2022) Modares Civil Engineering Journal	Depolama Tankı Çiftliğinde Patlama Dalgalarının Yayılımının Ve Depolama Tankının Güvenli Mesafe Ve Konumunun Öneminin Araştırılması.	Petrokimyasal depolama tankının mesafe düzenlemesi ve domino kazalarının önlenmesi için analizler yapılması hedeflenmiştir	Eulerian-Lagrangian kuplaj yöntemi , Autodyn Yazılımı	Farklı miktarda patlayıcı kullanılarak patlamanın şiddeti değerlendirilmeye çalışılmıştır. Aynı zamanda patlamanın şiddetini azaltmak için bariyer de kullanılabileceği öngörülmüştür. Uygun güvenlik mesafesi, mevcut miktarın iki katı olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.3’de özetlenen makalelerden de anlaşıldığı üzere kazaların birçoğu tesislerin arasında yeterli güvenlik mesafesi olmamasından kaynaklanmıştır. Güvenlik mesafeleri eşik temelli yaklaşım ile daha güvenilir bir hale getirilebilir. Her ekipman için uygun eşik değerleri belirlenerek, matematiksel hesaplamalar, ülke mevzuatları dikkate alınmalıdır.

3.3. Domino kazalarının modellenmesine Yönelik Çalışmalar

Basheer vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada kimyasal proses endüstrilerinde kaza riskini değerlendirmek için halihazırda geliştirilmiş ve halen gelişmekte olan yöntemlere genel bir bakış açısı sunulması hedeflenmiştir. FTA, ETA, HAZOP, RCA, Petri Ağları, Regresyon, QRA, STEP, MORT, SCAT, PRA, AEB, CPI gibi analiz yöntemleri incelenmiştir. Bu

makalede geçmiş kazalardan yola çıkarak 15 kaza analizi yöntemlerinin amaçları, zaman içerisindeki değişimi, gelişimi ve değerlendirmesi yapılmıştır. Kaza risklerinin oluşmasının nedenleri ise şöyle sıralanmıştır: tehlikeli kimyasalların ve süreçlerin sayısının artması; taşınan, depolanan ve kullanılan tehlikeli kimyasalların miktarlarının artması; özellikle gelişmekte olan ülkelerde küresel nüfusun artması. FTA, ETA, LOPA ve QRA b en çok kullanılan olasılıksal tekniklerdir. Çok çeşitli kaza tahmin uygulamalarına rağmen FTA'nın temel formülasyonlarından kaynaklanan çeşitli sınırlamaları ve operasyonel zorlukları vardır. FMEA, RCA, süreç yapısına dayalı olarak ve olası bir kaza olayının niteliği bilinmediğinde olası kaza senaryolarının tanımlanmasında etkilidir. QRA, tam bir analiz yöntemi oluşturan bir dizi teknikten oluştuğu için hem nitel hem de nicel analizlerde kullanıma sahiptir. Kaza zincirinin durdurulmasına yönelik olan analizler; hata ağacı analizi, kök neden analizi, olay ağacı analizi, koruma katmanları analizi, STEP, MORT, SCAT, QRA, Petri ağları ve Bayes ağlarını içerir. Mantıksal ağaç modelleri, bir kazaya veya risk sonucuna ilerleyebilecek olayların mantıksal sırasına ve ilişkisine dayanır. Bu modeller arasında FTA, ETA, RCA, MORT AEB, QRA Monte Carlo simülasyon Petri ağları ve Bayes ağları bulunur. Kazaları önlemek için potansiyel bariyer kurulumunun belirlenmesinde de etkili olabilen analizler; FTA, ETA, HAZOP, FMEA, LOPA, MORT ve AEB'yi içerir. Tek bir teknik kullanarak bir sistemin tüm yönlerini analiz etmek mümkün değildir. Farklı yöntemlerin kombinasyonlarının geliştirilmesi gerekmektedir (Basheer vd., 2019).

Santana vd.(2021) tarafından yapılan çalışmada havuz yangınlarına bağlı domino etkisinin yayılımı durumunda olasılığın değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Bulanık-Bayes yaklaşımı havuz yangınlarının sinerjik etkilerini dikkate alan arıza olasılıklarını belirlemede; HAZOP, proses birimlerinin kaza yapma olasılığında; ALOHA çoklu tesislerde yangın senaryolarının simülasyonlarında kullanılmıştır. ALOHA yazılımının kullanımının temel avantajı eskalasyon vektörünü nicelleştirmeye izin vermesidir. Domino etkisi yayılımı, üç ana eskalasyon vektörü aracılığıyla yakındaki tankları etkileyebilir; aşırı basınç, füze veya parça projeksiyonu ve termal radyasyon. En güvenilir domino etkisi zincirinin ne olduğunu tanımlamak için eşik değer temelli yaklaşım önerilmiştir ve havuz yangınında ilk olay olarak kabul edilen eskalasyon eşiği 15 kW/m^2 'dir. Atmosferik kaplar için ve basınçlı olanlar için ise 45 kW/m^2 kabul edilmektedir. Tüm proses üniteleri arasındaki termal radyasyon, ALOHA simülasyonu kullanılarak ölçülmüştür. En yüksek termal radyasyon değeri, 703 numaralı tank ile 40 numaralı tankta 45 kW / m^2 olarak bir havuz yangını sırasında meydana gelmiştir. Ayrıca, tank 103'teki bir havuz yangınının 37 ve 34 kW / m^2 'ye neden

olabileceği belirtilmiştir. Tüm bu değerler eşikten daha yüksektir (15 kW/m^2). Bu nedenle, bu proses birimleri (TK 703 ve TK 103) domino etkisi oluşumlarında en olası olanları temsil etmiştir. Domino etkisi olasılıkları, sinerjik etkiler göz önüne alındığında 1×10^{-4} değerine ulaşır, bu da TK 703'te bir başlangıç havuzu yangını meydana gelirse domino etkisinin ortaya çıkma olasılığının yüksek olduğunu göstermiştir (Santana vd., 2021).

Zhang vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada geçmiş kaza analizi ve tank çiftliği için kaza zincirindeki düğümlerin tanımının verilmesi, yayılma süreci için teorik model oluşturulması hedeflenmiştir. Kaynak olarak resmi veri tabanları, analiz için ise Göreceli Olasılık Olay Ağacı, Genişletilmiş Etki Olasılığı Hesaplama Modeli kullanılmıştır. Yapılan araştırmalar ve analizler sonucunda 200'den fazla domino kazası 1917-2009 yılları arasında meydana gelmiştir. Domino kazasının en sık nedeni patlama (% 57), ardından yangın (% 43) olmuştur. Olay Ağacının olasılık dağılımından 165 domino kazasından 74'ü kazalarda birinci domino etkisi, 55'i kazalarda ikinci domino etkisi, 25'i kazalarda üçüncü domino etkisi, kazalarda "dördüncü domino etkisi" ve "beşinci domino etkisi" sırasıyla 10 ve 1 olmuştur. Etap sayısının artmasıyla birlikte bir kazanın meydana gelme olasılığının daha az olduğu görülmüştür. Domino kazasının meydana gelmesinin esas olarak ikinci domino kazasından kaynaklandığı anlaşılmıştır. Hasar olasılığını hesaplamak için eşik değer temelli yaklaşım da dikkate alınmıştır. Atmosferik basınçlı ekipmanlar için termal radyasyon eşik değeri 15 kW/m^2 olarak belirlenmiştir. Atmosferik basınçlı ekipmanlarda patlama şok dalgası için olması gereken eşik değer 22 kPa olarak bulunmuştur (Zhang vd., 2019).

Yang vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, havuz yangınının tek başına işleme ve depolama tesislerinde domino olayına neden olup olamayacağı analiz edilmiştir. Havuz yangınının neden olduğu eskalasyon vektörünü simüle etmek için Katı Alev Modeli, Hesaplamalı Akışkan Dinamiği Modeli (CFD), Probit Modelleri kullanılmıştır. Bir havuz yangınının domino etkisine neden olma yeteneğini etkileme potansiyeline sahip üç faktör kullanır: Bunlar havuz boyutu, ateş ve hedef tank arasındaki mesafe ve rüzgâr hızı. İki vaka çalışmasının analizlerine göre düzenli tanklar arasında güvenli bir mesafe ve uygun azaltma önlemleri garanti edildiği sürece, uzaktaki havuz yangınının tek başına hedef tankın arızalanmasına ve dolayısıyla domino etkisine neden olmayacağı gösterilmiştir. Ayrıca bu çalışmada atmosferik basınçlı ekipmanda havuz ve jet yangınlarında 15 kW/m^2 , 10 dakikadan fazla bir süre için eşik değer kullanılmıştır. Basınçlı ekipman için havuz ve jet yangınlarında 50 kW/m^2 , 10 dakikadan fazla bir süre için eşik değeri kullanılmıştır. Bulunan

eskalasyon değerleri düşük olduğundan düşük olasılıkta başarısızlığının imkânsız olduğu anlaşılmıştır (Yang vd., 2020).

Zhou ve Reniers (2018) tarafından yapılan çalışmada, kazalarda etkilenen birimleri modellemek için matris tabanlı bir yaklaşım önerilmiş ve kaza yayılımı için analiz yaklaşımının yanı sıra kazaların olasılık hesaplaması için simülasyon tabanlı bir algoritma kullanılmıştır. İki vaka analizi de yapılmıştır. İlk vakada, önerilen matris tabanlı yöntem kullanarak, olasılıklar yalnızca M matrisini değiştirerek kolayca elde edilmiştir (0 1 0). Simülasyon analizinden, Tank 1'de birincil havuz yangını göz önüne alındığında, Tank 3 ve Tank 0' da yangın meydana gelme olasılıkları sırasıyla yaklaşık 4649,0 ve 3971,2 olarak belirlenmiştir. İkinci vakada ise D1 tankı alev aldığı anda, domino etkisi nedeniyle diğer tanklar için yanma olasılıkları, D2 ve D4'ün olasılıklarının daha büyük olması dışında çok az fark göstermiştir. Önerilen matris tabanlı yaklaşım kullanarak, domino etkisi diğer koşullar altında kolayca analiz edilebilmiştir. Örneğin, $M_0 = (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 8)$, yani D8 tankının öncelikle alev alacağı gösterilmiştir. Domino etkisi nedeniyle tanklar için yanma olasılıklarında çok az fark olduğu ve farklı birincil yangın koşulları altındaki olasılıkların, yangın durumlarını gösteren başlangıç matrisi ayarlanarak elde edilebileceği görülmüştür. Güvenlikle ilgili nedenlerden dolayı (tesadüfen) birden fazla eşzamanlı yangın da meydana gelebilir, ancak olasılık son derece düşüktür. Ancak emniyet durumunda (örneğin, bir terörist saldırı), bu çok daha olasıdır ve gerçekçi olabilir. Aynı anda birden fazla birincil yangın koşulu altında yayılma olasılığı, önerilen yaklaşım kullanılarak kolayca analiz edilebilir (Zhou ve Reniers, 2018).

Jiang vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada domino etkisi durumunda tankların kırılabilirliğinin çoklu kaza senaryosu ile değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Entropi ağırlık yöntemi, karmaşık ağ yöntemi, TOPSİS, Risk matrisi, Bayes ağı, PHAST yazılımı analiz için kullanılmıştır. 8 atmosferik benzin tankı içeren bir tesiste domino kazası gerçekleşmesi durumunun senaryoları değerlendirilmiştir. Her tank 200ton kapasiteye ve 785,4 m³ hacme sahiptir. T₁ tankı en büyük güvenlik açığına sahip bulunmuştur. T₂, T₃, T₅, T₆ ve T₇ ikinci sırada yer alırken, T₄ ve T₈ en düşük güvenlik açığına sahip olarak belirlenmiştir (Jiang vd., 2019).

Naderpour ve Khakzad (2018) tarafından yapılan çalışmada, 2007 yılında ABD 'de meydana gelen Valero Rafinerisi kazasının eşik değer temelli yaklaşım ile analiz edilmesi

hedeflenmiştir. Bayes ağı, Probit model, ALOHA yazılımı analiz için kullanılmıştır. Kazanın doğal bir tehlike tarafından tetiklendiği, bir kontrol istasyonunda boruların donduğu, bir giriş borusu dirseğinin çatladığı ve bunun hızla tutuşan yüksek basınçlı sıvı propan salımına yol açtığı tespit edilmiştir. Termal radyasyon için atmosferik ekipmanda eşik değeri 15 Kw/m^2 üzeri ve 50m güvenlik mesafesi önerilmiştir. Basınçlı kaplar için ise 40kw/m^2 üzeri ve 25m alev uzunluğu önerilmiştir. EX1, EX2 ve SP Kodlu ekipmanlarda termal radyasyon değeri $19,17 \text{ kW/m}^2$ olarak hesaplanmıştır, olması gereken eşik değerlerinden yüksek bulunan bu değer kazayı tetikleme olasılığının fazla olduğunu göstermiştir. EX1, EX2 ve SP'nin BS1 üzerindeki sinerjik etkisi $11,64 \text{ kW/m}^2$ olarak hesaplanmıştır ve eşik değerinden daha küçüktür. Dolayısı ile kazayı tetiklemek için yeterli etkiye sahip değildir (Naderpour ve Khakzad, 2018).

Lannaccone vd.(2019) tarafından yapılan çalışmada LNG tankı için öngörülen teknolojilerin doğal güvenlik performansının karşılaştırmalı bir analizinin yapılması amaçlanmıştır. Anahtar Performans Göstergesine(KPI) dayanan bir yaklaşım geliştirilmiştir. Değerlendirmede LOC ve kredi faktörleri kullanılmıştır. Bu çalışmada analiz edilen alternatif gemi sistemleri için düşünülen bloklar: Kavram A (kıyıdan gemiye LNG bunkering); Konsept B (gemiden gemiye LNG bunkering); Konsept C (kıyıdan gemiye IFO bunkering); Kavram D (kıyıdan gemiye MGO bunkering). (LNG: sıvılaştırılmış doğal gaz; IFO: ara akaryakıt; MGO: Deniz gazı yağı) şeklindedir. Domino eskalasyonu için kabul edilen değerler; parlama yangını, alt yanıcılık sınırı; jet yangını $15\text{-}50 \text{ kW/m}^2$, havuz yangını $15\text{-}50 \text{ kW/m}^2$, buhar bulutu patlaması $0,16\text{-}0,22\text{bar}$ şeklindedir. Belirtilen blokların *UPI*, *UHI*, *UPD* gibi değerleri bazı matematiksel methodlarla hesaplanmıştır. Analiz, Konsept A'da LNG depolama tanklarının en yüksek *UPI* ve *UPD*'yi oluşturduğunu kanıtlanmıştır. Kıyı tesisinde bulunan depolama tankları, depolanan en fazla miktarda tehlikeli madde nedeniyle en yüksek *UPI* ve *UPD* değerlerine sahiptir. *UPI*, *UPD* gibi değerler hesaplanırken hasar eşiği, güvenlik mesafesi gibi etkilerde hesaplamalara dahil edilmiştir. Yapılan analiz ile Kavram C 'nin değerleri en yüksek dolayısıyla riskli çıkmıştır (Lannaccone vd., 2019). Literatür çalışmalarının özeti Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Domino kazalarının modellenmesine yönelik literatür özeti

<i>Referans</i>	<i>Çalışmanın Başlığı</i>	<i>Çalışmanın Amacı</i>	<i>Çalışmada Kullanılan Yöntemler</i>	<i>Çalışmada Elde Edilen Sonuçlar</i>
Basheer vd. (2019) Journal Of Failure Analysis And Prevention	Kimyasal Proses Endüstrilerinde Kaza Riski Değerlendirme Metodolojileri	Kimyasal proses endüstrilerinde kaza riskini değerlendirmek için hâlihazırda geliştirilmiş ve halen gelişmekte olan yöntemlere genel bir bakış açısı sunulması hedeflenmiştir.	FTA, ETA, HAZOP, RCA, Petri Ağları, Regresyon, QRA, STEP, MORT, SCAT, PRA, AEB, CPI	Tek bir analizden ziyade birden çok analiz ile kazalar ve kaza simülasyonları değerlendirmeleri yapılmalıdır.
Santana vd.(2021) Engineering Error Analysis	Domino Etkisi Kazalarında Termal Radyasyona Bağlı Arıza Olasılığını Belirlemek İçin Yeni Bir Fuzzy- Bayes Yaklaşımı	Havuz yangınlarına bağlı domino etkisinin yayılımı durumunda başarısızlığı analiz etmek ve başarısızlık olasılığını değerlendirmek hedeflenmiştir.	Bulanık-Bayes Yaklaşımı, HAZOP ALOHA	Eşik değerlerin üzerindeki veriler ve sinerjik etkiler göz önüne alındığında tank 103 ve 703 'de domino etkisi riskinin en fazla olduğu tespit edilmiştir. Eşik değerin ve sinerjik etkilerin mevzuata göre ayarlanması gerektiği uygun görülmüştür.

