

Kimya fabrikalarında ve kümelerinde domino etkilerinin tarihsel bakış açısı ile incelenmesi

Orkun DALYAN^{1a}, Mehmet PİŞKİN^{2b*}

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği, 17020, Çanakkale, Türkiye

²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Gıda İşleme Bölümü, 17020, Çanakkale, Türkiye

ORCID: ^a0000-0003-4791-9084, ^b0000-0002-4572-4905

Geliş Tarihi/Received	Kabul Tarihi/Accepted	Yayın Tarihi/Published
14.05.2021	21.06.2021	12.10.2021

Özet: 1970'lerde dünyanın ilgisini çeken Batı ülkelerindeki büyük kazalar, kimya ve petrokimya sektörlerinde ve kümelerinde iç ve dış domino etkilerine yönelik araştırmalar için başlangıç noktasıdır. Başlangıçta, bu araştırmalar devlet kurumları ve hükümetle ilgili araştırma merkezleri tarafından yayınlandı. 1970'lerde ve 1980'lerde artan nicel risk analizleri ve Hollanda'da basılan "renkli kitaplar", domino etkilerinin nicelleştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. İkinci Avrupa Seveso Direktifi, 1990'ların ortalarından sonra konuyla ilgili akademik yayınların ve domino etkileri üzerine bilimsel araştırmaları önemli ölçüde artmasını teşvik etmektedir. Batı ülkelerindeki araştırmalara risk değerlendirmelerinde olasılıklar hakimdir ve karmaşık domino etkileri ve sonuçları için başarısızlık mekanizmaları hesaplanır. Önceki çalışmalar siyasi, resmi ve özel karar alma ile yakından ilgilidir. Risk yönetimine geçiş henüz emekleme aşamasındadır. Domino etkilerinin başlangıç noktalarındaki ilk senaryoları anlamak için gelecekte olabilecek süreçlere bir geçiş gereklidir. Hindistan'da 1990'ların ortalarında domino etkileri için bir farkındalık çağırısı yapıldı. Uluslararası bilimsel literatürde domino etkileri üzerine Çin yayınları, 2000'lerin ortalarından itibaren ortaya çıkmaktadır. Çin'deki hızlı sanayileşme nedeniyle, sektördeki birçok büyük kazayla kıyaslandığında diğer kimya şirketlerine göre çok fazladır. Bu derleme çalışmasında, 1966-2018 döneminde domino etkileri üzerine yapılan araştırmaların sonuçları, bu kaza süreçlerinin ana belirleyicileri ve bu alanda gelecekteki olası geçiş tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Domino etki, kimyasal küme, kimya endüstrisi, proses güvenliği, tarihsel inceleme

Investigation of domino effects in chemical factories and clusters from a historical perspective

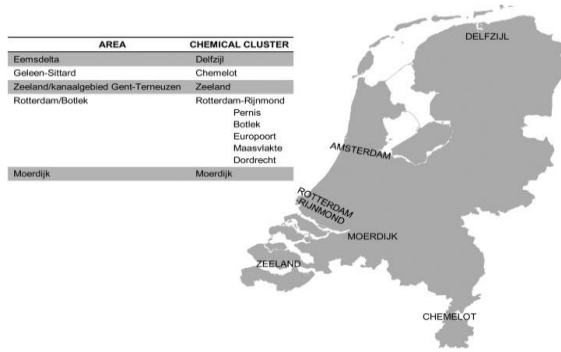
Abstract: Major accidents in Western countries, which attracted great media attention in the 1970s, are the starting point for research into internal and external domino effects in the chemical and petrochemical industries and clusters. Initially, these reports are published by government agencies and government-related research centers. With quantitative risk analyzes approaching in the 1970s and 1980s, the 'color books' published in the Netherlands play an important role in quantifying these domino effects. Since the mid-1990s, the second European Seveso Directive has promoted scientific research on domino effects, demonstrated by a significant increase in academic publications on the subject. Research in Western countries is dominated by risk assessments and probabilities. and failure mechanisms are calculated for the complex domino effects phenomenon and its consequences. Previous studies are closely related to political, official and private decision making. The transition to risk management is still in its infancy. A future transition is necessary to understand the initial scenarios as starting points for domino effects. A wake-up call for domino effects was issued in India in the mid-1990s. Chinese publications on domino effects have appeared in the international scientific press since the mid-2000s. Due to a rapid industrialization, the figures in the Chinese country are too much for chemical companies compared to many major accidents in this industry. This article will discuss the results of the research on domino effects carried out in the period 1966–2018 and the main determinants of these accident processes. In addition, the transition in both this research area and the future will be discussed.

Keywords: Domino effect, chemical cluster, chemical industry, process safety, historical investigation

1. GİRİŞ

Domino etkileri üzerine literatürde birçok derleme makalesi bulunmaktadır. Bazı makaleler kimya ve proses endüstrilerindeki domino etkileri de dahil olmak üzere büyük kazaların analizini sunmaktadır [1-5]. Başka bir makale, bu analizlerin son durumunu veya araştırmayı gözden geçirmektedir [6]. Bu çalışmada, son 50 yıldır yürütülen kaza süreçlerinin araştırılması ve konu hakkındaki bilginin geliştirilmesine ilişkin tarihsel bir bakış sunmaktadır. Tarihsel genel bakışlar sadece bir anekdot ve kronoloji kaynağı olarak değil, aynı zamanda bu yaklaşımı haklı çıkararak domino etkisi hakkındaki bilgilere ışık tutmaktadır. Bu çalışma, bilgimiz dahilinde bulunan geçişlere ve domino etkilerine yol açan karmaşık kaza süreçlerinin belirleyicilerine odaklanmaktadır.

Hollanda, kimya sektörü için elverişli bir iş ortamına sahiptir. Hollanda, Belçika, Almanya ve Kuzey Fransa'daki en önemli kimya merkezleri arasında direkt hatlar bulunmaktadır. Bu kimyasal kümelerden altı tanesi aktiftir (Şekil 1).



Şekil 1. Hollanda'daki kimyasal kümeler [47].