Çizelge 3.4. (devam) Domino kazalarının modellenmesine yönelik literatür özeti

Referans	Çalışmanın Başlığı	Çalışmanın Amacı	Çalışmada Kullanılan Yöntemler	Çalışmada Elde Edilen Sonuçlar
Zhang vd.(2019) Journal of Loss Prevention in Process Industries	Depolama Tankı Bölgesindeki Kaza Zincirinin Analizine Dayalı Olarak Domino Etkisinin Yayılma Olasılığı	Geçmiş kaza analizi ve tank çiftliği için kaza zincirindeki düğümlerin tanımının verilmesi, yayılma süreci için teorik model oluşturulması hedeflenmiştir.	Evrin Modeli Göreceli Olasılık Olay Ağacı Genişletilmiş Etki Olasılığı Hesaplama Modeli	Kazaların çoğunluğunun patlama ile sonuçlandığı görülmüştür. Atmosferik basınçlı ekipmanlarının eşik değerleri hesaplanmıştır. Domino kazasının meydana gelmesinde esas olanın ikinci kaza olduğu anlaşılmıştır. Atmosferik basınçlı ekipmanlarda olması gereken eşik değer 22 kPa'dır.
Yang vd. (2020) Reliability Engineering and System Safety	Havuz Yangını Tek Başına Domino Etkisi Yaratabilir Mi?	Havuz yangınının tek başına proses ve depolama tesislerinde domino olayına neden olup olamayacağının analizi amaçlanmıştır.	Katı Alev Modeli, Hesaplamalı Akışkan Dinamiği Modeli(CFD), Probit Modeli	Havuz yangınlarının tek başına domino etkisine neden olabileceği gösterilmiştir. Bunu engellemek için ekipmanların uygun güvenlik mesafeleri ile ayrılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Çizelge 3.4. (devam) Domino kazalarının modellenmesine yönelik literatür özeti

<i>Referans</i>	<i>Çalışmanın Başlığı</i>	<i>Çalışmanın Amacı</i>	<i>Çalışmada Kullanılan Yöntemler</i>	<i>Çalışmada Elde Edilen Sonuçlar</i>
Zhou ve Reniers (2018) Process Safety and Environmental Protection	Yangına Bağlı Domino Etkileri İçin Matris Tabanlı Modelleme Ve Analiz Yaklaşımı	Etkilenen birimleri modellemek için matris tabanlı bir yaklaşım ve kazaların olasılık hesaplaması için simülasyon tabanlı bir algoritma önerilmesi hedeflenmiştir.	Matris Tabanlı Yaklaşım, Simülasyon Tabanlı Algoritma	Hangi tanklarda olasılığın fazla olduğu matris tabanlı yaklaşım ile bulunmuştur. Aynı anda birden fazla birincil yangın koşulu altında yayılma olasılığı, önerilen yaklaşım kullanılarak kolayca analiz edilebilmiştir. D2 ve D4 tankının alev alma olasılığının daha fazla olduğu tespit edilmiştir.
Jiang vd.(2019) Journal of Loss Prevention in Process Industries	Kimyasal Depolama Tesislerinde Tank Kırılabilirliğinin Değerlendirilmesi Ve Domino Etkisi Analizi	Domino etkisi durumunda tankların kırılabilirliğinin çoklu kaza senaryosu ile değerlendirilmesi hedeflenmiştir.	Entropi ağırlık yöntemi, Karmaşık ağ modeli, TOPSIS modeli, Risk matrisi, Bayes Ağı, PHAST7.2	Radyasyon ve aşırı basınç için olması gereken değerler sunulmuştur. T1 tankı en riskli bulunmuştur.

Çizelge 3.4. (devam) Domino kazalarının modellenmesine yönelik literatür özeti

Referans	Çalışmanın Başlığı	Çalışmanın Amacı	Çalışmada Kullanılan Yöntemler	Çalışmada Elde Edilen Sonuçlar
Naderpour ve Khakzad (2018) Process Safety and Environmental Protection	Teksas LPG Yangını: Doğal Afetlerin Tetiklediği Domino Kazaları	2007 yılında ABD ‘de meydana gelen Valero Rafinerisi kazasının eşik değeri temelli yaklaşım ile analiz edilmesi hedeflenmiştir.	Bayes Ağı, Probit Model, ALOHA Yazılımı	Ekipmanların eşik değerleri mevzuattaki eşik değerlerden daha fazla çıkmıştır.
Iannaccone vd. (2019) Ocean Engineering	LNG Gemilerine Yakıt İkmalı İçin Alternatif Teknolojilerin Yapısal Güvenlik Değerlendirmesi	LNG bunkering için öngörülen teknolojilerin doğal güvenlik performansının karşılaştırmalı bir analizinin yapılması amaçlanmıştır.	Anahtar Performans Göstegesine(KPI) dayanan bir yaklaşım, LOC ve kredi faktörleri	Kurgulanan senaryoda eşik değerleri ve bazı değerlerin değerlendirilmesi yapılarak riskli durumlar belirlenmiştir.

Makalelerde yer alan modellerin analizinde, bir analiz yöntemi kullanmaktansa birçok analiz yöntemi kullanılıp kazanın kök nedenlerinin daha iyi detaylandırabileceği görülmüştür. Her yazılım ve analiz yöntemlerinin avantajı ve dezavantajı vardır. Çizelge 3.3’de bu detaylara yer verilmiştir. Çizelge 3.5’de ise en çok tercih edilen bazı yazılımların karşılaştırılması yapılmıştır.

Çizelge 3.5. ALOHA, KORA ve PHAST yazılımlarının karşılaştırılması (Lee vd., 2018)

PARAMETRE	ALOHA	KORA	PHAST
Gauss Atmosferik Difüzyon	✓	✓	X
Boşaltma Modeli	X	X	✓
Çok Bileşenli Uzantı Modeli	X	X	✓
Kimyasal Sayısı	1000	1000	1000
Karışık Kimyasallar	X	X	✓
Kullanım	Birçoğu	Kore Yönetmeliği	Ticari Kullanım
Haritalama	Google Earth	V-World	Google Earth

Çizelge 3.5’den, her yazılımın sahip olduğu avantaj ve dezavantajlar görülmektedir. ALOHA ve KORA ücretsiz erişim sağlarken, PHAST, üç boyutlu (3D) sonuçlar sunmaktadır. ALOHA'nın bazı sınırlamaları vardır: sonuçların 3D modellemesi yapılamaz, kimyasal reaksiyonlar için kullanılamaz. KORA 3 boyutlu konsantrasyonda sonuç veremez. PHAST lisanslı bir yazılımdır (Lee vd., 2018). ALOHA, Amerikan EPA kuruluşunun yayımladığı, internet üzerinden indirilebilen basit ama kullanışlı, ücretsiz bir yazılımdır. Gerçek ya da potansiyel kimyasal yayılımlar hakkında detaylar girilmesini ve tehdit bölgelerinin çıkmasını sağlamaktadır. Modellediği tehlikeler; zehirli gaz bulutları, yanıcı gaz bulutları, BLEVE, jet yangınları, havuz yangınları, buhar bulutu patlamalarıdır. Tehdit bölgesi, kırmızı, turuncu ve sarı renklerle bir ızgarada gösterilmekte, Google Earth ve haritalarda çizimi yapılabilmektedir. Kırmızı renk en kötü tehlike seviyesini göstermekte, turuncu ve sarı renklerle ise azalan tehlike alanlarını temsil etmektedir.

ALOHA’ da modelleme için gerekli veriler;

- Bina tipi ve çevresel özellikleri
- Kimyasal türü, saf veya karışım olup olmadığı
- Kaynak tipi: direkt, tank, birikinti, boru hattı
- Atmosferik özellikler: rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, rüzgâr ölçüm yüksekliği, ortam pürüzlülüğü, bulutluluk oranıdır (Olgun, 2019).



4. MATERYAL VE METOD

Kimyasal kuruluşlarda proses kazalarının domino etkilerine yönelik güvenlik mesafelerinin belirlenmesi kapsamında 4 aşamaya dayanan yeni bir metodoloji önerisi getirilmiştir. Önerilen metodolojinin saha uygulaması da gerçekleştirilmiştir.

4.1. Domino Etkisi İçeren Endüstriyel Kaza Örneklerinin Analizi

Domino etkisi içeren geçmiş endüstriyel kaza örnekleri analiz edilerek birincil senaryo, eskalasyon vektörleri ve ikincil kazaların tespiti ile senaryo bazlı muhtemel hasar tahminleri yapılması hedeflenmiştir.

Dünya üzerinde meydana gelen domino kazalarına bakıldığında (Bkz. Çizelge 2.1) en çok ölümün ve hasarın olduğu kaza, Mexico City kazasıdır. LPG kimyasalından kaynaklanan bir kazadır ve çoğu kaza analiz edildiğinde domino kazasına neden olan kimyasalın LPG olduğu (%27) belirlenmiştir (Cozzani vd., 2005). LPG kimyasalının dahil olduğu domino kazalarının depolama, yükleme ve boşaltma operasyonları ile boru hatlarında teknik arıza ve diğer sebeplerden meydana geldiği görülmüştür. Bu kazalar ise çoğunlukla yangın şeklinde meydana gelmiştir. Domino kazalarını tetikleyen sebepler sırasıyla harici olaylar, mekanik arıza ve insan hatasıdır (Vílchez vd., 1995).

Yakın günümüze ait domino kazaları araştırıldığında, 2018 yılında Çek Cumhuriyeti'nde petrokimya alanında bir domino kazası meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu kaza ile 6 kişi hayatını kaybetmiş, 2 kişi yaralanmış ve tesiste 2,5 milyon €'dan fazla hasar meydana gelmiştir. 2023 yılında Romanya'da bir tesiste yine petrokimya alanında domino kazası meydana gelmiştir. Bu kaza ile ise 1 kişi hayatını kaybetmiş, 6 kişi yaralanmış ve 2,5 milyon €'dan fazla hasar meydana gelmiştir (eMARS, 2020).

Ülkemizde gerçekleşen domino kazası ya da domino ramak kalalar incelendiğinde yine LPG kimyasalının öne çıktığı görülmüştür. Bunun yanı sıra patlayıcı madde endüstrisinde kazaların fazlalığı dikkat çekmiştir. 17 Ağustos 1999 depreminden kaynaklanan Tüpraş İzmit Rafinerisinde meydana gelen yangın akaryakıt tanklarına ilerleyerek büyük bir yıkım haline dönüşmüştür. 2013 yılında Gaziantep'te bir tesiste hatalı monte edilen buhar kazanında gaz sıkışması ile patlama meydana gelmiştir. 7 kişi ölmüş, 7 kişi yaralanmıştır.

İzmir Aliğa TÜPRAŞ'ta ise 2017 yılında boş nafta tankındaki bakım sırasında, gaz sıkışmasının neden olduğu bir başka patlama meydana gelmiştir. Bu patlamayı, ikinci ve üçüncü patlamalar izlemiştir. 2018 yılında Ankara'da organize sanayi bölgesinde taş yünü fabrikasında yağ tankında patlama meydana gelmiş, 1 kişi yaralanmıştır.

Kimyasal kuruluşlar, tehlikeli madde miktarı ve özellikleri ile işletme koşullarına bağlı olarak riske sahiptir. Çoğu kimyasal kuruluşlar gruplar halinde yerleşmiş olmasına rağmen güvenlik çalışmalarının büyük bir kısmı tesise özeldir. Kuruluşların birlikte bütüncül risk analizi domino risklerini azaltmada önemli bir ihtiyaçtır.

Kazaların şiddeti, birincil senaryonun neden olduğu fiziksel etkilere (termal radyasyon, pik basıncı vb.) dayanır. Domino kazalarında bu fiziksel etkiler eskalasyon(yükselme) vektörüdür. Domino kazaları, birincil senaryo, eskalasyon vektörleri ve bir veya daha fazla ikincil senaryodan oluşur.

Birincil senaryolar, parlama yangını, havuz yangını, jet yangını, ateş topu, kaynayan sıvı genişleyen buhar patlaması (BLEVE), sınırlı patlama (CE), mekanik patlama (ME) ve buhar bulutu patlaması (VCE) olabilir (Cozzani vd., 2005). Kazaların yayılmasına neden olabilecek eskalasyon vektörleri ise termal radyasyon, alev çarpması, aşırı basınç ve parça projeksiyonun oluşur (Alileche vd., 2015). Havuz yangını, jet yangını ve ateş topu, termal radyasyon ve alev çarpması ile eskalasyon vektörlerini tetiklerken; BLEVE, ME ve VCE, aşırı basınç vektörlerini ve parça projeksiyonunu tetikler. Yangının neden olduğu domino etkileri zamana bağlıyken, patlamanın neden olduğu domino etkileri zamana bağlı değildir (eş zamanlı gerçekleşir). Birincil senaryolar, eskalasyon vektörlerinin etkisiyle birincil senaryodan daha ciddi ikincil senaryolar oluşturur. Her bir eskalasyon vektörünün şiddeti, birincil muhafaza sisteminden salınan toplam enerji (veya madde) miktarı ile orantılıdır. Atmosferik ve basınçlı ekipmanlar için eskalasyon yüksek enerjili birincil senaryolar gerçekleştiğinde meydana gelmektedir.

4.2. Domino Senaryolarının Oluşturulması

Endüstriyel kuruluşlarda domino kazalarının fiziksel etki mesafelerinin belirlenmesine yönelik tehlikeli kimyasal türü, ekipman türü, proses yerleşim planı ve mesafeleri dikkate alınarak senaryolar oluşturulması hedeflenmiştir. Çizelge 4.1' de domino oluşum

mekanizması dikkate alınarak kimyasal kuruluşlarda meydana gelebilecek muhtemel domino senaryoları verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kimyasal kuruluşlarda meydana gelebilecek muhtemel domino senaryoları

<i>Yangın ile Başlayan Domino Senaryoları</i>		
<i>Birincil Senaryo</i>	<i>Eskalasyon Vektörü</i>	<i>Beklenen İkincil Senaryo</i>
<i>Havuz Yangını</i>	Radyasyon ve Alev Çarpması	Jet Yangını, Havuz Yangını BLEVE veya Toksik Yayılım
<i>Jet Yangını</i>		Jet Yangını, Havuz Yangını BLEVE veya Toksik Yayılım
<i>Ateş Topu</i>		Tank Yangını
<i>Parlama Yangını</i>	Alev Çarpması	Tank yangını
<i>Patlama ile Başlayan Domino Senaryoları</i>		
<i>Birincil Senaryo</i>	<i>Eskalasyon Vektörü</i>	<i>Beklenen İkincil Senaryo</i>
<i>Mekanik Patlama(ME)</i>	Parçalar ve Aşırı Basınç	Jet Yangını, Havuz Yangını, Parlama Yangını, Ateş Topu, BLEVE, Toksik Yayılım, VCE, ME, CE
<i>VCE</i>		Jet Yangını, Havuz Yangını, Parlama Yangını, Ateş Topu, BLEVE, Toksik Yayılım, VCE, ME, CE
<i>Kapalı Patlama(CE)</i>	Aşırı Basınç	Jet Yangını, Havuz Yangını, Parlama Yangını, Ateş Topu, BLEVE, Toksik Yayılım, VCE, ME, CE
<i>BLEVE</i>	Aşırı Basınç ve Alev Çarpması	Jet Yangını, Havuz Yangını, Parlama Yangını, Ateş Topu, BLEVE, Toksik Yayılım, VCE, ME, CE
<i>Toksik Yayılım</i>	-	-

Çizelge 4.1' den, toplam 10 adet yangınla başlayan senaryo, toplam 36 adet patlama ile başlayan domino senaryosu elde edilmiştir. Örneğin, havuz yangını birincil senaryo

olduğunda, eskalasyon vektörü radyasyon ve alev çarpmasıdır. İkincil senaryo jet yangını olarak düşünülürse bir domino senaryosu kurgusu tamamlanmış olur. Aynı birincil senaryo ve eskalasyon vektörü için ikincil senaryo havuz yangını olduğunda başka bir domino senaryosu oluşturulur. Geçmiş kaza analizlerinden havuz yangının en sık meydana gelen birincil senaryo olduğu, bunu VCE ve ME patlamalarının izlediği görülmüştür (Cozzani vd., 2005). Kuruluşların geçmiş kaza verilerini, tehlikeli kimyasal miktarını ve özelliklerini, proses koşullarını dikkate alarak uygun domino senaryolarını belirlemesi önemlidir.

4.3. Hasar Eşikleri, İlgili Eskalasyon Vektörü ve Güvenlik Mesafeleri Belirlenerek Domino Etkileri İçin Eşik Değerlerin Tespiti

Eskalasyon etkilerinin güvenilir olarak kabul edilebileceği minimum mesafe “güvenlik mesafesi” olarak tanımlanabilir ki bu mesafe birincil senaryolardan daha ciddi etkiler içeren ikincil senaryoların meydana gelmemesi için eşik mesafedir. Geçmiş kazalar, bilimsel çalışmalar (Cozzani vd., 2017) ve ülke uygulamaları dikkate alınarak bu tez çalışmasında önerilen eskalasyon güvenlik mesafeleri Çizelge 4.2’ de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Önerilen eskalasyon güvenlik mesafeleri

Birincil senaryo	Eskalasyon vektörü	Beklenen İkincil Senaryo	Ekipman kategorisi	Eşik değeri	Güvenlik mesafesi
Ateş topu	Termal radyasyon	Tank Yangını	Atmosferik Basınçlı	100 kW/m ² (korumalı öge) -	Ateş topu yarıçapı+25m -
Jet yangını	Termal radyasyon	Jet yangını, havuz yangını, BLEVE, toksik yayılım	Atmosferik Basınçlı	8 kW/m ² (korumasız öge) 35 kW/m ² (korumalı öge)	Alev uzunluğu + 50 m Alev uzunluğu + 25 m
Parlama Yangını	Termal radyasyon	Jet Yangını, Havuz Yangını, Parlama Yangını, Ateş Topu, Tank yangını, BLEVE, Toksik Yayılım, VCE, ME, CE	Atmosferik Basınçlı	8 kW/m ² (korumasız öge) 35 kW/m ² (korumalı öge)	Max. Yanabilir mesafe (sonuç analizi ile belirlenir)
Havuz yangını	Termal radyasyon	Jet yangını, havuz yangını, BLEVE, toksik salım	Atmosferik Basınçlı	8 kW/m ² (korumasız öge) 35 kW/m ² (korumalı öge)	Havuz sınırı + 50 m Havuz sınırı + 15 m
Buhar bulutu patlaması (VCE)	Aşırı basınç ($F \geq 5$; $M_f \geq 0,35$)	Jet Yangını, Havuz Yangını, Parlama Yangını, Ateş Topu, Tank yangını, BLEVE, Toksik Yayılım, VCE, ME, CE	Atmosferik Basınçlı	22 kPa(korumasız öge) 45 kPa(korumalı öge)	$R = 1,75$ m $R = 1,35$ m
Mekanik Patlama(ME)	Aşırı basınç Parça projeksiyonu	Jet Yangını, Havuz Yangını, Parlama Yangını, Ateş Topu, Tank yangını, BLEVE, Toksik Yayılım, VCE, ME, CE	Atmosferik Basınçlı	22 kPa(korumalı öge) 45kPa 500m	$R = 1,80$ m $R=1,20$ m Parça menzili

Çizelge 4.2. (devam) Önerilen eskalasyon güvenlik mesafeleri

Birincil senaryo	Eskalasyon vektörü	Beklenen İkincil Senaryo	Ekipman kategorisi	Eşik değeri	Güvenlik mesafesi
<i>Kapalı Patlama(CE)</i>	Aşırı basınç	Jet Yangını, Havuz Yangını, Parlama Yangını, Ateş Topu, Tank yangını, BLEVE, Toksik Yayılım, VCE, ME, CE	Atmosferik Basınçlı	22 kPa(korumalı öge) 45kPa	<i>Havalandırmadan 20 m uzakta</i> <i>Havalandırmadan 20 m uzakta</i>
BLEVE	Aşırı basınç Parça projeksiyonu	Jet Yangını, Havuz Yangını, Parlama Yangını, Ateş Topu, Tank yangını, BLEVE, Toksik Yayılım, VCE, ME, CE	Atmosferik Basınçlı Herhangi biri	22 kPa(korumasız öge) 45 kPa(korumalı öge) 500 m	<i>R = 1,80 m</i> <i>R = 1,20 m</i> Parça menzili
Toksik Yayılım	-	-	-	-	-

R: Ölçülenmiş enerji mesafesi

Çizelge 4.1’ de sunulan muhtemel domino senaryolarının tümünü kapsar nitelikte güvenlik mesafeleri oluşturulmaya çalışılmıştır. Domino kazalarının analizinde birincil kaza senaryosu ile oluşan fiziksel etkilerden hasar görecektir ekipmanın (basınçlı, atmosferik) belirlenmesi gereklidir. Hedef ekipmanın hasarına neden olacak minimum fiziksel etki değerinin (eskalasyon eşiği) tanımlanması önemlidir. Eskalasyon eşikleri, önemli bir ön değerlendirme aracıdır. Bu noktada, birincil senaryoların sonuç analizi ile belirlenen minimum eskalasyon yarıçapı eşik değerleriyle kolayca karşılaştırılabilir (Cozzani vd., 2007). Bu yöntem basit ve şeffaftır, hesaplama kaynakları sınırlandırılmıştır. Kantitatif risk analizinde, hasar modellerinde, mevzuatta ve standartlarda eşik değer yaklaşımı mevcuttur (Lees, 1996; Bagster ve Pitblado, 1991; Contini vd., 1998; Bosh vd., 1997, Cozzani vd., 2006). Ancak, domino eskalasyonu için eşik değerlerin belirsizliğinin giderilmesine yönelik çalışmalara ihtiyaç vardır. Atmosferik ve basınçlı ekipmanlar için bu tez çalışmasında

önerilen zarar görebilirlik ve bütünlük kaybı kategorileri sırasıyla Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4’ te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Zarar görebilirlik kategorileri ve tanımları

	Sağlık ve Güvenlik Etkileri	Maddi Hasar	Çevre Kaybı	İtibar Kaybı
ZG1	<i>Önemli Yaralanma</i> Tesis içerisinde çalışanların, alt yüklenicilerin veya genel halkın hayatını değiştirebilecek türde yaralanma	<i>Hafif hasar</i> Tesiste veya tesis dışında \$100K - \$1M arası değerinde Hasar	<i>Önemli</i> ERPG-2 Saha dışına gözle görülür ve etkisi olan sızıntı. Toplum kaygısı ve medya ilgisi.	<i>Önemli</i> Komşu tesisler ve yakın bölgedeki toplum üzerinde zarar (finansal ve hayat kalitesini etkileyici), yerel basın ilgisi.
ZG2	<i>Saha İçinde/Dışında Ölüm</i> Bir veya daha fazla saha dışında ölü veya saha içinde birden fazla ölüm veya saha dışında toplu ciddi yaralanma	<i>Şiddetli veya yıkıcı hasar</i> Tesiste veya tesis dışında > \$10M değerinde hasar	<i>Felaket</i> >ERPG-3 Saha dışına felaket boyutunda etkiler yaratacak kaçak ve uluslararası medya ilgisi.	<i>Şiddetli</i> Firmanın tüm paydaşlarına zarar, uluslararası medya ilgisi.

Çizelge 4.4. Bütünlük kaybı kategorileri ve tanımları

BK1	Küçük Kayıp	10 dakikadan fazla bir zaman aralığında kısmi envanter kaybı veya toplam envanter kaybı
BK2	Ciddi Kayıp	1 - 10 dakika arasındaki bir zaman aralığında kısmi envanter kaybı veya toplam envanter kaybı
BK3	Felaket	1 dakikadan kısa bir zaman aralığında anlık toplam envanter kaybı

Atmosferik ve basınçlı ekipmanlar için bütünlük kaybı ve zarar görebilirliğin birleştirilmesi ile oluşturulan domino kaza matrisi Çizelge 4.5’ te sunulmuştur.

Çizelge 4.5. Atmosferik ve basınçlı ekipmanlar için önerilen zarar görülebilirlik ve bütünlük kaybı domino kaza matrisi (İkincil senaryo temelli)

	Atmosferik		Basınçlı
	ZG1	ZG2	ZG2
BK1-yanıcı	Küçük havuz yangını (Düşük)		Küçük jet yangını (Yüksek)
BK1-toksik	Buharlaştan döküntü (Düşük)		Kaynayan döküntü Jet toksik yayılım (Yüksek)
BK2-yanıcı		Havuz yangını Parlama yangını VCE (Yüksek)	Jet yangını Parlama yangını VCE (Yüksek)
BK2-toksik		Buharlaştan döküntü Toksik yayılım (Yüksek)	Kaynayan döküntü Jet toksik yayılım (Yüksek)
BK3-yanıcı		Havuz yangını Parlama yangını VCE (Yüksek)	BLEVE/ateş topu Parlama yangını VCE (Yüksek)
BK3-toksik		Buharlaştan döküntü Toksik yayılım (Yüksek)	Kaynayan döküntü Toksik yayılım (Yüksek)

Çizelge 4.1’ deki birincil senaryolar dikkate alındığında bütünlük kaybının yanıcı veya toksik kimyasalın salımı ile başlayabileceği söylenebilir. Bu salımlar ile her iki ekipman türünün de yüksek oranda etkilenecek ikincil senaryolar oluşturup domino kazası meydana getirebileceği ise Çizelge 4.4’ ten anlaşılmaktadır.

4.4. Fiziksel Etki Mesafelerinin Belirlenmesi ve Domino Etkilerinin Tespiti

Fiziksel etkilerin ve mesafelerin belirlenmesinde yazılım ya da korelasyonlar kullanılabilir. Yazılımlar korelasyonları temel alan pratik araçlardır. Tez çalışmasında, ücretsiz ALOHA 5.4.7.0 yazılımı kullanılmıştır. ALOHA, gerçek ya da potansiyel kimyasal yayılımların hakkında detaylar girilmesini ve tehdit bölgelerinin çıkmasını sağlamaktadır. Modellediği

tehlikeler; zehirli gaz bulutları, yanıcı gaz bulutları, BLEVE, jet yangınları, havuz yangınları buhar bulutu patlamalarıdır. Tehdit bölgesi, kırmızı, turuncu ve sarı renklerle bir ızgarada gösterilmekte, Google Earth görüntüsü sağlanabilmektedir. Kırmızı renk en kötü tehlike seviyesini; turuncu ve sarı renkleri ise azalan tehlike seviyelerini temsil etmektedir (Olgun,2019).Yazılım kütüphanesinde yer almayan kimyasallar için Çizelge 4.1’ de sunulan birincil senaryoları kapsar nitelikte güvenlik mesafeleri ile ilişkilendirilecek korelasyonlar ise aşağıda sunulmuştur:

4.4.1. BLEVE

BLEVE, hem yanıcı hem de yanıcı olmayan sıvılaştırılmış gazları içermektedir. ALOHA yazılımı yalnızca yanıcı özellikteki BLEVE’ leri modellemektedir. Yaygın bir BLEVE senaryosu, sıvılaştırılmış gazdan oluşan bir konteynerin ateşle ısıtıldığında meydana gelir ve tank parçalanıp bozulana kadar konteyner içindeki basıncı artırır. Kap bozulduğunda, kimyasal, bir patlamayla açığa çıkar. Kap bozulduğunda kimyasal kaynama noktasının üzerindeyse, sıvının bir kısmı veya tamamı ani kaynar, yani anında gaz haline gelir. Kimyasal yanıcı ise, kimyasalın önemli bir miktarı ani kaynadığında ateş topu adı verilen yanan bir bulut oluşturur. Yazılım, ateş topunda tüketilmeyen herhangi bir sıvının havuz yangını oluşturacağını var sayar. Potansiyel BLEVE tehlikeleri arasında, termal radyasyon, ani basınç, tehlikeli parçalar, duman ve yangından kaynaklanan toksik yan ürünler bulunur (ALOHA Kullanım Kılavuzu, 2007).

BLEVE kazalarında genellikle patlamaların gücü, TNT eşdeğerlilik metodu (Eş. 4.1) ile hesaplanmaktadır. TNT eşdeğerlik yöntemi, patlama bölgesine yakın patlama aşırı basıncının çok gerçekçi sonuçlarını vermektedir (Durmuş ve Çetinyokuş, 2022).

$$W_{TNT} = \eta.(M_{\Delta HC} / \Delta H_{TNT}) \quad (4.1)$$

Burada, W_{TNT} ; TNT ‘nin eşdeğer kütlesi(kg), M; kütle (kg) , ΔH_c ; malzemenin alt ısı değeri (kJ/kg), ΔH_{TNT} ; patlama enerjisi (4680 kJ/kg) ve η ise patlama verimidir.

Hidrokarbonlar buhar bulutu patlamalarına dahil olan en yaygın maddelerdir. Ancak, oldukça zayıf patlayıcılardır ve açığa çıkan enerjinin sadece küçük bir kısmı patlama

dalgasını oluşturmak için kullanılır. Bu oran çeşitli kaynaklarda %1 -10 olarak önerilir, ancak %3 ($\eta=0,03$) genel kabuldür.

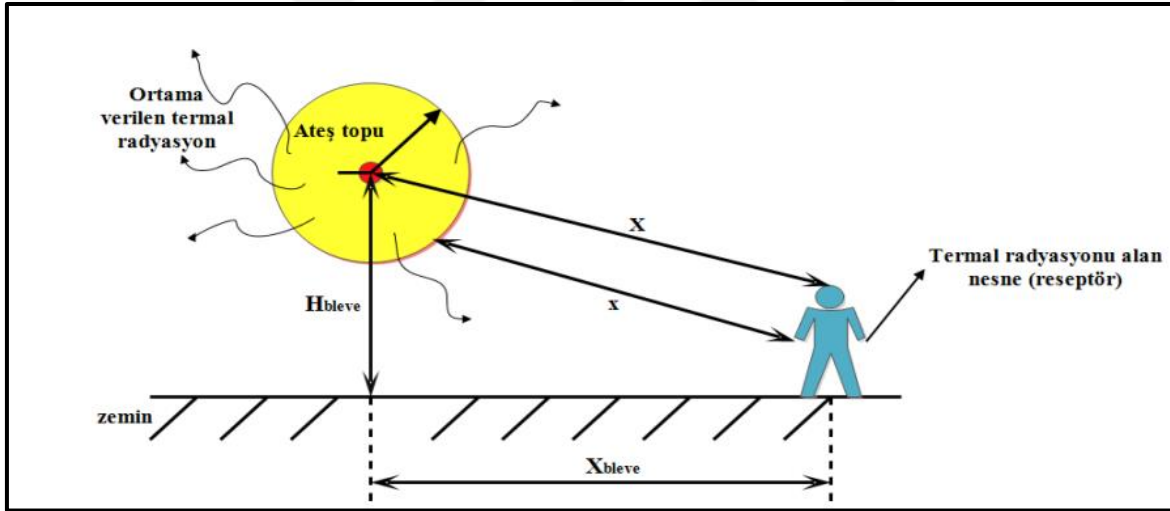
$$dn = R/W_{TNT} \quad (4.2)$$

$$\Delta P/ P_0 = 1/ dn + 4/ dn^2 + 12/ dn^3 \quad (4.3)$$

Burada, dn ; ölçekli mesafe($m \cdot kg^{-1/3}$), R ; ideal gaz sabiti ($8.314 J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$), W_{TNT} ; TNT'nin eşdeğer kütlesi(kg), ΔP ; Buhar basıncı değişimi (bar or $N \cdot m^{-2}$), P_0 ; atmosferik basınç(bar), dn ; ölçekli mesafe($m \cdot kg^{-1/3}$).

Ateş topu

BLEVE'ye bağlı ateş topu termal radyasyon alanının gösterimi Şekil 4.1' de sunulmuştur.



Şekil 4.1. Ateş topu radyasyon etkisi

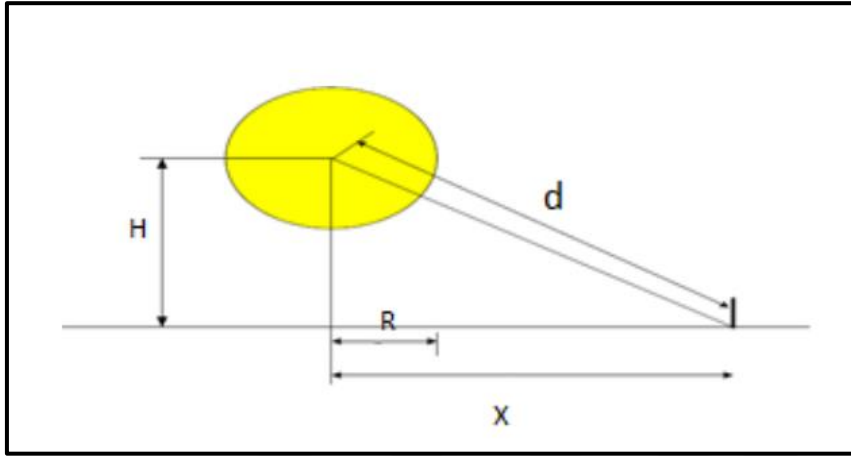
BLEVE ateş topu termal radyasyon etkilerinin belirlenmesinde katı alev modeli kullanılabilir. Bu modelde, ateş topunun maksimum çapı (Eş. 4.4) ve süresi (Eş. 4.5) ile yüksekliği (Eş. 4.4) hesaplanır.

$$D = a \cdot M^b \quad (4.4)$$

$$t = c \cdot M^d \quad (4.5)$$

$$H= 0,75.D \quad (4.6)$$

Burada D, ateş topunun (m) maksimum çapı; t, ateş topunun maksimum süresi (s) ve M yakıtın kütlesi (kg)'dir. a, b, c, d ise deneysel belirlenmiş birer sabittir. LPG için a, b, c, d sabitleri sırasıyla 6,48; 0,325; 0,825 ve 0,26 olarak kabul edilir (Dhuhander vd., 2015). Ateş topunun geometrik gösterimi Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Ateş topunun geometrik gösterimi (Casal, 2010)

Buhar bulutu patlaması

Kimya endüstrisinde, en tehlikeli ve tahrip gücü yüksek patlama türüdür. Bu tür patlamalar sıralı birkaç adımda oluşur. Ani olarak çok büyük bir miktarda alevlenebilir sıvı maddenin çevreye yayılması ilk aşamayı oluşturur. Bu tipik olarak bir kap içinde aşırı ısıtılmış ve basınç altındaki sıvının bir patlaması sonucu çevredeki atmosfere yayılmasıyla olabilir. İkinci aşamada ise bu buhar bulutu herhangi bir kaynaktan tutuşarak alev alır.

$$R=d/(E/P_o)^{1/3} \quad (4.7)$$

Burada E:Patlama enerjisi(J); P_o : atmosferik basınç(Pa); d:patlamanın merkezinden aşırı basıncın tahmin edilmesi gereken noktaya kadar olan gerçek mesafe(m); R:yanma enerjisi ölçekli mesafedir.