Rotterdam-Rijnmond, Moerdijk, Zeeland ve Chemelot da ARRRRA kümelenmesi, Anvers ve Ren-Ruhr bölgesi ile kimya endüstrisi içindeki iş birliğinin bir parçasıdır. ARRRRA (Antwerp-Rotterdam-Ren-Ruhr Bölgesi) kümesi boru hatları, kara, su ve demiryolları ile entegre edilmiştir [7]. Kimyasal bir küme, kimyasal olmayan cihazlarla çevrili olsun veya olmasın, çeşitli kimyasal ekipmanların ve tesislerin bulunduğu coğrafi olarak tanımlanmış bir alandır. Bu kurumlar arasında iş birliği olmayacağı gibi hafif veya yoğun bir şekilde iş birliği için organize edilmiş de olabilir. İş birliği, enerji ve hammaddelerin verimli kullanımı gibi fırsatlar oluşturmaktadır. 'Tedarik zinciri yönetimi', tedarik zincirinin farklı bölümlerinde aktif olan birden çok ortak arasındaki ilişkiler için bir seçenektir. Bu durum, dikey iş birliği olarak bilinmekte ve gereksiz lojistik maliyetlerini önlemektedir. İş birliği, olay ve afet yönetimi gibi bilgi, tesis veya kaynakların alışverişi ve paylaşımına atıfta bulunarak yatay da olabilir [8,9]. Şirketlere yakınlık ve şirketler arasındaki bağlantıların güvenlik üzerinde her zaman olumlu bir etkisi yoktur. Bu sektörlerdeki zincir entegrasyonu ve karmaşıklık, kademeli büyüme ve daha fazla otomasyon ile artmaktadır. Şirketlerin görev ve bileşenleri daha fazla dış kaynak kullandığında, süreçler ve

bağımlılıklar daha karmaşık hale gelir ve kaçma etkileri olsun veya olmasın büyük kaza risklerinde artış oluşturur. Hollanda'da patlamalar, yangınlar ve sızıntılardan kaynaklanan tehlikeli madde emisyonları, bazı büyük kazalar ve olaylar sürekli olarak meydana gelmektedir. Bu kazalar şimdiye kadar birkaç yüz milyon Türk lirasına varan maliyeti olan tesislerdeki hasarlarla sınırlıydı. Örneğin, 2011'de Rotterdam yakınlarındaki Moerdijk'deki Chemie-Pack şirketinde meydana gelen büyük bir yangına neden olan kazanın maddi hasarı 711 milyon Türk lirasına mal olmuştur.

Bir domino etkisi, nispeten daha karmaşık bir olaydır. Son yirmi yılda bu gibi olaylar bilimsel literatürde artan bir ilgi görmüştür. Domino etkileri için bir dizi tanım vardır. En basit tanım Lees'den gelir ve bu tanım 'bir birimdeki olayın başka bir birimdeki olayı takibine neden olan olay' olarak açıklamaktadır [10]. Reniers ve ortak yazarlar, bir domino etkisini 'önceki bir kazanın sonuçlarının hem mekânsal hem de sıralı olarak art arda gelen olaylarla arttığı ve büyük bir kazaya yol açtığı olaylar dizisi' olarak tanımlar [11]. Bu iki tanım, domino etkilerinin sürecini açıklamaktadır. Amerikan Kimya Mühendisleri Enstitüsü'nün (AIChE) Amerikan Kimyasal Proses Güvenliği Merkezi domino etkisini (CCPS), 'bir birimde başlayan ve termal bir etki, bir patlama veya parçaların etkisiyle yakındaki birimleri etkileyen bir olay' tanımlamaktadır. Bu tanımda, domino etkisinin mekanizmasına, ısı radyasyonuna, basınç dalgasına ve enkazın projeksiyonuna dikkat edilir. Bu durum, Cozzani ve ortak yazarlar tarafından dört aşamanın ayırt edildiği bir tanımda daha ayrıntılı olarak açıklanmıştır:

- Birincil kaza senaryosu, domino etkisinin başlangıç noktası;
- Birincil senaryonun fiziksel etkilerinden (artan vektör faktörleri) kaynaklanan ve en az bir ikincil üniteye hasarla sonuçlanan birincil olayı takip eden yayılma;
- Aynı veya başka fabrika birimlerini veya tesisi içeren bir veya daha fazla ikincil kaza senaryosu;
- Artış etkisi, birincil senaryoya göre domino etkisinin artması sonucudur

Bu son tanım, mekanizmalarda daha ayrıntılıdır ve bir kuruluş içindeki bir 'iç domino etkisi', ve birkaç kuruluş arasındaki bir 'dış domino etkisi' arasında ayırım yapar. Yukarıdaki dört tanım, domino olaylarının evrensel olarak kabul edilmiş bir tanımı konusunda literatürde zayıf bir fikir birliği olduğunu göstermektedir [5,6,9]. Domino kazalarının etkilerinin çok ciddi olabileceği gerçeğine rağmen, konu güvenlik yöneticileri tarafından çok az ilgi görmüştür. Bu konuya olan ilgi son on yılda dikkat çekiciydi. Sonuçta, domino etkileri karmaşıktır ve büyük kazalara kıyasla gerçekleşme olasılığı çok düşüktür. Bu derleme çalışması, aşağıdaki araştırma sorularına göre yapılandırılmıştır:

- Proses endüstrilerinde domino etkileri üzerine 1966-2018 yılları arasında yapılan araştırmanın sonuçları nelerdir?
- Birincil senaryolar, engeller, domino etkilerini hesaplama modelleri ve risk yönetimi ile ilgili araştırmanın odak noktası nedir?

- c) Bu dönemdeki araştırmalarda büyük ilerlemeler tespit edilebilir mi?

2. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra Batı ülkelerinin kimya endüstrisinde büyük bir gelişme yaşandı. Bu dönemde tehlikeli maddelerin üretim kapasitesi, depolanması ve taşınması önemli ölçüde arttı. Bu durum, 1970'lerden beri medyada ve bilimsel literatürde kapsamlı bir şekilde tartışılan büyük kazalara olan ilgiye yol açtı. O zamandan itibaren, proses endüstrisindeki tesislerin güvenilirliği büyük bir endişe konusu olmuş ve çeşitli 'kayıp önleme' çalışmaları başlatılmıştır [12].

Domino etkilerinin araştırılması farklı zaman dilimlerine ayrılabilir. Li ve ortak yazarlar, Seveso düzenlemeleri ile Batı ülkelerindeki akademik yayınların artışı araştırdılar [16]. 1982 yılında Seveso I direktifi [17], proses endüstrisinde önemli bir olay olarak domino etkilerinden bahseder. Bu, uluslararası konferanslardaki sunumlara ve büyük kazalar üzerine yapılan araştırma raporlarına veya kimyasal endüstri parklarının risklerine yönelik araştırmalara konu olan etkilerdir. Bilimsel dergilerdeki yayınlar 1982'den sonra ortaya çıkmıştır.

İlk dönem, 1966'da Fransa'nın Feyzin kentinde dahili bir domino etkisi olan büyük bir kaza ile başlamakta ve 1990'lı yılların başına kadar devam etmektedir.

İkinci dönem, 1996'dan itibaren Avrupa Seveso II direktifinin yayınlanmasıyla çakışmaktadır [18]. Bu kılavuz, mekânsal planlama için kurallar ve domino etkilerinin belirlenmesi ve önlenmesi gerekliliğini içermektedir. 2011 yılına kadar devam eden bu dönemde bilimsel basında çıkan yayınlarda artış olduğunu gözlenmektedir.

Üçüncü dönem ise Seveso III ile başlar [19]. Bu kılavuz, kimyasalla çalışan işletmelerin artan senaryoları önlemek için yoğun bir şekilde bilgi alışverişi yapmaları gerektiğini belirtir. Tüm Seveso yönergeleri yalnızca kurumlar arasındaki harici domino etkilerinden bahsederken kuruluş içindeki dahili domino etkilerini dışarıda bırakılır. Üçüncü dönem, bilimsel makalelerin sayısında keskin bir artış olduğunu göstermekte ve bu literatür taramasında 2018'e kadar devam etmektedir. Bu dönem, dinamik modelleme ve domino etkilerinin risk değerlendirmesi için metodolojilerin geliştirilmesiyle (örneğin, Bayes ağı ve Petri ağları aracılığıyla) güvenlik bariyerlerinin domino etkilerinin olasılığı ve ciddiyeti üzerindeki etkisinin modellenmesi ve değerlendirilmesi ve son 10 yılda domino etkilerinin maliyet-fayda risk yönetimiyle de karakterize edilebilir. Batı ülkelerinde yapılan araştırmalara ek olarak, Orta ve Güneydoğu Asya'dan yazarlar tarafından da domino etkileri üzerine birçok makale yayınlanmıştır. İlk belgelenen domino kazası 1947 yılına aittir. Texas City limanında amonyum nitrat taşıyan bir gemi, yangın nedeniyle patlamıştır. Patlama, zincirleme bir reaksiyona neden olarak diğer gemiler ve karadaki petrol deposunu patlatmıştır. Amerika'daki bu büyük endüstriyel kaza, ölüm sayısı bakımında diğer kazalara göre en büyüğü olmasına rağmen, domino etkilerinin araştırılması için tetikleyici olmamıştır [20].

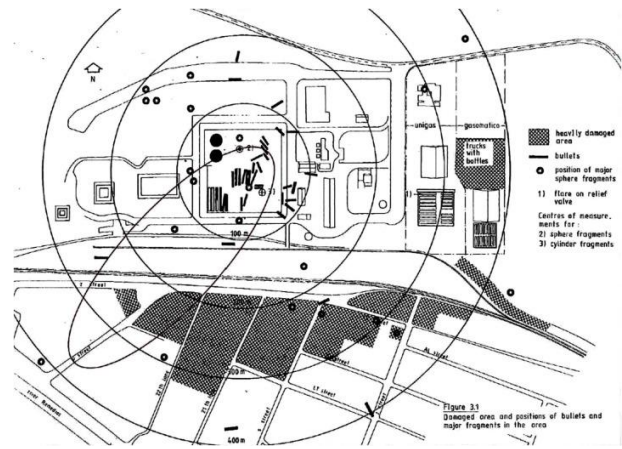
2.1. İlk dönem (1966 – 1995)

İlk döneme, dahili domino etkileri olan Feyzin-1966 Fransa, Flixborough-1974 İngiltere ve Mexico City-1984 Meksika gibi büyük kazalar hakimdir. Bu kazaların analizleri, domino etkilerine sahip tesadüfi süreçlere genel bir bakış sağlar ve 1970'lerde güvenlik alanında tanıtılan bir risk yaklaşımını teşvik etmektedir. Büyük Britanya, Hollanda ve İtalya'da ileriye dönük araştırmanın başlangıcı olmuştur. Bilimsel literatür, bu kaza süreçlerinin artan faktörlerinin araştırılmasına odaklanmaktadır.

2.1.1. Avrupa ve Meksika'da domino etkisi olan büyük kazalar

1966 yılında Fransa'da Lyons'un 10 km aşağısında bulunan Feyzin rafinerisinin tank deposunda büyük bir yangın çıkmıştır. Bu büyük kazaya, literatürde çok az bir şekilde atıfta bulunmaktadır [21]. Bir (sıvılaştırılmış petrol gazı) LPG emisyonu, yan yoldan geçen bir araba tarafından ateşlenen bir gaz bulutu oluşturmuştur.

İkinci önemli kaza Delft-Hague'da Birinci Uluslararası Kayıp Önleme Sempozyumun bitiminden bir gün sonra meydana gelmiştir [22]. İngiltere'deki Kuzey Linconshire Flixborough Works of Nypro Limited'de şiddetli bir patlama meydana gelmiştir. İki reaktör arasında yeni yapılmış bir baypas, başlatma sırasında patlamış, ikincil bir etki olarak fabrikanın birçok yerinde yangınlar ve ardından gelen patlamalar fabrikanın büyük bir bölümünü patlatmıştır. Bu büyük kaza da bir domino etkisidir [23]. Üçüncü büyük domino felaketi, Flixborough'dan on yıl sonra Mexico City'nin kuzey bölgesi San Juan Ixhuatepec'de devlete ait petrol şirketi Petroleo Mexicana'nın Pemex LPG deposunda meydana gelmiştir. Sahadaki bir LPG sızıntısı, LPG boru hatlarını yakan bir ateş topu olan Kaynayan Sıvı Genişleyen Buhar Patlamasına (BLEVE) yol açmış ve ortaya çıkan alevler bir dizi sıralı patlamalara neden olmuştur. LPG silindirleri, kısmen bitişik olan bir yerleşim bölgesine fırlamıştır (Şekil 2) [10,24]. Bu kaza yaklaşık 650 kişinin hayatını kaybetmesiyle o zamana kadarki kaydedilen en kötü domino etkisi olmuştur.



Şekil 2. Mexico City PEMEX yerleşim alanı (taranmış bölgeler ağır hasar alan bölgeleri, halkalar gaz bulutu kapsayan yerleri ifade etmektedir) [10,24]

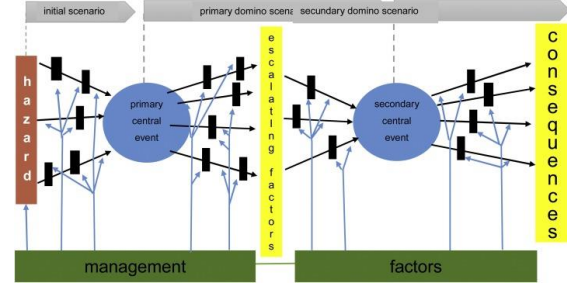
Dört yıl sonra İskoçya'nın yaklaşık 120 mil kuzey doğusunda bulunan Piper Alpha platformunda yaşanan bir başka felaket, platformlarda ve fabrika sahalarında meydana gelen yangın ve patlamalardan kaynaklanan domino etkilerine ve olayların artışına bir kez daha dikkat çekmiştir. Bu durum, 1980'lerin sonunda, kısaltılması LOPA olan 'Koruma Katmanları Analizi' tasarım stratejisinin oluşturulmasına yol açmıştır. Bu kavram askeri sektörden gelen ve ilk olarak 1950'lerde nükleer sektörde kullanılan bir tanımdır [25]. Bu tanıma 1990'lı yılların sonlarında da 'Güvenlik Bütünlük Seviyeleri (SIL'ler)' eklenmiştir.