Mekanik Patlama

Kapalı kapların ve kazanların fiziksel etmenler sebebiyle iç basınçlarının artması ve basınç giderici bir elemanın bulunmaması durumunda, kabın direncini aşan basınç, kabın infilak etmesine neden olur. Gürültülü bir patlama çeşididir. ALOHA yazılımı mekanik patlamayı modellememektedir.

Kapalı patlama

Kısıtlı bir alanda veya kapalı bir hacimde yanıcı özellikli toz tanelerinin, ateşleyici sebeplere maruz kalması ve oksijenle tepkimeye girmesi sonucunda ortaya çıkan patlama türüdür. Kapalı bir alanda patlayan toz taneleri, patlama etkisi ile yeniden havaya karışarak ikincil bir patlama oluşturabilirler (Glasstone vd., 1977).

Parça Menzili

Parçalar silindirik tanklardan fırladığında ulaştığı mesafe genellikle küresel kaplardan fırlayan parçaların ulaştığı mesafeden daha fazladır. Bunu hesaplamak için, parçanın başlangıç hızı ve kütlesi gereklidir. Silindirik tank parçalarının menzili tahmini için aşağıdaki basit ifadeler önerilmiştir.

$$\text{Kapasitesi } 5 \text{ m}^3 \text{ den küçük olan tanklar için: } I=90 \cdot M^{0,33} \quad (4.8)$$

$$\text{Kapasitesi } 5 \text{ m}^3 \text{ den büyük olan tanklar için: } I=465 \cdot M^{0,1} \quad (4.9)$$

Burada M, kapta bulunan madde kütlesi (kg) ve I, parça menzili(m) 'dir.

Küresel tanklardan fırlayan parçaların çeşitliliği ile ilgili olarak, 7 kazadan 58 parçanın analizi yapılmış, parçaların %70'inin 200 metreden daha kısa mesafelere ulaştığı gösterilmiştir. Bununla birlikte, küresel tanklardan fırlayan parçalar 600 m'ye (Mexico City) ve hatta 700 m'ye ulaşabilmiştir. Silindirik tanklardan daha az aerodinamik (hareket eden katı kütlelerin hava ile etkileşimi az) olduklarından, küresel tanklardan fırlayan parçaların ulaştığı mesafe genellikle daha büyüktür. Minimum mesafelerin tahmini için çeşitli teorik modeller önerilmiştir, ancak bunların uygulanması çok pratik değildir, çünkü parçanın kütlesi ve şekli bilinmelidir (Casal, 2008).

Havuz yangını

Yatay bir havuz içerisine yayılmış durgun bir yakıtın alev almasıyla oluşan yangın türüdür. Havuz yangınlarında yanma hızı, havuz yangını su veya çelik üzerinde olsa da aynıdır. Açık havada olan havuz yangınları rüzgâr aldığı için yanmayı yakıt kontrol eder. Büyük miktarda alevler oluşturur. Tesisi ve çevreyi tehdit eder. Kapalı alanda ise yanmayı havalandırma kontrol eder. Ağır hidrokarbonlar isli yanarken, LNG temiz bir alevle yanar (Er ve Bozdağ, 2020).Eş. 4.10'da havuz yangını çapı hesaplanması verilmiştir.

$$D = \sqrt{4x_{havuz} yüzey alanı/\pi} \quad (4.10)$$

Burada; D, havuz çapı(m)' dir.

Parlama yangını

Hava ile önceden karışan ve genişleyen, sonunda tutuşan yanıcı buharın (veya buharlaşan sıvının) salımıdır. Tutuşma meydana geldikten sonra, yanma hızı ateşleme noktasından salım noktasına doğru ilerleyerek potansiyel olarak kaynağı da ateşler. Bu, buhar karışımının tüm hacmini tutuşturduğundan, alevin hacmi büyüktür ve hasarın çoğunluğu alev çarpmasına bağlıdır (Amerikan Kimya Mühendisleri Enstitüsü, Kimyasal Proses Güvenliği Merkezi, 2003).Eş. 4.11'de bulut yüksekliği hesaplaması verilmiştir.

$$H=20h((S^2/gxh)(Pf-a/P_a)2x(wr^2/(1-w)^3)^{1/3} \quad (4.11)$$

Burada; H;bulut yüksekliği(m), h;alev topunun yüksekliği(m), S;alev hızı(m s⁻¹), Pf-a;yakıt ve hava karışımı yoğunluğu (kg m⁻³), Pa;havanın yoğunluğu (kg m⁻³), r;sitokiyometrik yakıt hava kütle oranı, W;tanktaki yakıtın kütlesi(kg)' dir.

Toksik yayılım

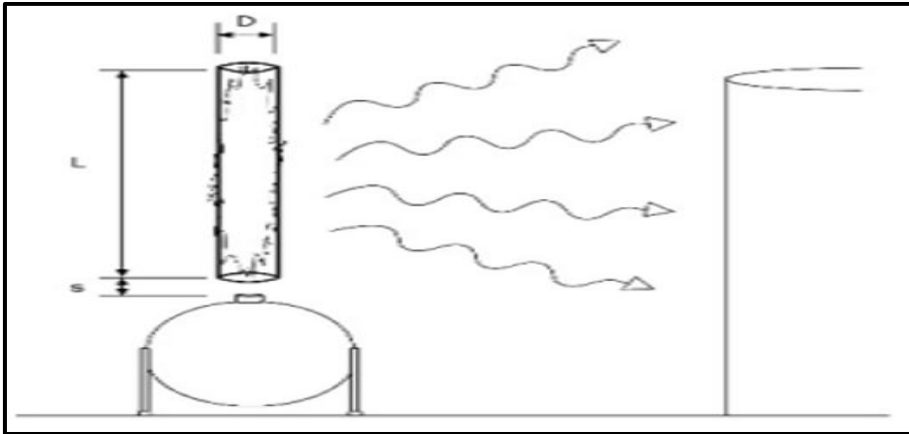
Zehirli duman ve gazın etkisini, duman dağılım oranı, duman yüksekliği, zehirli kirleticinin kaynağındaki derişimi, hava şartları belirlemektedir (Çetinyokuş, 2017b). Yanabilen gazlar ve sıvılar için sonlanma noktası belirlenmesinde 4.12 eşitliği kullanılmaktadır.

$$D = 0.0037(QxH/H_{TNT})^{1/3} \quad (4.12)$$

D: Sonlanma noktası mesafesi(m), Q: Serbest kalan yanabilen madde miktarı(Ib), H: Yanabilen maddenin yanma ısısı, H_{TNT} : TNT (trinitro tolue) yanma ısısı.

Jet yangını

Yanıcı bir sıvının bir boru hattındaki veya bir tanktaki bir delik/çatlak noktasından kazara salınması için yapılır. Bir ateşleme kaynağı ile sıvı tutuşur ve bir jet yangını oluşturur. Alev boyutları, delik boyutundan, sıvının serbest bırakılma noktasındaki fiziksel durumundan, boru hattındaki/tanktaki sıcaklık ve basınçtan ve çevresel koşullardan (sıcaklık, basınç, nem) tahmin edilir. Boru/tank deliğinden salınan yakıt sıvısı genişler, çevredeki hava ile karışır ve yüzeyinde tutuşarak radyasyon yayar ve dışa doğru yayılır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Jet yangını geometrik gösterimi

Sakin bir rüzgar durumunda, bir jet yangınındaki alevlerin uzunluğu(L) Hawthorne ve ark.(1949) tarafından önerilen ifade kullanılarak basit bir şekilde tahmin edilebilir(Eş. 4.13).

$$L/dor=(5,3/Cst-vol)x\left(\frac{T_{ad}}{\alpha_{st}xT_{cont}}\right)x(Cst+(1-Cst)x\left(\frac{Ma}{Mv}\right)) \quad (4.13)$$

Burada; d_{or} deliğin çapı(m), c_{st-vol} stokiyometrik yakıt-hava karışımındaki yakıtın mol kesri, M_v ; yakıtın moleküler ağırlığı (kg/kmol), M_a ; havanın molekül ağırlığı (kgkmole⁻¹), T_{ad} ; adyabatik alev sıcaklığı(K), C_{st-vol} ; sitokiyometrik yakıt hava karışımındaki yakıtın mol kesri, α_{st} stokiyometrik yakıt-hava karışımı (-) için reaktant mollerinin sayısının ürünün mollerine oranıdır(Casal, 2008).

$$L/d_{or}=(15/c_{st-vol})(M_a/M_v)^{1/2} \quad (4.14)$$

Kalkış mesafesi s Eş. 4.15 kullanılarak tahmin edilebilir.

$$s = \frac{6,4\pi d_{or} u_j}{4u_{av}} \quad (4.15)$$

u_{av} , ortalama jet hızıdır (m s⁻¹) ($u_{av} \approx 0.4 u_j$).

Jet yangını çapı ise Eş. 4.16'dan hesaplanabilir.

$$D_j=0,29x(\ln(L+s/x))^{1/2} \quad (4.16)$$

x , delikten olan eksenel mesafedir. s ise kalkış mesafesidir. L , alevin havalanma mesafesinden uca kadar uzunluğudur(yüksekliği).

ALOHA yazılımı, yukarıda açıklanan model ve korelasyonlara dayanmaktadır. Bu model ve korelasyonlar ise Hollanda tarafından yayımlanan renkli kitaplara (Book,1999) dayanmaktadır. Mor Kitap, kantitatif risk değerlendirmesinin nasıl yapılacağını; Sarı Kitap, patlama, yangın, toksik yayılım fiziksel etki mesafesi belirleme yöntemlerini; Yeşil Kitap, oluşan hasarların saptanmasında kullanılan yöntemleri, Kırmızı Kitap, kaza olasılıklarının belirlenmesi yöntemlerini açıklamaktadır (Book, 1999). Yazılım, *jet yangını* senaryosunda yanıcı özellikteki sıvılaştırılmış gazları modelleyebilmektedir. Bu tür yangınlar için iki yaygın deneysel modelleme yaklaşımı vardır: yanma enerjisinin bir kısmının termal radyasyona dönüştürüldüğü ve yangının merkezinden yayıldığı nokta kaynaklı modeller ile yangının boyutunun ve şeklinin olduğu katı alev modelleridir. *BLEVE* için Yazılım, ateş topunda tüketilmeyen herhangi bir sıvının havuz yangını oluşturacağını varsayar. Potansiyel BLEVE tehlikeleri arasında, termal radyasyon, ani basınç, tehlikeli parçalar, duman ve yangından kaynaklanan toksik yan ürünler bulunur. *Parlama/ani yangınlarda* üretilen

termal radyasyon oldukça geçicidir. Yazılım, ani yangınla ilişkili termal radyasyonu modellemez, bunun yerine ABD EPA'nın (Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı Kimyasal Acil Durum Hazırlık ve Önleme Ofisi, 1999) bulut için alt yanıcılık veya patlayıcı sınır tehlike bölgesi ile ilgili yaklaşımı kullanır ve ani yangından kaynaklanan tehlike bölgesinin yakında olduğunu varsayar (ALOHA, 2007). Patlama; basınç şok dalgası oluşturan ani ve şiddetli enerjinin çevreye yayılmasıdır. Patlama sonucunda hızlı hareket eden bir basınç dalgası veya şok dalgası oluşur ve gaz hızlı bir şekilde genişler. Patlama yangın olmadan da fiziksel değişim veya mekanik değişim veya bir kimyasal reaksiyon sonucu olabilir. Bu çalışmada bir fiziksel değişim olduğu için fiziksel patlama incelenmiş olup fiziksel patlama; bu patlama türü ani bir mekanik değişim sonunda veya ani bir hal değişimi sonunda meydana gelir. Bir buhar kazanının veya hava tankının aşırı basınçtan patlaması mekanik patlamaya tipik bir örnektir.

Elde edilen fiziksel etki mesafeleri, Çizelge 4.2' deki güvenlik mesafeleri ile karşılaştırılarak domino kazası gerçekleşip gerçekleşmeyeceği analiz edilebilecektir. Çizelge 4.4 ve 4.5' ten ise meydana gelebilecek domino kazasının boyutu ile can, mal, çevre ve itibar kaybı üzerine etkileri tespit edilebilecektir.

4.5. Saha Uygulaması

Bölüm 4.1-4.4' te sunulan metodoloji üzerinden saha uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu uygulama için domino potansiyelinin yüksek olduğu sanayi yoğun Kocaeli ilinde bir örnek kuruluş seçilmiştir. Seçilen örnek endüstriyel kuruluştaki, olası domino senaryoları üzerinden modelleme çalışmaları ile fiziksel etki mesafeleri belirlenmiştir. Elde edilen etki mesafeleri daha önce belirlenen domino eşik güvenlik mesafeleri ile karşılaştırılarak kuruluşun, kuruluş içi ve dışı domino etkileri ile zarar görabilirlik değerlendirilmiştir.

5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Önerilen metodoloji üzerinden gerçekleştirilen saha uygulamasına yönelik yürütülen çalışmalar ve detayları bu bölümde sunulmuştur.

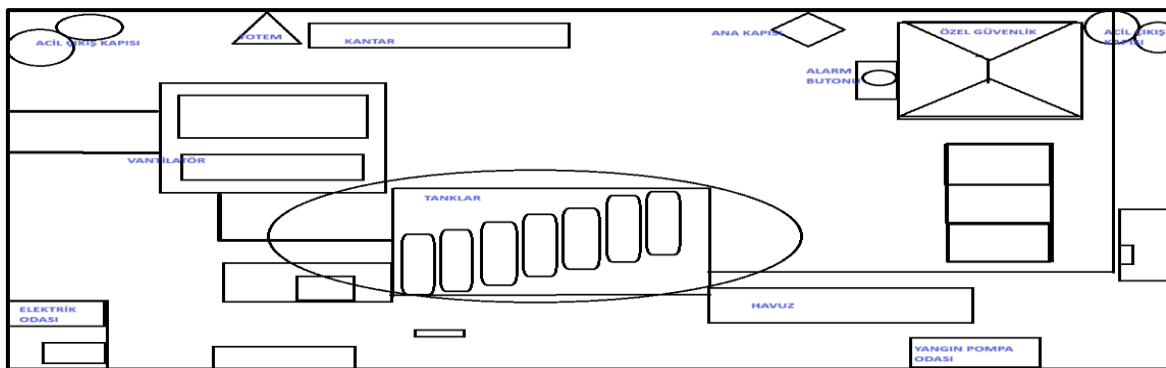
5.1. Kuruluş Seçimi ve Özellikleri

5.1.1. Kuruluş yer seçimi

Örnek kuruluş, Kocaeli ilimizden seçilmiştir. Bu seçimde, Kocaeli' nin Türkiye'nin en fazla endüstriyel yoğunluğa sahip ili olması ve domino kazası oluşturabilecek yan yana endüstriyel kuruluş yerleşiminin olması etkili olmuştur. Seveso Direktiflerinde domino etkilerine açıkça değinilmiş, ilgili risk analizi çalışmalarında domino senaryolarının dikkate alınması gerekliliği ortaya konulmuştur. Ülkemiz mevzuatında ise domino etkileri açıkça ifade edilmemekte, bu konu önemli bir boşluk oluşturmaktadır. Domino kaza potansiyeli yüksek endüstriyel kuruluş üzerinden yapılan uygulamanın, bilimsel çalışmalar yanında mevzuat çalışmalarına da katkıları olacağı ön görülmüştür.

5.1.2. Kuruluş özellikleri

Örnek kuruluşta 7 adet silindirik depolama tankı bulunmaktadır. Bunlardan 6 tanesi 180 m^3 ve 1 tanesi 115 m^3 hacme sahiptir. Tanklardan 6 tanesinin çapı 3,5 m ve diğer tankın çapı 3 m'dir. Tanklar basınçlı olup beton bir zemin üzerine kurulmuştur. Depolanan ürünün ortalama sıcaklığı $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. Tank basınçları 5 bar ve tankın maksimum doluluk oranı %85'tir. Örnek kuruluş yerleşim planı Şekil 5.1' de sunulmuştur.



Şekil 5.1. Örnek kuruluş tesis yerleşim planı

5.2. Kimyasal Kaynak ve Atmosferik Seçimler

5.2.1. Kimyasal Kaynak

Örnek kuruluşta 1 adet propan (115m^3), 5 adet LPG (180m^3) tankı bulunmaktadır. Model çalışmalarında yüksek hacimli LPG tankı üzerinden ($T=20^\circ\text{C}$, $P=5\text{bar}$, %85 doluluk) çalışılmasına karar verilmiştir. ALOHA yazılımı, birçok karışımı modellemede kısıtlıdır. Bu nedenle, LPG'nin %30 propan ve %70 bütandan oluştuğu karışım dikkate alınarak yüksek içerik bütan üzerinden modelleme yapılmıştır. LPG olarak bilenen ürünlerin tümü "Tehlikeli Maddeler" tanımına girer ve "Çok Kolay Alevlenebilir" olarak sınıflanır. LPG, üretimi tüm aşamalarında potansiyel tehlike içermektedir. LPG'nin depolanması ve taşınması en büyük potansiyel risklerden biridir. LPG gözle görülemeyen gaz halde şeffaf, kokusuz bir sıvıdır. Gözle görülemez olduğu için bir ortamda sızıntı oluşup yayıldığında büyük tehlike yaratabilmektedir. Herhangi bir sızıntı olduğu durumda LPG'nin kolay fark edilebilir olması için daha öncesinde nahoş bir koku eklenmektedir. Yakıtların karakteristik yanma özellikleri; maksimum tutuşma hızı, en düşük tutuşma sıcaklığı ve tutuşma sınırlarıdır. Tutuşma hızı, bir yanmanın tutuşabilen bir hava gaz karışımındaki yayılma hızıdır. Tutuşma hızı, gazın yakma havası ile karışım özelliklerine, gazın cinsine ve sıcaklığına bağlıdır. LPG'nin tutuşma aralığı % 1,9 ila % 9 arasındadır ve bu, kok gazına, asetilene ve hidrojene göre dar bir aralıktır. LPG bileşenlerine ait kimyasalların yanma özellikleri Çizelge 5.1' de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Propan ve bütanın yanma özellikleri

Gazlar	M_j/M^3 (Mol kütlesi)	Hacimce Havadaki Yanabilirlik Yüzdesi Limitleri		Özgül Ağırlık(hava=1)	1m^3 gazı yakmak için gerekli hava	Tutuşma Sıcaklığı($^\circ\text{C}$)
		Alt	Üst			
Propan	93,7	2,15	9,6	1,52	24	493-604
Bütan	122,9	1,9	8,5	2	31	482-538

5.2.2. Atmosferik seçimler

Örnek kuruluşun bulunduğu ilin ortalama atmosferik koşulları model çalışmalarında kullanılmıştır (Çizelge 5.2).

Çizelge 5.2. Atmosferik koşullar (MGM, 2024)

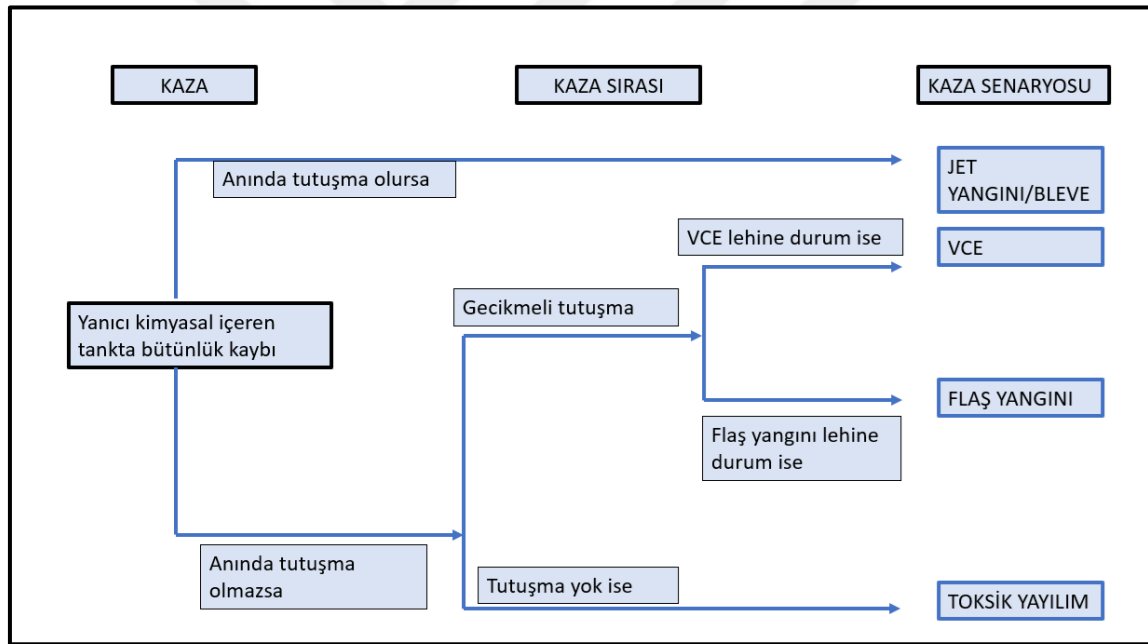
Ortalama Hava Sıcaklığı	16°C
Rüzgar Hızı	2 m/s
Bulutluluk	Parçalı Bulutlu
Yüzey pürüzlülüğü	Kentsel Alan
Nemlilik	Orta
Bağıl Nem	%70
Rüzgar Yönü	Güney
Atmosferik Kararlılık Sınıfı	D
Ölçüm Yüksekliği	İnsan seviyesinde
İnversiyon	Yok

Örnek uygulama koşulları belirlenirken, sanayinin oldukça yoğun olduğu Kocaeli ilinin atmosferik koşulları dikkate alınmıştır. ALOHA programın vereceği sonuçla birçok özelliğe göre değişkenlik gösterebilir. Bunlar ise; maddenin türü, atmosferik veriler ve modellenecek buhar bulutunun toksisitesidir. ALOHA programından alınan sonuçlar değerlendirilirken özellikle düzensizliklere ve çok düşük koşullara karşı dikkatli olunmalıdır. Örneğin; çok düşük rüzgâr hızı, konsantrasyon düzensizleri, çok kararlılık gibi durumlara karşı dikkat edilmelidir. Çizelge 5.2'deki veriler, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından sağlanmış ve yıllık ortalama değerler alınarak koşullar belirlenmiştir (rüzgâr hızı, sıcaklık, rüzgâr yönü, nemlilik, bulutluluk, bağıl nem). Atmosferik kararlılık sınıfları A ve B için güneş radyasyonu nispeten zayıf olduğunda veya bulunmadığında, yüzeyin yükselme eğilimi azalır ve türbülans daha az gelişir. Atmosfer kararlı (daha az türbülanslı) kabul

edilirse, rüzgâr zayıftır ve kararlılık sınıfı E veya F olacaktır. D ve C sınıfları daha nötr kararlı (orta derecede türbülans) koşulları temsil eder. Nötr koşullar nispeten güçlü rüzgâr hızları ve orta düzeyde güneş radyasyonu ile ilişkilidir. Bu çalışmada, D kararlılık sınıfı kullanılmıştır. İnversiyon, kararsız bir hava tabakasının bulunduğu ve atmosfer kararlılığında meydana gelen ani değişimdir. Çalışmada, inversiyonun olmadığı kabul edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü kuruluşun sıkışık bir ortamda bulunmasına bağlı kentsel alan olarak seçilmiştir. Örnek kuruluş etrafında komşu diğer kuruluşlar ve yerleşim yerleri yer almaktadır.

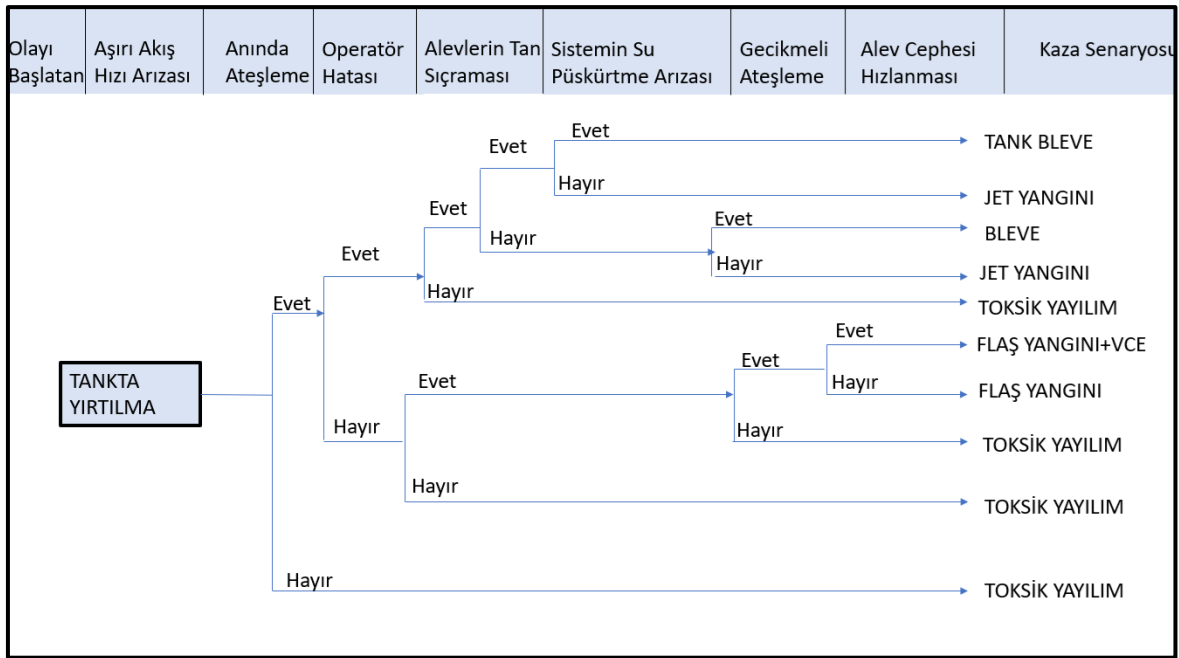
5.3. Domino Senaryolarının Belirlenmesi

Tankta bir bütünlük kaybı yaşandığında, muhtemel kaza senaryoları Şekil 5.2’ de verilmiştir.



Şekil 5.2..Bütünlük kaybına bağlı muhtemel kaza senaryoları (Casal, 2010)

Tipik kilit olaylar üzerinden muhtemel kaza senaryoları ise Şekil 5.3’ te sunulmuştur.



Şekil 5.3. Tipik kilit olaylar üzerinden muhtemel kaza senaryoları (Casal, 2010)

Bu çalışmada, dikkate alınan birincil, ikincil senaryolar ve eskalasyonlar aşağıdaki başlıklarda incelenmiştir.

5.3.1. Birincil senaryolar

Basınçlı yanıcı sıvı içeren bir tank(LPG) senaryo edilmiş ve tanktaki muhtemel *birincil senaryolar* aşağıda sıralanmıştır:

- *Toksik Yayılım*: Sızdıran tank, kimyasal atmosfere salınırken yanmaz
- *Jet yangını*: Sızdıran tank, kimyasal jet yangını olarak yanar
- *BLEVE*: Tank patlar ve kimyasal, ateş topu içinde yanar

Tankta yanıcı sıvının kapladığı hacim kontrol hacmidir. Sıvının doluluk oranı %85' tir. Kontrol hacminin boyutu sıvı seviyesi azaldıkça küçüleceğinden, bu değişken bir kontrol hacmidir. Zamanla değişen bir kontrol hacmi için kütle korunumu denkliği Eşitlik 5.1'de verilmiştir;

$$m_{in} - m_{out} = \frac{dm}{dt} \quad (5.1)$$

İşlem sırasında kontrol hacmine kütle girişi yoktur. ($m_{in} = 0$)

$$m_{out} = (\rho v A)_{out} \quad (5.2)$$

Çıkıştaki akışkanın hızı (v_2) Bernouilli denklemi uygulanarak hesaplanmıştır.

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + gh_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + gh_2 \quad (5.3)$$

- $P_1 = 5bar$ $h_1 \gg h_2$ $v_2^2 \gg v_1^2, v_1^2 \sim 0$
- $P_1 = 1bar$

$$v_2^2 = 2 \left[\frac{P_1 - P_2}{\rho} + gh \right] \rightarrow v_2 = \sqrt{2 \left[\frac{P_1 - P_2}{\rho} + gh \right]} \quad (5.4)$$

$$m_{out} = \rho \left(\sqrt{2 \left[\frac{P_1 - P_2}{\rho} + gh \right]} \right) A_{delik} \quad (5.5)$$

$$m = \rho V = \rho A_{tank} h \quad (5.6)$$

$$m = \rho \pi D_{tank}^2 h / 4 \quad (5.7)$$

$$-\rho \left(\sqrt{2 \left[\frac{P_1 - P_2}{\rho} + gh \right]} \right) A_{delik} = \frac{d(\rho A_{tank} h)}{dt} \quad (5.8)$$

$$-\rho \left(\sqrt{2 \left[\frac{P_1 - P_2}{\rho} + gh \right]} \right) \left(\pi D_{delik}^2 / 4 \right) = \frac{\rho (\pi D_{tank}^2 / 4) dh}{dt} \quad (5.9)$$

$$dt = - \frac{D_{tank}^2}{D_{delik}^2} \frac{dh}{\sqrt{2 \left[\frac{P_1 - P_2}{\rho} + gh \right]}} \quad (5.10)$$

5.3.2. Sınır koşulları

$$t = 0 \quad h = h_0 = 16,65m$$

$$t = t \quad h = h_2 = 0$$

$$\int_0^t dt = -\frac{D_{tank}^2}{D_{delik}^2} \int_{h_0}^{h_2} dh \left/ \sqrt{2 \left[\frac{P_1 - P_2}{\rho} + gh \right]} \right. \quad (5.11)$$

$$\frac{\pi D_{tank}^2}{4} h_0 = 185x \frac{85}{100} \quad (5.12)$$

$$h_0 = 16,65m$$

$$t = \left[-\frac{1}{g} \sqrt{2 \left[\frac{P_1 - P_2}{\rho} + gh_2 \right]} + \frac{1}{g} \sqrt{2 \left[\frac{P_1 - P_2}{\rho} + gh_0 \right]} \right] \left(\frac{D_{tank}^2}{D_{delik}^2} \right) \quad (5.13)$$

$$\rho = 2,394kg/m^3$$

En kötü durum senaryosu temel alınarak tüm envanterin 1dk da boşalması durumu için delik çapı tank çapına ($D_{tank} = D_{delik}$) eşit bulunur. Fiziksel etki modelleme çalışmalarında tanktaki delik çapı, tank çapı olarak yazılıma işlenmiştir. Şekil 5.3 ‘ de gösterilen tankta tam yırtılma ile meydana gelebilecek, BLEVE, toksik yayılım ve jet yangını dikkate alınmıştır.

5.3.3. İkincil senaryolar ve eskalasyon

Senaryo 1 ile meydana gelen toksik yayılım, herhangi bir eskalasyon oluşturmaz ve ikincil senaryo da meydana getirmez. Senaryo 2 kapsamında jet yangını meydana geldiğinde, radyasyon ve alev çarpması eskalasyona neden olacaktır. Bunun sonucunda, jet yangını, havuz yangını, BLEVE, toksik yayılım olayları meydana gelebilecektir. Senaryo 3 ile meydana gelen BLEVE, aşırı basınç ve alev çarpmasına bağlı olarak eskalasyon oluşturacaktır. Bu eskalasyon ise tüm olası endüstriyel olayları başlatabilecek niteliktedir (Bkz. Çizelge 4.1).

Atmosferik ve basınçlı ekipmanlar için önerilen zarar görebilirlik ve bütünlük kaybı domino kaza matrisi(İkincil senaryo temelli)(Bkz. Çizelge 4.5) dikkate alındığında, basınçlı kapta yanıcı sıvı salımı ile örnek kuruluştaki diğer basınçlı ekipmanların yüksek oranda etkilenecek ikincil senaryolar oluşturup domino kazası meydana getirebileceği ifade edilebilir. Domino kazası meydana geldiğinde, saha içi ve dışında ölümler; yıkıcı maddi hasar, saha dışına felaket boyutunda çevresel kayıp ve itibar kaybı yaşanabileceği söylenebilir.(Bkz. Çizelge 4.3)

5.4. Fiziksel Etki Mesafelerinin Belirlenmesi ve Domino Etkilerinin Tespiti

Örnek kuruluştaki fiziksel etki modellemesi, ALOHA yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Bu yazılım ile çeşitli kazalara veya oluşturulan kaza senaryolarına göre yangın, patlama ve toksik yayılım etki alanı analizleri yapılabilmektedir. Tehlikelinin etkisi ve tehlike alanı farklı meteorolojik ve atmosferik koşullara göre ve patlamanın gerçekleşeceği tankın yapısı ve doluluk oranına göre değişkenlik göstereceğinden oluşturulan senaryo verileri yazılıma doğru şekilde girilmelidir (Kuzu,2021).