2.1.2. Büyük Britanya, Hollanda ve İtalya'da olası risk araştırması

1970'li yılların başlarında, Flixborough felaketiyle beraber risk kavramı güvenlik biliminde de ortaya çıkmıştır. Hollanda'da, nicel risk analizi yöntemi olan kantitatif risk analizinin (QRA) tasarımına rehberlik eden 'renkli kitaplar' yayınlanmıştır [15]. Bir diğer önemli yayın, nükleer santraller için ilk kez olasılıklı risk analizi yöntemlerini (PRA) içeren WASH-1400 raporudur. Kimyasal tesislerin risklerinin ölçülmesi ilk olarak Büyük Britanya'da uygulanmıştır. Canvey adası, Thames Nehrinin kuzey denizi haricindeki kimyasal endüstri parkında ikinci bir petrol rafinerisinin inşası için bir iznin reddedilmesine yönelik bir teklifle sunulmuştur. İngiliz Sağlık ve Güvenlik İdaresi, kuruluşların, faaliyetlerin ve yerel sakinler için olası sonuçların potansiyel risklerini hesaplamıştır [26]. Bu endüstri parkında, bir sıvılaştırılmış doğalgaz (LNG) ve bir LPG terminali, petrol ürünleri, zehirli ve yanıcı sıvılar ve amonyak depolanması, bir petrol rafinerisi, bir amonyum nitrat tesisi ve tehlikeli maddelerin kara, su, raylar ve boru hatları üzerinden taşınması dahil olmak üzere çeşitli tehlikeli şirketler bulunmaktaydı. Öncelikle tarihsel verilere dayanarak, olasılıklar sıvı, gaz ve patlama emisyonları için hesaplanmıştır.

2.1.3. Domino etkilerinin bir kaza sürecinin sunumu ve domino etkisi papyon

Bu dönemde, domino etkilerine yol açan kaza süreçlerinin ana belirleyicileri, esas olarak geçmişteki büyük domino kazalarının vaka tanımlarından gelmektedir. Bu kaza süreçlerini görselleştirmenin bir yolu çift papyon yöntemidir (Şekil 3). Bu papyon, sol tarafta, bir tehlikeden başlayarak bir kaza sürecini ve başlangıcını göstermektedir. Soldan sağa doğru oklarla çeşitli kaza senaryoları gösterilmektedir. Bu senaryolar, domino etkisinin merkezi noktasına birincil merkezi olaya götürülebilir. Bu, tehlikenin kontrol edilemez hale geldiği ve artan faktörlere yol açtığı bir durumdur. Bu durum şeklin ortasındaki sarı dikdörtgendir.



Şekil 3. Domino etkisi faktörlerini belirten papyon yöntemi [47]

Şeklin sağ tarafında birincil kaza sürecinin sonuçlarından daha büyük sonuçlara yol açabilir. Şekil, tek bir domino taşının kaza sürecini göstermektedir. Prensipte olarak, birincil kaza süreci birden fazla ikincil merkezi olay ile sonuçlanabilir. Modelin gücü, etkileyen parametrelerle ilgilidir. Bu parametreler, birincil ve ikincil merkezi olayları, şekildeki daireleri önleyebilir veya sonuçları, sarı dikdörtgenleri sınırlayabilir. İki tür etkileyen parametre tanımlanabilir. İlk olarak, şekilde siyah dikdörtgenler olarak gösterilen güvenlik bariyerleri. Bunlar, kaza senaryolarını kesintiye uğratan fiziksel veya teknik engellerdir. İkinci olarak, mavi dikey oklarla engellerin, senaryoların ve tehlikelerin kalitesini etkileyen, şeklin altındaki yeşil dikdörtgenler olan yönetim faktörleri vardır. Mavi çizgiler fiziksel olmayan veya organizasyonel ve insani yönleri temsil eder. Domino etkilerini yeterince yönetmek için hem birincil hem de ikincil domino senaryoları kontrol edilmelidir.

2.1.4. Kantitatif risk analizi (QRA) ve domino etkisi

Yayınlarda en başından beri bir risk yaklaşımı ve ilgili risk hesaplaması çoğunlukla görülmektedir. Bunun nedeni kısmen 1970'lerden itibaren risk yaklaşımına artan odaklanma ve kısmen de meydana gelebilecek veya gerçekleşmiş büyük kaza süreçlerinin karmaşıklığından kaynaklanmaktadır. Belirtilen sanayi parklarındaki büyük kazalar genellikle çok karmaşıktır. Bu dönemde mekanizmalarını modellemedeki zorluklarına rağmen [6], bir risk yaklaşımı en güvenilir yöntem olmaktadır. QRA analizinde domino etkilerinin hesaba katılmadığı makalelerde belirtilmiştir. Kaza sürecinin artan faktörler dahil olmak üzere merkezi olaylarını ve sonuçlarını açıklamak için bir başlangıç yapılmaktadır. Bu başlangıç, bir havuz yangını, bir patlama, zehirli kimyasalların salınımı, bir ateş topu tarafından yansıtılan parçalar, BLEVE, bir jet yangını ve malzeme arızasından sonra bir patlama ile ilgili olabilmektedir. Bu dönemde bilimsel literatürde yer alan makalelerde, nicel risk analizleriyle ayrılmaz bir şekilde bağlantılı olan bazı belirsizlikler tartışılmaktaydı. Uzmanlar tarafından yapılan değerlendirmeler ve tarihsel veriler arasındaki uyumsuzluk, kimyasalların toksisite verilerindeki belirsizlikler ve analizin eksikliği, analizin dayandığı verilerle ilgilidir [2,27]. Mevzuat ve düzenlemeler sürecinde, bir risk analizinin sonuçları, risklerle ilgili iletişimi destekleyebilir ve karar vericiler arasında fikir birliğini destekleyebilir. Ancak riskleri yorumlamak için

uzman bireylere ihtiyaç vardır. Kimyasal bir endüstri parkına yakın yaşayan yerel sakinler gibi kararlar veren yerel yönetimler de bu uzmanlıktan yoksundur. Risklerin argüman olarak nicelleştirilmesi daha çok verimsizdir [28].