Çapı 3,5m olan 180 m³'lük LPG tankı için ALOHA yazılımı ile model çalışması yürütülmüştür. Yazılımda, kaynak seçimine ait veriler Çizelge 5.3' te paylaşılmıştır.

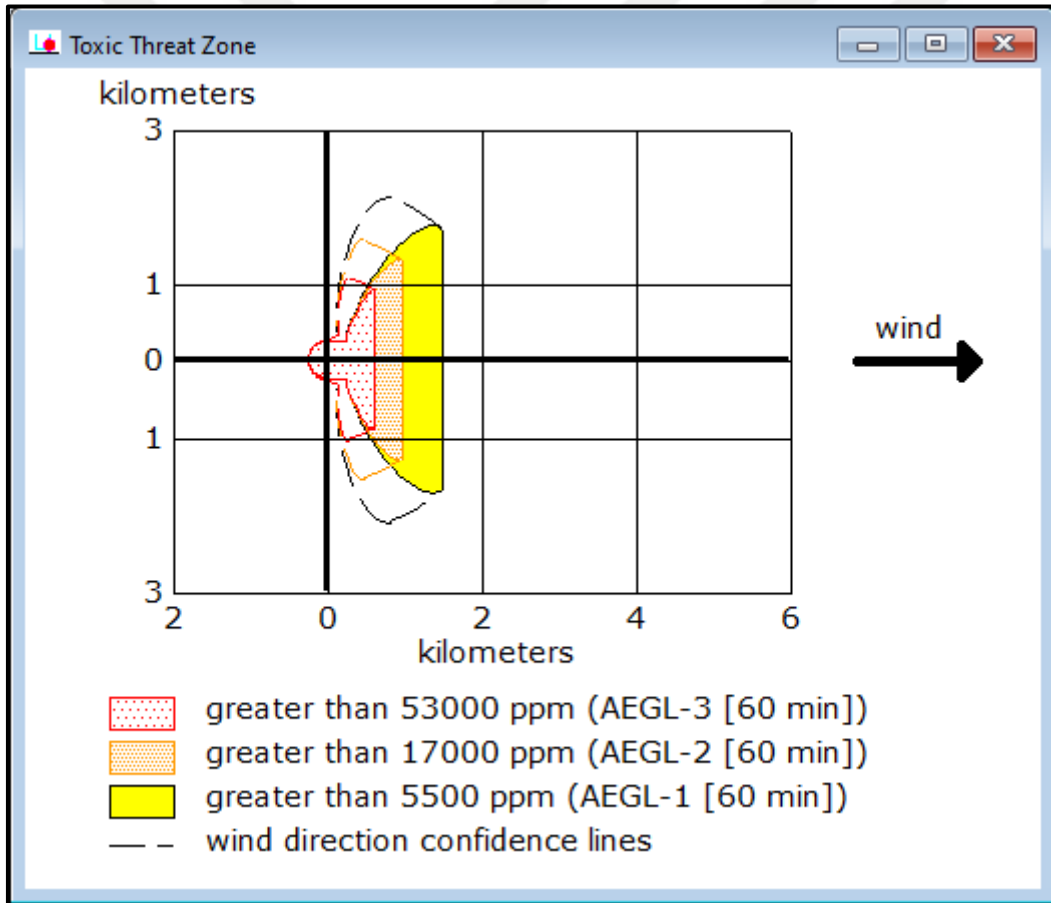
Çizelge 5.3. ALOHA yazılımında kaynak seçimine ait kullanılan veriler

Tank Tipi ve Oryantasyonu	Silindirik, Yatay
Tank Çapı	3,5 m
Tank Uzunluğu	18,7 m
Tank Hacmi	180 m ³
Kimyasal fazı	Sıvı
Tank sıcaklığı	16°C
Tank basıncı	5atm
Tanktaki Kimyasal Kütlesi	89405 kg
Tank Doluluğu	%85

İlgili atmosferik koşullar ve kaynak seçimleri ile daha önce belirlenen birincil senaryolar(toksik yayılım, BLEVE, jet yangını) analiz edilmiştir:

5.4.1. Toksik yayılım

Tüm envanterin 1dk da boşalması durumu için delik çapı tank çapına ($D_{tank} = D_{delik}$) eşit alınarak model yapılması amaçlanmıştır. Ancak, yazılım tank modelinin uygulanabilmesi için tank kesit alanından küçük bir değer veya toplam tank yüzey alanının %10' u kadar küçük bir sınır değeri sunmaktadır. Bu nedenle, 3,49m delik çapı ile analiz yürütülmüştür. Bu model çalışması ile elde edilen tehlike bölgesi Şekil 5.4' de sunulmuştur.



Şekil 5.4. Birincil senaryo-toksik yayılıma ait tehlike bölgeleri

Birincil senaryo-toksik yayılıma ait tehlike etki mesafeleri Çizelge 5.4' de verilmiştir.

Çizelge 5.4. Birincil senaryo-toksik yayılıma ait tehlike etki mesafeleri

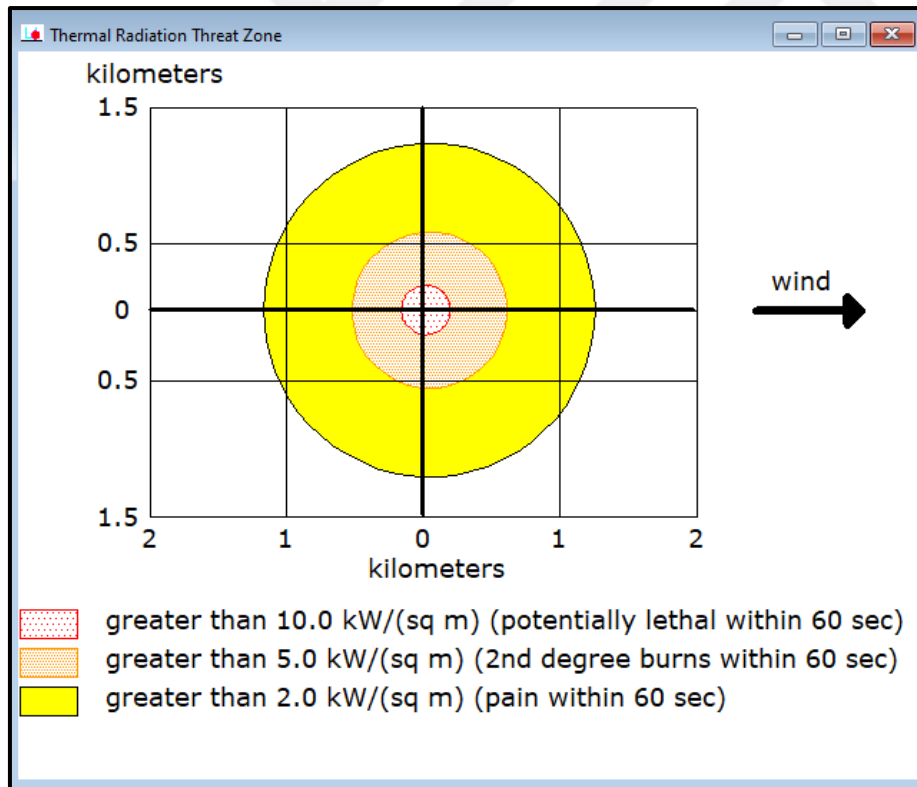
Kırmızı:613 m	(53000 ppm = AEGL-3 [60 dakika])
Turuncu:978 m	(17000 ppm = AEGL-2 [60 dakika])
Sarı:1500m	(5500 ppm = AEGL-1 [60 dakika])

Toksik tehlike mesafelerine göre, 60 dakikalık yayılım için 53000 ppm'de 613 m'de ölümcül; 17000 ppm'de 978 m'de zehirlenme ve 5500 ppm'de 1500 m'de ise ağrı meydana getirebilecek etkiler söz konusudur. Maruz kalma sınırı (Levels of Concern-LOC); toksik bir salımda tehlikeli kimyasala maruz kalma süresi ile kimyasal maddeye maruz kalma seviyesinin değerini temsil etmektedir. Toksik kimyasalın solunma tehlikelerine karşı kimyasala özel LOC değerleri bulunmaktadır. Solunma toksisitesi için eşikler, CAMEO Chemicals' dan elde edilmektedir. AEGL' ler (Akut Maruz Kalma Yönergesi Düzeyleri), ERPG' ler (Acil Müdahale Planlama Yönergeleri), PAC' ler (Koruyucu Eylem Kriterleri) ve IDLH (Yaşam ve Sağlık için Acil Tehlike) sınırları, ALOHA' ya entegre edilmiş veri dosyalarında saklanmaktadır. Kuruluşlar farklı olsa da bahsettiğimiz üç maruziyet kılavuzunun tümü, kimyasal maruziyetin düzeylerinin ve etkilerinin değerlendirilmesinde benzer yaklaşım göstermektedir. Bu yaklaşım; bir kimyasal madde ne kadar zehirli ise LOC değerinin de düşük olacağı yönündedir. ALOHA kimyasal maddenin salımından belirli bir süre sonra, kimyasalın konsantrasyonunun belirlenen maruz kalma sınırını geçebileceği ve tehlike bölgesi oluşturabileceği alanı tespit etmektedir (Jones, 2013). Maruz kalma seviyeleri arasındaki fark maruz kalma süreleridir. AEGLs, 10 dakika, 30 dakika, 60 dakika, 4 saat ve 8 saatlik süreler için tanımlanmaktadır. AEGL-3, genel popülasyonun yaşamı tehdit eden sağlık etkileri veya ölümlerle karşılaşabileceği havadaki konsantrasyonu temsil eder. AEGL-2, genel nüfusun geri döndürülemez diğer ciddi, uzun süreli olumsuz sağlık etkilerine maruz kalabileceği veya kaçma kabiliyetinde bozulma yaşayabileceği havadaki konsantrasyondur. AEGL-1, genel popülasyonun kayda değer rahatsızlık, tahriş veya belirli asemptomatik duyuşsal olmayan etkiler yaşayabileceği havadaki konsantrasyondur. Etkiler devre dışı bırakılmaz ve geçicidir, maruziyetin kesilmesi üzerine geri döndürülebilir (Jones, 2013). Toksik yayılımda, eskalasyon vektörü ve ikincil senaryo meydana gelmemektedir. Dolayısı ile bu senaryoya ait domino potansiyeli yoktur. Eş. 4.12' de verilen korelasyon üzerinden hesaplama yapıldığında toksik etki mesafesi 314m olarak belirlenmiştir. Bu değer, ALOHA

yazılımında toksik yayılım senaryosunda belirlenen tüm tehlike bölgelerindeki mesafelerden daha küçüktür. Korelasyonda miktar ve yanma ısıları üzerinden hesaplama yapılmakta; atmosferik koşullar, tank özellikleri, kimyasalın türü gibi durumlar dahil edilmemektedir. Senaryolar açık alan için geçerlidir ve kapalı bir ortamda meydana gelmemektedir. Atmosferik koşullar ve bahsedilen durumların, mesafeler hesaplanırken dikkate alınması önemlidir. Daha koruyucu değerler sunan ALOHA yazılımı sonuçlarına göre eşik değerler, güvenlik mesafeleri ve etkileri değerlendirilebilir. İlgili senaryo uyarınca kuruluştaki güvenlik tedbirlerinin artırılması gerektiği ön görülmektedir.

5.4.2. Jet yangını

Birincil senaryo-jet yangını için aynı koşullar altında belirlenen tehlike bölgesi Şekil 5.5’ de sunulmuştur.



Şekil 5.5. Birincil senaryo-jet yangınına ait tehlike bölgeleri

Birincil senaryo-jet yangınına ait tehlike etki mesafeleri Çizelge 5.5’ de verilmiştir.

Çizelge 5.5. Birincil senaryo-jet yangına ait tehlike etki mesafeleri

Kırmızı: 203m	10 kW/(m ²)(60 dakika)
Turuncu: 620m	5 kW/(m ²)(60 dakika)
Sarı: 1300m	2 kW/(m ²)(60 dakika)

Yazılımda yangın sırasında tank çevresinin ne derece risk taşıdığı, yaydığı termal radyasyon seviyesiyle belirlenmektedir ve bu tehlike bölgeleri kırmızı, turuncu ve sarı olmak üzere üç farklı renkte ifade edilmiştir. En tehlikeli bölge kırmızı, en az tehlikeli bölge ise sarı bölgedir. Kırmızı tehlike bölgesi termal radyasyonun 10 kW/m² ’nin üzerinde olduğu ve 60 saniye maruz kalındığında ölümle sonuçlanan bölgedir. Turuncu tehlike bölgesinde termal radyasyon 5-10 kW/m² arasındadır ve 60 saniyelik maruziyet ikinci derecede yanık riski taşır. Termal radyasyonun 2-5 kW/m² arasında olduğu sarı tehlike bölgesinde ise 60 saniye içinde yanık oluşma riski vardır. Termal radyasyon ve toksik maruziyet senaryolarında eşik değerler, maruz kalınan enerji veya doz ile doğrudan ilişkili olarak görünmesine karşın maruz kalınan süre de hesaplamalarda parametre olarak değerlendirilmektedir. ALOHA’ da maruz kalınan sürenin 60 saniye veya daha az olduğu belirtilmektedir (NOAA ve ALOHA, 2013). İlgili senaryo ile 203m mesafede ölümcül etkiler tespit edilmiştir. Alev yüksekliği 953m olarak belirlenmiştir. Yazılım, Bölüm 4’ de sunulan korelasyonu temel aldığı için korelasyonel hesaplamalar da aynı sonuçları vermiştir.

Jet yangını, radyasyon ve alev çarpması eskalasyon vektörleri ile jet yangını, havuz yangını, BLEVE, VCE ve toksik yayılım domino kazaları meydana getirebilir. Model çalışmasında temel alınan basınçlı öge(korumasız) için 953m+25m olarak güvenlik mesafesi belirlenmiştir (Çizelge 4.2). Bu güvenlik mesafesi dikkate alınarak domino etkileri önüne geçilebilir. Model çalışması ile tespit edilen güvenlik mesafesinden daha geniş etkilerin olduğu görülmüştür. Basınçlı öge için domino kazası açısından yüksek risk (BK3-yanıcı ve ZG2 kategorisinde) söz konusudur. Jet yangını, atmosferik ögeler üzerinden havuz yangını, parlama yangını ve VCE; basınçlı ögeler üzerinden BLEVE/ateş topu, parlama yangını, VCE ikincil senaryoları meydana getirip domino kazaları oluşturabilir (Çizelge 4.3). Kuruluş içerisinde basınçlı ögelere yönelik ikincil senaryoların gerçekleşmesi söz konusu

iken etki alanı içerisinde yer alan komşu kuruluşlarda atmosferik ögeler üzerinden de ikincil senaryolar meydana gelebilecek niteliktedir.

Birincil senaryo-jet yangınına ait tehlike bölgeleri Google Earth görüntüsü Şekil 5.6' da verilmiştir.



Şekil 5.6. Birincil senaryo-jet yangınına ait tehlike bölgeleri Google Earth görüntüsü

Basınç altında işletilen bir proses ekipmanından veya hattından dışarı spreylen yakıtın sürekli sızması ve hemen alev alması sonucunda jet yangını oluşur. Bu sızıntı bir veya birkaç yerden olabilir. Bu çalışmada tankta yırtık meydana gelerek yakıtın 1dk içinde boşaldığı durum düşünülmüştür. Jet yangınları oldukça tehlikeli olabilir. Yangın sırasında oluşan yüksek sıcaklıktaki alevin çarptığı malzeme mukavemeti zayıflar, kırılmasına veya yarılmasına neden olarak problemi büyütebilir (Er ve Bozdağ, 2020). Sonuç değerlendirmesi risk değerlendirmesinin bir parçasıdır ve özellikle acil durum planlarının hazırlanmasında öncelikle dikkat edilmesi gereken bir kavramdır (Çetinyokuş, 2017b). Termal radyasyon hasar eşikleri Çizelge 5.6' da sunulmuştur.