2.2. İkinci dönem, Seveso II, (1996 – 2001)

İkinci dönemde, proses endüstrisindeki ve liman bölgelerindeki büyük kazalara ilişkin geriye dönük araştırmaların beş büyük özeti yayınlanmıştır. Bu incelemeler için İngiliz Sağlık ve Güvenlik İdaresi'nin (HSE) Büyük Tehlike Olay Veri Hizmeti (MHIDAS), Avrupa Birliği Büyük Kaza Raporlama Sistemi (MARS), Hollanda Uygulamalı Bilimsel Araştırma (TNO) kuruluşunun Kaza Teknik Bilgi Sistemi (FACTS) ve Fransız Bölgesel Planlama ve Çevre Bakanlığı'nın Kazaların Analizi, Tespiti ve Bilgileri (ARIA) kullanılmıştır. Bu makaleler, tekli veya çoklu dahili ve harici domino etkileri olan kazalar dahil olmak üzere kaza süreçlerinin genel bir resmini sunmaktadır. Vaka raporlarının aksine, veri tabanlarındaki bilgi genellikle sınırlıdır. Veri tabanındaki bilgiler de farklılıklar genellikle yoktur veya yorumlanması zordur. Bu araştırmaya ek olarak, büyük kazaların yüzlerce sayıya ulaştığı bu dönemde, her ikisi de İtalya'dan sanayi parklarının risk hesaplamaları da dahil olmak üzere iki prospektif vaka çalışması yayınlanmıştır. Ayrıca, birincil merkezi olaylar, artan faktörler, engeller ve önlemler, domino etkilerini hesaplama yöntemleri ve endüstriyel kimyasal parklarda güvenliğin nasıl yönetilebileceği hakkında makaleler yayınlanmıştır.

2.2.1. Domino etkisi üzerine geriye dönük araştırma

İlk çalışma, MARS veri tabanını kullanılarak 1960 ve 1998 arasındaki 207 kimyasal büyük kazaya genel bir bakış sağlamıştır. Çeşitli tehlikeler arasında, yanıcı sıvılar (yağ, nafta, benzin, gazyağı), gaz halindeki hidrokarbonlar ve toksik maddeler (Cl₂, NH₃, pestisitler) gibi karakteristik modeller de bulunmaktadır. En yüksek domino frekansı, gaz halindeki hidrokarbonlarda ve en düşük toksik maddelerle bulunmuştur. Ancak etki aralığı en büyük olan toksik maddelerdir [1]. MHIDAS'ı kaynak olarak kullanan ikinci bir araştırmada limanlarda 828 kimyasal olay incelenmiştir. Seveso II Direktifi, bu tehlikeli madde taşımalarına uygulanmaz. Kaza süreçleri 'muhafaza kaybı' (LOC) ile başlar ve patlama olsun veya olmasın bir yangına yol açmaktadır. Bu yangınlar manevra ve yaklaşma operasyonlarında çok sık değildir ve süreç-nakliye gibi kara operasyonları sırasında daha yaygındır. Yükleme (boşaltma) sırasında meydana gelen kazaların %5'i bir LOC sekansına sahiptir [2]. MHIDAS, üçüncü çalışmanın ana bilgi kaynağıdır. Ayrıca MARS, FACTS ve ARIA veri tabanlarının bilgisine de başvurulmuştur. Bu anket, MHIDAS veri tabanının yükselme faktörleri olarak sınıflandırılmasıyla birlikte 1961–2007 döneminde domino etkisi olan 225 kimyasal kazayı (dış olaylar, mekanik arıza, insan hatası, çarpışmalar ve kontrolden çıkma reaksiyonu gibi şiddetli reaksiyonlar) araştırmaktadır. Burada ilk iki kategori, harici olay ve mekanik arıza, depolamada, üretim sürecinde ve nakliyede domino etkileri için en önemli faktörlerdir. Bir patlama ile

başlayan ve ardından bir yangın ve bunun tersi olan kaza süreçleri, açık farkla çoğunluktadır [4]. Son iki çalışma, 1917 ile 2009 yılları arasındaki 224 domino kazasını [5], ve 84 jet yangınına araştırmıştır [3]. Kazaların %89'u ezici bir çoğunlukla yanıcı maddelerden kaynaklanmaktadır. Ancak CO₂, Cl₂ gibi yanıcı olmayan maddeler ve aşırı ısınmış su da patlamalara ve ardından domino etkilerine neden olmaktadır.

2.2.2. İtalya'da olası risk araştırması

Tehlikeli maddelerin işlenmesi, depolanması ve taşınması nedeniyle büyük kaza risklerinin bulunduğu bir bölge üzerindeki etkiyi ölçmek için uygulanabilecek olan metodoloji (ARIPAR) uygulamasının ilk çalışmasından on beş yıl sonra, endüstriyel kimya parklarındaki şirketlerin resmi güvenlik raporlarından alınan 300 senaryoya dayanarak ikinci bir prospektif analiz başlatılmıştır. Sonuçlar 1995 çalışmasından farklı çıkmamıştır. Yine, ulaşımın neden olduğu bir dizi sıcak nokta konumu belirlenmiştir [29]. İkinci bir prospektif çalışma, İtalya'nın Sicilya kentinde, adanın doğu tarafında, Siracusa yakınlarındaki Augusta-Mellilli-Priolo sanayi parkında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, ARIPAR projesinin yönteminin de uygulanmış olması dışında, veri kaynaklarının ve sonuçlarının spesifikasyonu konusunda oldukça yetersizdir.

2.2.3. Kantitatif risk analizi (QRA) ve domino etkisi

Bilimsel literatürde, domino etkilerinin olasılıklarını ve sonuçlarını hesaplama yöntemlerine çok ilgi vardır. QRA analizi, bir hasar olasılığı modeli, bir probit, çeşitli artırma faktörleri ve aşırı basıncın bir sonucu olarak proses ekipmanına verilen hasar kategorileri için veya Hollandaca renkli kitap serisinden "Sarı Kitap"tan alınan bilgilerle tamamlanır. Tarihsel verilerin yetersizliğine rağmen, ekipmanla yapılan bir domino etkisinin sonuçları belirli süreçlerle hesaplamak için doğrudur [29]. Birincil merkezi olay bir patlamaysa, artan bir faktör olarak bir patlama dalgası oluşturan, aşırı basınç eşiği değerleri için, gemi kopması, tankın yerinden çıkması, bağlantı yer değiştirmesi gibi dikkate alınan sonuçlara bağlı olarak 7 ila 70 kPa arasında değişir [6, 30]. Sabit, havuz veya jet yangınları gibi birincil merkezi olaylar, artan bir faktör olarak radyasyon oluşturur. Örneğin çelik bir kap gibi hedef ekipman, 700° K'nin üzerindeki sıcaklıklarda hızla zayıflayacaktır [3]. Domino etkilerinin olasılıklarını ve sonuçlarını hesaplamak için kullanıcı dostu bir yazılım geliştirilmiştir. Kimyasal proses endüstrilerinde domino etkisi analizi için yeni bir yazılım (DOMIFTECT) [31], ve domino etkilerini önlemeyi planlamak için kullanıcıya faydalı yazılım (DomPrevPlanning) [32], bu yazılımlara örnektir. Bu yazılım, (yüksek derecede) yanıcı maddelere sahip tesisatlar arasındaki mesafelere, tesisatların arıza senaryolarına ve son beş yıldaki tesisler için niteliksel ve niceliksel değişikliklere bağlı olarak kurulumların göreceli önemini belirler. "Mor kitap" ve Hollanda Domino Etkisi

Dokümanı, hesaplamaların kaynaklarıdır. Değerlendirme nispeten basittir, domino tehlikelerinin ilk taramasını sağlar ve bir QRA analizinden farklı olarak, veriler için sınırlı bir girdi gerektirir.

2.2.4. Güvenlik yönetimi ve önleme

Seveso II direktifinin, domino etkilerinin tanımlanması ve önlenmesine yönelik vurgusu, bireysel şirketlerin ötesine geçen bir dizi güvenlik yönetimi maddesi üretir. Bu, endüstriyel kimya parklarındaki şirketler, diğer şirketlerle bilgi paylaşmaya önceden hazır olmadıkları için sorunlara neden olmuştur [33]. Bir endüstri parkında, güvenlik, çevre ve sağlık için ortak sorumluluklar hâkim olsun ya da olmasın, hiçbir zaman net değildir [34]. Kimyasal şirketlerden gelen dış domino etkileriyle ilgili bilgiler, önemli kabul edilmiştir. Literatürde, gizli bilgilerle ilgilenen bağımsız katılımcılarla desteklenen, katılımcı şirketlerin temsilcilerinden oluşan bir 'küme konseyi' önerilmektedir. Bu, yönetim kurulunun hem açık ve gizli olmayan bir bölümünü hem de gizli olan bir bölümünü oluşturur. Bu kümelenmede, olası dış domino etkileri ve önlenmesi dahil her yönetim sisteminin standart faaliyetleri ile bir "Güvenlik Yönetim Sistemi" kurulabilir [35]. Karar verme, özellikle birkaç şirket üzerindeki risk yönetimi net bir ekonomik avantaj sağlamıyorsa kesinlikle bir kümelenme konseyi bağlamında karmaşık olabilir. Bu, karar verme sürecini kolaylaştırmak için ve stratejik iş birliği için oyun-teorik bir yaklaşımla ilgili yayınlar yayınlanmaktadır. Oyun teorisi, dahil olanlar için stratejik seçimleri ve finansal faydaları araştırmak için ekonomi bilimleri içinde yer alan matematiksel bir disiplindir [36]. Domino etkilerinin önlenmesine ilişkin makaleler bu dönemde, bariyerlerin türü, mesafeleri ve doğası gereği güvenli tasarım üzerine yayınlanmaktadır. Bariyerler, pasif, aktif ve prosedüre bağlı engeller olmak üzere üçe ayrılır. Pasif bariyerler, doğası gereği fizikseldir ve senaryolar üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Süreç bileşenlerinin ısı yalıtımı pasif bariyere bir örnektir. Bu önlem sıklıkla kullanılır ve maliyetli olabilir. Aktif bariyerler aynı zamanda senaryoları da doğrudan etkiler, ancak pasif bariyerler dışında aktif hale getirilecek bir dış müdahaleyi gerektirir. Basınç altındaki bir deponun üzerindeki bir sprinkler sistemi buna bir örnektir. Bu bariyerin, müdahalelerin başarısız olma olasılıkları nedeniyle daha az güvenilir olduğu bulunmuştur. Bu önlemlerin ötesinde, mesafe ve doğası gereği güvenli tasarım, birincil senaryoların sonuçlarını veya oluşumunu kontrol etmede çok etkilidir. Doğası gereği güvenli tasarımı ile azaltma, yoğunlaştırma, ikame ve basitleştirme gibi anahtar kelimelerle süreç yoğunlaştırmaya atıfta bulunulur. Bu tasarım yaklaşımı, daha az tehlikeli maddelere ve benzer koşullara yol açar [25, 37]. Şekil 3'teki doğal, güvenli tasarım yönetim faktörlerinden tehlikeye giden mavi oku temsil eder.

2.3. Üçüncü dönem, Seveso III (2012 – 2018)

1984'te Mexico City'de meydana gelen büyük kaza, büyük olasılıkla sonuçları nedeniyle, bu ve önceki dönemdeki

makalelerin girişinde sıklıkla bahsedilir. Daha az ölçüde, 1974'te Flixbourough'da ve 2005'te Buncefield'da meydana gelen büyük kazalara atıfta bulunmaktadır. İkinci döneme benzer şekilde, dominoların nicel değerlendirmelerinin ve etkilerinin araştırma hatları baskındır. Geriye dönük bir anket rapor edilir. Boru hatları, domino etkilerinin dinamik bir modellenmesinin yanı sıra yeniden dikkat çekmekte ve kaza süreçlerinin olasılığını ve etkilerini hesaplamak için yazılım geliştirilmektedir. Bununla ilgili artan makalelerin sayısına yansıyan bu domino kazası süreçlerini yönetmeye Seveso III'ün, Seveso II'den daha fazla önem verdiği görülmektedir.

2.3.1. Dominoların nicel değerlendirilmesi

Kantitatif değerlendirme yöntemleri ile problemler belirlenir. Domino etkileri çok karmaşıktır, aynı modeller ve olasılık tahminleri için de geçerlidir. Verilerdeki yayılma ve yürütülen analizlerin belirsizlikleri hala büyüktür. Coğrafi bilgileri hesaba katabilen ve sonuçların bir değerlendirmesini sağlayan entegre yazılımda hala çok az gelişme vardır. İkinci bir nokta, ekipman ve tesisatların arızalanmasına neden olan yapısal hasar hakkında bilgi eksikliğidir. Bu, birincil merkezi birincil ve ikincil domino senaryolarına yol açan ilk senaryolarla ilgilidir. Bir tür tanımlayıcı domino epidemiyolojisi olan retrospektif araştırmanın sonuçları [38], önceki dönemdeki benzer araştırmaların sonuçlarının bir tekrarıdır. Aradaki fark, 1961'den 2007'ye ve 2011'e kadar uzatılan, dikkate alınan dönemdir. Çalışma, AB ülkeleri, diğer Batı ülkeleri ve dünyanın geri kalanının coğrafi bir karşılaştırmasını sunarak yine domino etkilerinin önemini ortaya koymaktadır. Dünyanın geri kalanında sıklıkta artış gözlemlenirken, AB ve diğer Batı ülkeleri hafif bir düşüş göstermektedir. Artan faktörler de dahil olmak üzere halihazırda bilinen birincil ve ikincil senaryoları genel bir bakış yayınlanmaktadır [39] (Tablo 1). Bir yangın veya bir ısı kaynağı ile toksik salınım alevlenebilse de birincil domino senaryosu olarak toksik emisyonlar bu genel bakışta bir artıştan sorumlu tutulmamaktadır [6].