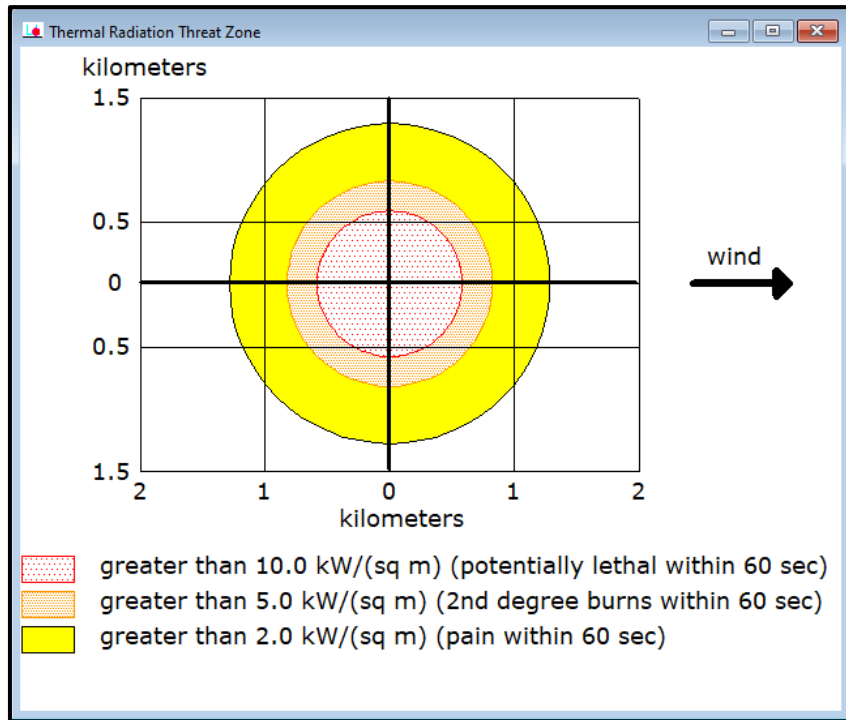
Çizelge 5.6. Termal radyasyon hasar eşikleri (Wang vd., 2020)

Termal Radyasyon(kW/m ²)	Çevreye Olan Zarar	İnsanlara Olan Zarar	Sınıflandırma
37,5	Tesislere çok ciddi zarar	1 dakikada %100 ölüm oranı	Ölümcül
12,5	Plastik malzemeler erir	2 dakikada %1 ölüm ve 2.dereceden yanık oluşumu	Orta derece
4	PVC izolasyon malzemeleri zarar görür	20 saniye ve daha fazla sürede ağrı /acı oluşumu	Hafif

Literatürde termal radyasyon için ölümcül eşik değer 37,5kW/m²' dir. ALOHA yazılımı ölümcül eşik değerini koruyucu bir yaklaşım ile $\geq 10\text{kW/m}^2$ olarak almaktadır. Çevresel etkiler değerlendirildiğinde, 37,5 kW/m²'de tesise çok ciddi zararlar söz konusudur. ALOHA yazılımı ile kırmızı tehlike bölgesinde yapılarda plastik malzeme erimesine bağlı orta derecede hasarların olabileceği, turuncu tehlike bölgesinde ise yapılarda izolasyon malzemelerinin zarar görmesine bağlı hafif zararların oluşabileceği görülmektedir. Şekil 5.6'da verilen tehlike bölgeleri dikkate alındığında, örnek kuruluştaki ve civardaki çoğu kuruluş, yerleşim yerleri ilgili hasar potansiyeline sahiptir. Bu tez çalışmasında önerilen zarar görabilirlik matrisinden ise BK-3/ZG2 kategorisinde insan, mal, çevre ve itibar üzerine en ciddi etkiler tespit edilmiştir.

5.4.3. BLEVE

Ateş topu içindeki kütle, %100 düşünülerek aynı senaryo koşullarında modelleme yapılmıştır. Birincil senaryo-BLEVE'ye ait tehlike bölgeleri Şekil 5.7' de verilmiştir.



Şekil 5.7. Birincil senaryo-BLEVE'ye ait tehlike bölgeleri

Birincil senaryo-BLEVE'ye ait tehlike mesafeleri Çizelge 5.7' de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Birincil senaryo-BLEVE'ye ait tehlike mesafeleri

Kırmızı: 584m	10 kW/(m ²)(60 dakika)
Turuncu: 824m	5 kW/(m ²)(60 dakika)
Sarı: 1300m	2 kW/(m ²)(60 dakika)

Ölümcül etkiler tank kaynağından 584m mesafeye kadar potansiyeldir. Ateş topu çapı, 259m, yanma süresi 16saniye olarak belirlenmiştir. BLEVE, aşırı basınç ve alev çarpması eskalasyon vektörleri ile eşik değer aşılarak ($\geq 10 \text{ kW/m}^2$) tüm yangın, patlama senaryoları ve toksik yayılım senaryosu meydana getirebilir(Çizelge 4.1). Eş.4.7 kullanılarak ölçeklenmiş mesafe(R) 1,75m olarak hesaplanmıştır. Bu değer, basınçlı öge için sunulan güvenlik mesafesi değerinden($R=1,2\text{m}$) yüksektir ve kuruluştaki domino potansiyeli vardır. Eş. 4.9 kullanılarak hedef 5m mesafede parça menzili ise 1454m olarak hesaplanmıştır. Bu değer de güvenlik mesafesi olarak sunulan değerden (500m) yüksektir (Çizelge 4.2). Kuruluştaki domino potansiyeli BLEVE senaryosu üzerinden bir kez daha doğrulanmıştır. Zarar görülebilirlik hem atmosferik hem de basınçlı ögeler için yüksek olarak tespit edilmiştir.

Birincil senaryo-BLEVE' ye ait tehlike bölgeleri Google Earth görüntüsü Şekil 5.8' de verilmiştir.



Şekil 5.8. Birincil senaryo-BLEVE' ye ait tehlike bölgeleri Google Earth görüntüsü

Şekilden, ilgili senaryoya bağlı olarak kuruluş içi ve dışı domino etkilerinin söz konusu olduğu, yerleşim yerlerinin ciddi şekilde etkileneceği gözlenmektedir. BLEVE, buhar basıncı atmosferik basınçtan yüksek olan sıvıların basıncının düşmesi nedeniyle hızlı bir şekilde buharlaşması ve yanması sırasında açığa çıkan ısıнын, tankın buhar kısmındaki sıcaklığının hızla yükselmesine ve mekanik mukavemetinin azalmasına yol açarak patlaması sonunda büyük bir alev topunun oluşmasıdır. $\geq 10 \text{ kW/m}^2$ 'de tesise çok ciddi maddi hasar verebileceği ve ölümcül etkiler(%100) olabileceği; 5 kW/m^2 'de yapılarda plastik malzemelerin erimesi, %1 ölüm oranı ve yanık oluşumu; 2 kW/m^2 'de ise yapılarda PVC izolasyon malzemelerinin hasar görmesi ve insanlarda ağrı oluşumları meydana gelebilir(Wang vd., 2020). ALOHA, BLEVE'nin sadece termal radyasyon etkisini modelleyebilmektedir. Termal radyasyon yanında BLEVE, şarapnel etkiler de meydana getirir. Çizelge 5.8' de aşırı basınç hasar etkileri verilmiştir.

Çizelge 5.8. Aşırı basınç hasar etkileri (Clancey, 1972)

Basınç Değeri(kPa)	Hasar Etkisi
0,21	Gerilim büyük camların kırılması
0,69	Küçük camların kırılması
1,03	Tüm camların kırılması sağlayan basınç
2,07	Uçan parçalar meydana gelmesi ve evlerin zarar görmesi
2,76	Küçük yapısal zararlar
3,4-6,9	Camların çerçevelerinin zarar görmesi
4,8	Küçük evsel zararlar
6,9	Evlerin kısmi çökmesi, çelik ya da alüminyum panellerin zarar görmesi
6,9-13,8	Duvarların kısmi çökmesi, evlerin çatılarının zarar görmesi
13,8	Sıvasız binaların %50 'sinin zarar görmesi
13,8-20,7	Yağ depolama tanklarının parçalanması
17,2	Hafif endüstriyel binaların ön panellerinin hasarı
20,7-27,6	Bina kolonlarının hafif yapısal hasarı
34,5-48,2	Evlerin birçoğunun hasarı

0,21 kPa 'da belirli bir gerilimde büyük camlara zarar verirken; 4,8 kPa 'da küçük ölçekli evsel hasarlar, 17,2 kPa ve üzeri olduğunda ise hafif endüstriyel binaların ön panellerinin hasarının meydana gelebileceği söylenebilir. ALOHA yazılımında ise basınç etkileri, kırmızı bölge-8psi (binaların yıkılması), turuncu bölge-3,5psi (ciddi yaralanmalar) ve sarı bölge-1,0psi (camların kırılması) olmak üzere üç aşamada değerlendirilmektedir (Çetinyokuş, 2017a)



6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında geçmiş domino kazalarının analizi, domino senaryolarının oluşturulması, domino etkileri için eşik değerlerin tespiti ve eşik değer temelli fiziksel etkilerin belirlenmesi aşamalarına dayanan yeni bir metodoloji önerisi getirilmiştir. Domino kazalarının analizinden domino etkisi unsurları olan birinci senaryo, eskalasyon vektörü ve ikincil senaryo(lar) tespit edilerek, bu unsurlara dayanan domino senaryoları oluşturulmuştur. Ardından, yeni güvenlik mesafesi temelli eşik değerler önerilmiştir. Domino kazaları için senaryo edilen tüm birincil senaryolara yönelik güvenlik mesafeleri ile ilişkili fiziksel etki korelasyonlar listelenmiştir. Önerilen metodolojinin saha uygulaması da gerçekleştirilmiştir. Saha uygulaması, sanayi yoğun Kocaeli’ ndeki örnek bir kuruluştaki gerçekleştirilmiştir. Kocaeli ilinin ortalama atmosferik koşulları belirlenmiş, yüksek içeriğe sahip tehlikeli LPG tankı üzerinden model çalışmaları yürütülmüştür. Yanıcı kimyasal içeren tankta bütünlük kaybına bağlı senaryolar olay ağaçları üzerinden incelenmiş, örnek kuruluş için toksik yayılım, jet yangını ve BLEVE birincil senaryolarının çalışılmasına karar verilmiştir. Toksik yayılımın ikincil senaryo üretmeyip, domino kazası başlatamayacağı gösterilmiştir. Jet yangını ve BLEVE birincil senaryolarının ise ilgili ikinci senaryoları üreterek domino kazası oluşturma potansiyeli gösterilmiştir. Her iki senaryo için de atmosferik ve basınçlı öğelere yönelik BK-3/ZG-2 kategorisinde can, mal, çevre ve itibar üzerine ciddi zararlar tespit edilmiştir. Örnek kuruluşun, hem kuruluş içi hem de kuruluş dışı birçok tesisi kapsar nitelikte domino potansiyeli tespit edilmiştir. Bu domino kazalarına bağlı etraftaki yerleşim yerlerindeki yapılar ve inşalar ile deniz başta olmak üzere çevre üzerine ciddi etkilerin olabileceği ortaya konulmuştur. Sonuç olarak, önerilen metodolojinin etkinliği gösterilmiş, domino kaza potansiyeli eşik temelli güvenlik mesafesi yaklaşımı ile kantitatif olarak analiz edilmiştir.

Dünya üzerinde ve ülkemizde meydana gelen bu kazalardan ve bu çalışmada örnek gösterilen kaza senaryosundan yola çıkarak endüstri alanlarında domino kazalarının yani zincirleme kazaların meydana gelmemesi için uygun mevzuat izlenmelidir. AB’ de Seveso III direktifleri uygulanmaktadır. Seveso III direktifleri endüstri kuruluşları için bazı yükümlülükleri zorunlu hale getirilerek kaza riskini azaltmaya çalışan bir yönerge dir. Ülkemizde domino kazalarına yönelik bir mevzuat yoktur. Ancak, Mart 2019’ da Seveso Direktiflerinin uyumlaştırılmasıyla “Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik” yayımlanmış olup, tehlikeli maddelerin bulunduğu

kuruluşlarda, büyük endüstriyel kazaların önlenmesi ve insan, çevre ve tesis varlıklarına etkilerinin hafifletilmesi amacı ile usul ve esaslar belirlenmiştir. Yönetmelik kapsamında direk domino kazalarına yönelik bir madde mevcut değildir. Çalışma çıktılarının, ilgili konudaki bilimsel ve mevzuat çalışmalarına önemli katkılar sağlayacağı öngörülmektedir.

Kimyasal kuruluşlar, tehlikeli madde miktarı ve özellikleri ile işletme koşullarına bağlı olarak can, mal, çevre hatta itibar kaybı ile sonuçlanan önemli risklere sahiptir. Çoğu kimyasal kuruluşlar gruplar halinde yerleşmiş olmasına rağmen güvenlik çalışmalarının büyük bir kısmı tesise özeldir. Kuruluşların birlikte bütüncül risk analizi domino risklerini azaltmada önemli bir ihtiyaçtır. Özellikle Kocaeli, Körfez bölgesinde depolanan ham petrol, akaryakıt ürünleri, LPG ve petrokimyasal ürünlerin taşıdığı riskler hakkında ilgili iş yerlerinde, kamu görevlilerinde ve bölge halkında mevcut potansiyel tehlikenin önemi ve büyüklüğü konularında farkındalık yaratmak büyük bir önem taşımaktadır (Er ve Bozdağ, 2020).

Tehlikeli kimyasal içeriği arttıkça domino kaza etkilerinin artacağı öngörülmektedir. Kaynak salım faktörlerinin tehdit mesafeleri üzerinde önemli bir etkisi vardır, boru uzunluğu arttıkça tehdit mesafeleri doğrusal olmayan bir şekilde azalır ve boru çapı arttıkça yanma hızına bağlı olarak tehdit mesafeleri artar (Bektaş vd. 2024). Yanabilir kimyasal içeren basınçlı tanklarda BLEVE en tehlikeli senaryodur (Anjana vd. 2015). Madde miktarı arttıkça BLEVE ateş topu çapının arttığı, atmosferik koşulların ise çap değeri üzerinde bir etkisinin olmadığı görülmüştür. BLEVE yanma süresinin atmosferik koşullar ve madde miktarı ile değişmediği belirlenmiştir. BLEVE durumunda, patlama hemen hemen salım noktasında meydana geldiğinden ve atmosfere dağılım önemsiz olduğundan madde miktarı, madde cinsi gibi özelliklerin etkili olduğu kabul edilmiştir (Durmuş ve Çetinyokuş, 2022; Özay vd., 2021). Tanktaki bütan miktarının fazla olmasıyla buhar basıncı artar. Böylece kaçak noktasından çıkan bütan gazının debisi yüksek olur. Daha yüksek bir debiyle dışarı salınan bütan daha geniş bir alana yayılarak yanar. Dolayısıyla tehlike bölgelerinin çaplarında ciddi bir artışa neden olur (Açıkgöz, 2012). Termal radyasyonun yüksek olduğu bölgede insanlar üzerinde hem ölümcül yanıklar hem de akciğer hasarı görülebileceği düşünülmektedir (Vatansever vd., 2021). En geniş etki mesafelerinin gözlendiği BLEVE senaryosu, farklı miktarda tehlikeli kimyasal içeren tanklar üzerinden model çalışmaları yürütülerek farklı etkiler analiz edilebilir.

Jet yangını alev uzunluğu ve yanma hızının madde miktarı ile değişmediği, ancak kış koşullarında bu parametrelerin daha az olduğu görülmüştür. Jet yangını yanma süresi ve toplam yanan kütle hem madde miktarı hem de atmosferik koşullardan etkilenmiştir (Durmuş ve Çetinyokuş, 2022). Jet yangını senaryosu, farklı atmosferik koşullarda ve madde miktarında modellenabilir.

Toksik yayılım önemli can ve çevre kayıpları meydana getirmekte, ancak ciddi maddi hasar ve domino etkisi oluşturmamaktadır. Elde edilen metrik değerlerin literatürle değişkenlik göstermesi senaryo parametrelerine (kimyasalın cinsi, kimyasal miktarı, sıcaklık vb.) bağlıdır (Vatansever, vd., 2021).

Domino etkileri ilgili önlemler alınarak azaltılabilir ya da kontrol altına alınabilir. Sızıntı tespit ve müdahale süresinin azalması, acil duruma erken müdahaleyi sağlamaktadır. Yangın, patlama ve toksik yayılımda ortama salınan toplam kimyasal miktarını azaltarak kaza şiddetini kısmen düşürebileceğinden alınacak önlemler arasında yer alabilir (Taşdemir ve Çetinyokuş, 2024). Çalışmada yer alan senaryolarda tankın bütünlük kaybı açık alanda ve yerüstünde bulunan bir tankta meydana gelmiştir. Bu depolama tesisinde yer alan tanklar yeraltında kurulmuş sisteme sahip olsaydı kaza meydana geldiğinde şiddetinin ve etkilerinin daha az olduğu görülebilirdi. Bu yöntem bizlere LPG'yi kış mevsiminde veya soğuk havalarda nispeten uygun bir sıcaklıkta tutmamızı, yer darlığı dolayısıyla emniyet mesafelerini en az düzeye indirgememizi ve estetik bakımından da tankı gözlerden uzakta saklamak gibi avantajlar sağlayabilir (Açıkgöz, 2012). Özellikle kıyıya yakın ve nüfus yoğunluğunun fazla olduğu tesislerde özel güvenlik tedbirleri alınması gerektiği ve olası bir güvenlik zafiyetine mahal verilmemesi gerektiği değerlendirilmiştir (Kuzu, 2021). Sızıntı ya da taşma durumunda ürünün yayılmaması için tankların etrafı set yapıları (sedde veya duvar) ile çevrelenebilir. Set yapısının drenaj sistemi tahliyenin dışarıdan kontrol edilebilmesi sağlanabilir (Er ve Bozdağ, 2020). BLEVE olayının önüne geçmek için, basınç emniyet vanaları kullanılabilir (Kılıç vd., 2022). Depo tankları, yüzeyinin hacmine göre küçük olması, mekanik mukavemetinin görece yüksek olması ve imalatının kolay olması nedenleri ile silindirik olarak yapılır. Bu çalışmada da silindirik depolama tankı üzerinden çalışılmıştır. Depolama tesislerinde herhangi bir sızıntı veya bütünlük kaybı olması durumuna karşı kullanılan tankın özelliklerinin depoladığı kimyasal özellikleri ile uyumlu olması ve mukavemetinin yüksek olması gerektiği sonucuna varılmıştır (Er ve Bozdağ, 2020).

Domino potansiyeline sahip özellikle komşu kimyasal kuruluşlar bu çalışmada sunulan metodoloji üzerinden güvenlik mesafelerini belirleyerek acil durum planlarına yansıtabilirler. Bu kapsamda, etki mesafesine göre hazırlanacak acil durum planlarının toksik, termal radyasyon ve yüksek basınç etkilerinin olduğu bölgeler için ayrı ayrı değerlendirilmesi önerilmektedir (Çetinyokuş, 2017).

Bu çalışmada hem korelasyonlardan hem de ALOHA yazılımından yararlanılmıştır. Tek bir yöntem yerine birden fazla yöntemin birleştirilmesiyle daha etkin sonuçlar elde edilebilmektedir. ALOHA yazılımı gerçeğe yakın kaza modellemesi yapmakla beraber, pek çok kısıta sahiptir. Bu çalışma bir ön çalışma niteliğinde olup daha sonraki aşamada, farklı modelleme yazılımı kullanımı ya da korelasyonları metodolojiye dahil edilebilir.

KAYNAKLAR

- Abdolhamidzadeh, B., Abbasi, T., Rashtchian, D., and Abbasi, S. A. (2011). Domino effect in process-industry accidents—An inventory of past events and identification of some patterns. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 24(5), 575-593.
- Açıkgöz, V. (2012). *LPG depolama tanklarında yangın ve patlama durumlarının modellenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 21-25.
- Aliabadi, M. M., Ramezani, H., and Kalatpour, O. (2022). Quantitative Risk Assessment of Condensate Storage Tank, Considering Domino Effects. *Journal of Health and Safety at Work*, 12(1), 1-14.
- Alileche, N., Cozzani, V., Reniers, G., and Estel, L. (2015). Thresholds for domino effects and safety distances in the process industry: A review of approaches and regulations. *Reliability Engineering and System Safety*, 143, 74-84.
- Anjana, N. S., Amarnath, A., Chithra, S. V., Harindranathan Nair, M. V., and Jose, S. K. (2015). ALOHA ve GIS kullanılarak Cochin yakınlarındaki bir LPG depolama ve dağıtım tesisi çevresinde nüfus güvenlik açığı değerlendirmesi. *Uluslararası Mühendislik Bilimi Buluş Dergisi*, 4(6), 23-31.
- Bagster, D. F. (1991). Estimation of domino incident frequencies-an approach. *Process Safety Environment Protection*, 69, 195-199.
- Basheer, A., Tauseef, S. M., Abbasi, T., and Abbasi, S. A. (2019). Methodologies for assessing risks of accidents in chemical process industries. *Journal of failure analysis and prevention*, 19, 623-648.
- Bottelberghs, P. H. (2000). Risk analysis and safety policy developments in the Netherlands. *Journal of Hazardous Materials*, 71(1-3), 59-84.
- Bottelberghs, P. H., and Ale, B. J. M. (1996). Consideration of domino effects in the implementation of the Seveso II directive in the Netherlands. In *European seminar on domino effects, Leuven (B)*.
- Brighton, P. W. M. (1985). Evaporation from a plane liquid surface into a turbulent boundary layer. *Journal of Fluid Mechanics*, 159, 323-345.
- Center for Chemical Process Safety (CCPS). (2000). *Guidelines for Design Solutions for Process Equipment Failures*. New York: American Institute of Chemical Engineers, 85-92.
- Chen, C., and Reniers, G. (2020). Chemical industry in China: The current status, safety problems, and pathways for future sustainable development. *Safety science*, 128, 104741.
- Chen, C., Reniers, G., and Khakzad, N. (2019). Exploring loading and unloading operations in relation to domino effects in chemical industrial parks. *Chemical Engineering Transactions*, 77, 55-60.

- Clancey, V. J. (1972). *Diagnostic features of explosion damage*. In Sixth International Meeting of Forensic Sciences, Edinburgh.
- Cozzani, V., and Salzano, E. (2004). The quantitative assessment of domino effect caused by overpressure: Part II. Case studies. *Journal of Hazardous Materials*, 107(3), 81-94.
- Cozzani, V., Salzano, E. (2004a). The quantitative assessment of domino effects caused by overpressure. Part I: probit models. *Journal of Hazardous Materials*, 107(3), 67-80
- Çetinyokuş, S. (2017a). Sonuç analizi ile belirlenen etki mesafeleri üzerine atmosferik seçimlerin etkisi (ALPHA yazılımı). *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(1), 209-217.
- Çetinyokuş, S. (2017b). Patlama, yangın ve toksik yayılım fiziksel etki alanının belirlenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(7), 845-853.
- Darbra, R. M., Palacios, A., and Casal, J. (2010). Domino effect in chemical accidents: Main features and accident sequences. *Journal of hazardous materials*, 183(1-3), 565-573.
- Delvosalle, C. (2002). A methodology and a software (DOMINOXL) for studying domino effects. In *Chisa 2002, proceedings of the 15th international congress of chemical and process engineering*, Prague, Czech Republic, 25-29.
- Ding, L., Khan, F., Guo, X., and Ji, J. (2021). A new approach to reduce the risk of fire-related domino effect by taking advantage of loading/unloading demands in chemical industrial parks. *Process Safety and Environmental Protection*, 146, 610-619.
- Durmuş, A. ve Çetinyokuş, S. (2022). Diyarbakır Lise'de meydana gelen LPG tankeri kazasının fiziksel etkilerinin modellenmesi. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 10(4), 748-764.
- Er, A. ve Bozdağ, O. (2020). Petrol ve petrol ürünlerinin güvenli depolanması. *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(2), 170-179.
- Gholamizadeh, K., Alauddin, M., Aliabadi, M. M., Soltanzade, A., and Mohammadfam, I. (2023). Comprehensive failure analysis in Tehran refinery fire accident: Application of accimap methodology and quantitative domino effect analysis. *Fire Technology*, 59(2), 453-472.
- Glasstone S, Dolan Pj, (1977). *The Effects Of Nuclear Weapons*. Department Of Defense And The Energy Research and Development Administration. United States of America.
- Gledhill, J., and Lines, I. (1998). *Development of methods to assess the significance of domino effects from major hazard sites*. London: Health and Safety Executive, 183.
- Günes, J., Günes, D., Asif, M., Fang, B., Bai, Y., Qin, W., and Wang, Z. (2021). Insight into the safety distance of ground and underground facilities in typical petrochemical plants. *Journal of Loss Prevention in Process Industries*, 69, 104355.
- Güneş, Y. ve Çetinyokuş, S. (2020). Türkiye’de endüstriyel kazalara yönelik arazi kullanım planlaması (AKUP) problemi. *Journal of Humanities and Tourism Research*, 10(2), 226-248.

- Hawthorne, W.R, Weddell, D., Hottel, H. (1999) *Türbülanslı gaz jetlerinde karıştırma ve yanma*. Yanma Enstitüsü, 3. Uluslararası Yanma Sempozyumu, Pittsburgh.
- Iannaccone, T., Landucci, G., Scarponi, G. E., Bonvicini, S., and Cozzani, V. (2019). Inherent safety assessment of alternative technologies for LNG ships bunkering. *Ocean Engineering*, 185, 100-114.
- Ineris (2002). Méthode pour l'Identification des effets Dominos, Rapport final Direction des Risques Accidentels 2002b ; INERIS-DRA-2002-25472.
- İnternet: ALOHA. URL:<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P1003UZB.PDF?Dockey=P1003UZB.PD>, Son Erişim Tarihi:30/03/2024.
- İnternet: Department Of Energy Technical Standards Program. Office Of Nuclear Safety. URL: <https://www.standards.doe.gov/>, Son Erişim Tarihi:10/12/2023.
- İnternet: Emars. URL: <https://www.emars.jrc.ec.europa.eu/en/emars/accident/search>, Son Erişim Tarihi:05/02/2024.
- İnternet: Kimya Mühendisleri Odası. URL: https://Www.Kmo.Org.Tr/Genel/Bizden_Detay.Php?Kod=1725, Son Erişim Tarihi: 03.03.2024.
- İnternet: LPF Özellikleri ve Tehlikeleri. URL: https://www.yangin.org/dosyalar/lpg_ozellikleri_ve_tehlikeleri.pdf, Son Erişim Tarihi:04/03/2024.
- İnternet: Meteoroloji Genel Müdürlüğü. URL: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/ilveilceleristatistik.aspx?m=KOCAELI>, Son Erişim Tarihi:05/03/2024.
- İnternet: Türk Standartları Enstitüsü. URL: <https://www.tse.org.tr>, Son Erişim Tarihi:27/11/2023.
- Jiang, D., Pan, X. H., Hua, M., Mebarki, A. and Jiang, J. C. (2019). Assessment of tanks vulnerability and domino effect analysis in chemical storage plants. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 60, 174-182.
- Jones, R., Lehr, W., Simecek-Beatty, D. and Reynolds, M. (2013). ALOHA (Areal locations of Hazardous Atmospheres) Technical Documentation.
- Khan, F. I. and Abbasi, S. A. (1996). Simulation of accidents in a chemical industry using the software package MAXCRED. *Indian Journal of Chemical Technology*, 3(6), 338-344.
- Khan, F. I., and Abbasi, S. A. (1998). Models for domino effect analysis in chemical process industries. *Process Safety Progress*, 17(2), 107-123.
- Kılıç, A., Beceren, K. ve Balık, G. (2022). *Bildiriler Kitabı*. İstanbul. Uluslararası Yangın Güvenliği Sempozyumu Sergisi.
- Kuzu, A. C. (2021). Bir gaz tankerinin patlama senaryosu için bleve etki analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*, 1-16

- Lee, H. E., Yoon, S. J., Sohn, J. R., Huh, D. A., Lee, B. W., and Moon, K. W. (2019). Flammable substances in Korea considering the domino effect: Assessment of safety distance. *International journal of environmental research and public health*, 16(6), 969.
- Lee, J. Y., Lee, J. W., Ko, J., and Yoon, E. S. (2005). Optimization for allocating the explosive facilities in order to minimize the domino effect using nonlinear programming. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 22, 649-656.
- Leonard, T., (2013). Seveso III directive Implications for Irish Industry, Byrne O Cleirigh Engineers Consultants. URL: <https://www.scribd.com/document/269335245/Seveso-III-Directive-Implications-for-Irish-Industry>, Son Erişim Tarihi: 05.04.2024.
- Maden Teknik Arama (2020). *Kişisel koruyucu donanım rehberi*. Ankara: Maden Teknik Arama (MTA).
- Mohammadizadeh, M. R., and Seifinia, A. (2022). Investigation propagation of blast waves on storage tank farm and the importance of safe distance and position of storage tank. *Modares Civil Engineering journal*, 22(3), 97-112.
- Mukhim, E. D., Abbasi, T., Tauseef, S. M., and Abbasi, S. A. (2017). Domino effect in chemical process industries triggered by overpressure—Formulation of equipment-specific probits. *Process Safety and Environmental Protection*, 106, 263-273.
- Mutlu, H. (2020). *Büyük endüstriyel kazaların domino etkileri ve analizinin bir organize sanayi bölgesinde uygulanması*. Yüksek Lisans Tezi, Üsküdar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 21-25.
- Naderpour, M., and Khakzad, N. (2018). Texas LPG fire: Domino effects triggered by natural hazards. *Process Safety and Environmental Protection*, 116, 354-364.
- Olgun P. (2019). *Bir büyük endüstriyel kimyasal depolama tesisinde domino etkili kaza oluşumu ve sonuçlarının BST metodu ve ALOHA yazılımı kullanılarak incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 18-32.
- Özay, M. E., Köten, H. ve Can, E. (2021). İstanbul boğazı geçişi güvenlik açığı: olası tanker patlama simülasyonu. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 7(3), 509-516.
- Özkılıç, Ö. (2014). *Risk Değerlendirmesi Atex Direktifleri Patlayıcı Ortamlar Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması- Kantitatif Risk Değerlendirmesi*. Ankara: TİSK, 1-422.
- Reniers, G. (2010). An external domino effects investment approach to improve cross-plant safety within chemical clusters. *Journal of Hazardous Materials*, 177(1-3), 167-174.
- Reniers, G., and Cozzani, V. (Eds.). (2013). *Domino effects in the process industries: modelling, prevention and managing*. Newnes.
- Reniers, G. L., and Dullaert, W. (2007). DomPrevPlanning: user-friendly software for planning domino effects prevention. *Safety Science*, 45(10), 1060-1081.

- Reniers, G. L. and Dullaert, W. (2008). Knock-on accident prevention in a chemical cluster. *Expert Systems with Applications*, 34(1), 42-49.
- Reniers, G. L., Dullaert, W., Ale, B. J. M., and Soudan, K. (2005). The use of current risk analysis tools evaluated towards preventing external domino accidents. *Journal of loss prevention in the process industries*, 18(3), 119-126.
- Reniers, G., Cozzani, V. (2013). Properties of escalation scenarios. Modeling domino effects in process industries, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 110(3), 30-42.
- Resmi Gazete. (2019). *Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik*. Ankara: Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve İçişleri Bakanlığı, 8-16.
- Salzano, E., and Cozzani, V. (2012). Hazard factors in external quantitative risk analysis. *Revistade Inginieria*, 37, 50 – 56.
- Santana, J. A. D., Orozco, J. L., Furka, D., Furka, S., Matos, Y. C. B., Lantigua, D. F., and González, M. C. B. (2021). A new Fuzzy-Bayesian approach for the determination of failure probability due to thermal radiation in domino effect accidents. *Engineering Failure Analysis*, 120, 105106.
- Sarvestani, K., Ahmadi, O., and Alenjareghi, M. J. (2021). LPG storage tank accidents: initiating events, causes, scenarios, and consequences. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 21(4), 1305-1314.
- Spadoni, G., Contini, S., and Uguccioni, G. (2003). The new version of ARIPAR and the benefits given in assessing and managing major risks in industrialised areas. *Process Safety and Environmental Protection*, 81(1), 19-30.
- Swuste, P., van Nunen, K., Reniers, G., and Khakzad, N. (2019). Domino effects in chemical factories and clusters: An historical perspective and discussion. *Process Safety and Environmental Protection*, 124, 18-30.
- Taşdemir O. (2023). *Katı yakıt mikserlerinde proses kazalarının önlenmesine yönelik proses tehlike analizi ve güvenli proses tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 21-25.
- Taşdemir, O. ve Çetinyokuş, S. (2023). Risk analysis in a chemical storage facility: Effect of independent protection layers Kimyasal depolama tesisinde risk analizi: Bağımsız koruma katmanlarının etkisi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 39(1).
- Tixier, J., Dusserre, G., Rault-Doumax, S., Ollivier, J. and Bourelly, C. (2002). OSIRIS: Software for the consequence evaluation of transportation of dangerous goods accidents. *Environmental modelling & software*, 17(7), 627-637.
- TMMOB Kimya Mühendisleri Odası (2017,2020). Endüstriyel Yangın ve Patlamalar Raporu. İstanbul.

- Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA) (2013). ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) Technical Documentation, Seattle, Washington.
- Vatansever, Ö., Kırtas, H. A., and Barışık, T. (2021). Bleve temelli kaza etkilerinin değerlendirilmesi. *Resilience*, 5(2), 143-157.
- Vesilind, P. A., Morgan, S. M., and Heine, L. G. (2012). *Çevre Mühendisliğine Giriş*. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık, 51-55.
- Vilchez, J. A., Sevilla, S., Montiel, H., and Casal, J. (1995). Historical analysis of accidents in chemical plants and in the transportation of hazardous materials. *Journal of Loss Prevention in the process Industries*, 8(2), 87-96.
- Vince, I. (2011). *Major Accidents to the Environment: A Practical Guide to the Seveso II-Directive and COMAH Regulations*. Oxford: Elsevier.
- Wang, K., Qian, X., He, Y., Shi, T., and Zhang, X. (2020). Failure analysis integrated with prediction model for LNG transport trailer and thermal hazards induced by an accidental VCE: A case study. *Engineering Failure Analysis*, 108, 104350.
- Xiang, Y., Wang, Z., Zhang, C., Chen, X., and Long, E. (2022). Statistical analysis of major industrial accidents in China from 2000 to 2020. *Engineering Failure Analysis*, 141, 106632.
- Zhang, M., Zheng, F., Chen, F., Pan, W., and Mo, S. (2019). Propagation probability of domino effect based on analysis of accident chain in storage tank area. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 62, 103962.
- Zhou, J. and Reniers, G. (2018). Matrix-based modeling and analysis approach for fire-related domino effects. *Process Safety and Environmental Protection*, 116, 347-353.



Gazili olmak ayrıcalıktır