İkinci dönemde olduğu gibi, domino etkilerinin modellenmesi birkaç farklı yaklaşım kullanılarak gerçekleştirilir. Probit fonksiyonları ile desteklenen QRA analizlerinin örnekleri vardır [40]. Yukarıda bahsedilen mor kitap, arıza sıklıkları ve etkilerinin önemli bir kaynağıdır. Bu aynı zamanda birincil emisyonların domino etkilerine yönelik modeller, ardından aşırı basınç ve ısı radyasyonu için de geçerlidir. Önerilen bir model, endüstriyel alanın topografyasının, hassas tesislerin özelliklerinin ve mevcut bariyerlerin olasılık hesaplamalarına dahil edildiği bir olay ağacına dayanmaktadır.

Tablo 1. Artan faktörler ve beklenen ikincil senaryolar [39].

Birincil senaryo	Sorun iletme vektörü	Beklenen ikincil senaryo
Havuz yangını	Radyasyon, yangın çarpması	Jet yangını, havuz yangını, BLEVE, toksik salınım
Jet ateşi	Radyasyon, yangın çarpması	Jet yangını, havuz yangını, BLEVE, toksik salınım
Ateş topu	Radyasyon, yangın çarpması	Tank ateşi
Flaş ateşi	Yangın çarpması	Tank ateşi
Mekanik patlama	Parçalar, aşırı basınç	Yok
Kapalı patlama	Aşırı basınç	Yok
BLEVE	Parçalar, aşırı basınç	Yok
Buhar Bulutu Patlaması (VCE)	Parçalar, aşırı basınç	Yok
Toksik salınım	Konsantrasyon	Yok

2.3.2. Boru hatları ve dominolar

Bir diğer nokta da paralel boru hatlarındaki domino etkileridir. Bu etkiler, kimya fabrikalarında olanlardan farklıdır. Korozyon burada çok önemli bir faktördür ve birincil senaryo tarafından oluşturulan delik veya kraterde bitişik bir boru hattı bulunuyorsa bir domino etkisi meydana gelebilir. Bitişik boru hatları zeminle korunmaktadır, bu nedenle paralel boru hatları arasında 10 m'lik bir mesafe yeterli görünmektedir [41].

2.3.3. Risk yönetimi

Bu üçüncü dönemde, birincil ve ikincil domino senaryolarını etkileyebilecek veya kontrol edebilecek bariyerlere ve risk yönetimine daha fazla önem verilmiştir. Risk analizi araştırmacıların büyük ilgisini çekmiştir ve risk azaltma gibi konular önem kazanmıştır. Endüstriyel kimya parklarında risk yönetimi bilgi alışverişi ile başlar. İkinci dönemde bir küme konseyinin planlanması önerilmektedir. Bu çağrı, karar verme için oyun-teorik yaklaşımında olduğu gibi [42] tekrarlanır. Acil durum müdahaleleri ve domino etkilerinin yayılmasını önlemede veya geciktirmede güvenlik bariyerlerinin etkinliği, risk yönetiminin önemli unsurlarıdır ve oldukça yeni bir domino etkileri araştırma hattıdır. Yangından kaynaklanan domino etkilerindeki bu tepkilerin ve verimliliklerin modellenmesi, Zamanlanmış Renkli Hibrit Petri ağları (TCHPN) kullanılarak test edilmektedir. Ayrıca, içsel bir güvenlik yaklaşımı da dahil olmak üzere potansiyel domino kurulumları ve ekipmanları için indekslere sahip Bayes ağlarına dayalı bir karar modeli tanıtılmıştır. Bu model, bariyerlerin

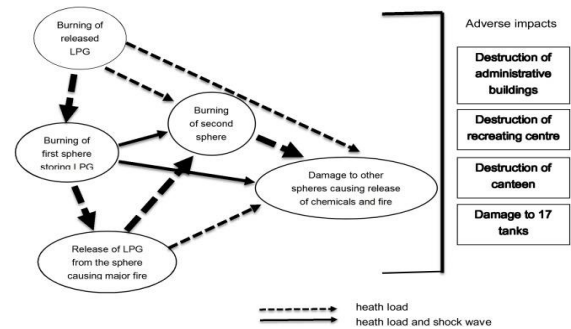
yerleştirilmesi gereken yerlerde karar vericileri desteklemektedir. Önlemlerin ve bariyerlerin sınıflandırılmasına ihtiyaç oluşturur. Miktar belirlemeye odaklanarak etkinliği de dahil olmak üzere mevcut engellerin başarısız olma olasılığı, ele alınır. Kullanılan sınıflandırma, ikinci dönemdeki sınıflandırmayla (doğası gereği güvenli tasarımlar, pasif bariyerler, aktif bariyerler ve prosedür gereği bariyerler) aynıdır.

2.4. Orta ve Güney Doğu Asya

Orta ve Güneydoğu Asya'daki domino etkilerine yönelik araştırmalar, Avrupa'da yapılan araştırmalara göre daha yakın bir tarihe aittir. Flixborough'daki en büyük kaza, yetmişli yıllarda Batı ülkelerinde domino etkileri üzerine yapılan araştırmalar için kırılma noktasıdır. Hindistan'da, 1990'ların sonunda Vishakhapatnam yakınlarındaki bir rafineride meydana gelen büyük bir kaza, Orta ve Güney Doğu Asya'da benzer bir rol oynamıştır. Komşu ülkelerinden biri olan Çin, bölgedeki diğer ülkelere kıyasla daha hızlı büyüyen bir kimya ve petrokimya sektörlerine sahiptir. Bu sektörler, özellikle kıyı bölgelerinde ve büyük nüfus merkezlerinin yakınında kimyasal kümeler halinde organize edilmiştir. Bu sektörlerdeki büyük kazalara rağmen, bu kazalar Hindistan, Vishakhapatnam'daki domino kazası ile benzer bir rol oynamıyor gibi görünmektedir.

2.4.1. Hindistan'da domino etkisi olan büyük kazalar

Hindistan'da, Bengal Körfezi'ndeki Andhra Pradesh eyaletindeki bir metropol olan Vishakhapatnam yakınlarındaki 40 yıllık Hindustan Petroleum Corporation Limited (HPLC) rafinerisinde 1997 yılında dahili domino etkilerine sahip büyük bir kaza meydana gelmiştir. Korozyonun neden olduğu bir LPG depolama tankının yanındaki boru hattındaki bir sızıntı, bir gaz bulutu oluşturmuştur. Gaz bulutu patlamasıyla büyük bir yangın çıkmış ve 15 dakika sonra bitişikteki bir depolama tankı patlayarak devamında birkaç tankı patlatmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Domino etkisi faktörlerini belirten papyon yöntemi [20]

Patlamanın sonucunda çok fazla yaralanma ve ölüm ve ayrıca çok büyük maddi hasar olmuştur. Kazanın analizi sırasında çeşitli eksiklikler bulundu. Bakım departmanından alınan korozyon raporlarına ve önceki büyük yangınca madde emisyonlarına ilişkin başarısız eylemler gibi panik ve yönetim eylemsizliği mevcuttu.

Etkilenen binalar tank bölgesinden 30 m uzakta bulunmaktaydı ve patlamadan bir saat önce ilk sızıntının raporlanmasının ardından herhangi bir eylem yapılmamıştı. HPLC rafinerisindeki kaza, Domino Etki Analizi (DEA) yönteminin kurulumunun başlangıcı oldu. Bu yöntem, çeşitli yükselme faktörleri, aşırı basınç, parçalar ve ısı radyasyonu için literatürdeki eşik değerlerini savunmasız tesislerin özellikleriyle (kullanılan yapı malzemeleri, kimyasalların özellikleri ve miktarları, üniteler arasındaki mesafeler ve rüzgâr yönü) birleştirir. Bir çalışma, Vishakhapatnam'daki büyük kazayı ve Hindistan'daki diğer endüstriyel kazaları kapsamlı bir şekilde ele almış ve 1947'den 1997'ye kadar domino etkisi kazaların bir listesini sunmuştur [20]. HPLC rafinerisindeki büyük kazadan beş yıl önce, bir Hint risk analizi kurumunun domino etkileri, risk analizi modelleri ve bariyerleri hakkında ilk genel bakışı ortaya çıkarmıştır [43].

2.4.2. Çin'de domino etkisi olan büyük kazalar

Çinli yazarlar için, yayınlarının uluslararası bilimsel literatürde yer alması daha uzun sürmektedir. Çin'deki hızlı sanayileşme birçok büyük kazaya neden olmaktadır. 2000 ve 2003 yılları arasında, her yıl 800 ila 1100 arasında ölümle birlikte, kimyasal maddeler içeren 400-600 kaza kayıt altına alınmıştır. Hangi katkının endüstriyel kimya parklarından geldiği takip edilememiştir. 2003'ten sonra bu rakamlar yarıya inmiş veya daha da azalmıştır. Yazarlar bu düşüşü yeni yürürlüğe giren mevzuata ve o yıldan itibaren doğrudan Merkezi Devlet Konseyi'ne rapor veren Çin Çalışma Müfettişliği'nin başka bir organizasyonuna bağlamaktadır [44]. Bazı yazarlar, Nanjing, Şangay yakınlarındaki endüstriyel kimya parklarında yürütülen risk analizlerini rapor etmektedir. Bu yazarlar, domino etkileri için QRA analizlerini veya patlayan tank parçalarının neden olduğu çoklu domino senaryoları için Monte Carlo simülasyonlarını uyarlamıştır [45]. Tıpkı Batı ülkelerinde olduğu gibi, genel yönetim ilkelerine kadar uzanan bir risk yönetimi yaklaşımına dikkat edilmektedir. Son olarak, Hintli yazarlarla kombinasyon halinde İran'dan kayda değer bir yayın edindiler. Domino etkilerinin sıklığını tahmin etmek için bir Monte Carlo Simülasyonu kullanılmaktadır. Dominoya duyarlı tesislerin varsayımsal bir kombinasyonu üzerine bir algoritma getirilir, bu durumda nafta, LPG ve ksilen içeren dört tank birbirinden farklı mesafelerdedir. Her seferinde farklı başlangıç koşullarına sahip birçok simülasyon sırasında, her kurulum için arıza veya arıza olmaması belirlenir. Simülasyon bir domino frekansı sağlar. Bu simülasyon tekniği, matematiksel olarak çok karmaşık olan veya sistemin davranışı hakkında bilginin eksik olduğu sistemler için hata frekansları hakkında ifadelerde bulunulabilme avantajına sahiptir [46].

3. SONUÇLAR

Dış domino etkileri bir yana, tek bir tesiste dahili bir domino etkisi nadir görülen bir olaydır. Bununla

birlikte, iki bitişik tesisin tehlikeli birimleri arasında yetersiz güvenlik mesafesine sahip yoğun kimyasal kümelerde, birindeki birincil yangın veya patlama, tek bir tesiste meydana gelebilecek şekilde diğerinde ikincil olanları tetikleyebilir. Bu nedenle, emniyet mesafesi yeterliliği ölçüğü, tek bir tesisin kurulumları için iki bitişik tesisin kurulumları ile aynı olacak, açıkça kurulumların tipine, boyutuna ve yükseltme vektörlerinin türüne ve büyüklüğüne bağlı olarak değişecektir.

Bu çalışmada, proses endüstrisindeki domino etkilerinin geçmişi ile ilgili olarak 1966–2018 dönemin genel bir bakış ile tartışılmıştır. Bu dönem, bilimde domino etkilerinin genel kabul görmüş bir tanımının olmadığı kısa bir dönemdir. İlk Seveso direktifinden önce hiçbir makale yokken domino etkilerine dair bilgiler hükümetlerin ve araştırma kurumlarının raporlarında yayınlanmış ve büyük domino felaketleri hakkında ayrıntılı vaka çalışmalarını sağlamıştır. Bu raporlar halihazırda tehlikeler, birincil ve ikincil merkezi olaylar, birincil ve ikincil domino senaryolarının kaba bir tanımını ve 1970'lerin başlarında sonuçları hakkında fikir vermektedir. Güvenlik alanındaki risk kavramı hala yenidir ve QRA, ortaya çıkan bir analiz modelidir. Bu modelde domino etkilerini azaltmak zordur ve bariyerlerin etkisi henüz dahil edilmemiştir.

İkinci dönemde, yükselen faktörlerin ve birincil ve ikincil merkezi olayların gözden geçirilmesiyle bilimsel literatürler oluşmaya başlamıştır. Ancak yine modellere bariyerlerin etkileri dahil edilmemiştir. Literatürde birincil senaryoların geliştirilmesine ilişkin bilgiler neredeyse yoktur. Makalelerin çoğu risk değerlendirmesi ile ilgiliyken, bu dönemde daha sonra risk yönetimi, küme güvenliği yönetimi, karar verme ve bariyerler yönünde bir dönüşüm gerçekleşmiştir. Acil durdurma (aktif), engelleme sistemleri (aktif), basınç ve/veya sıcaklık düşürme (aktif), inert gaz sağlayın (aktif), sprinkler (aktif), su baskın ve köpük sistemi (aktif), refrakter malzeme (pasif), yangına dayanıklı duvarlar veya paneller (pasif), mesafe (pasif), doğal güvenli tasarım (süreç yoğunlaştırma) gibi fiziksel bariyerler, tüm senaryolar üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Literatürde henüz rapor edilmemiş olan yönetim faktörleri, akıllı bariyerlerin varlığını ve kalitesini koruyan göstergeler ve eylemlerle ilgilidir.

Üçüncü periyotta yine domino olasılıklarını hesaplamak için matematiksel modellere odaklanılmıştır. Ancak aynı zamanda ilk dönemde de ifade edilen nicel yaklaşım eleştirisi vardır. Bu olasılık hesaplamalarının belirsizlikleriyle ilgilidir ve hesaplanan olasılıkların gerçeklikten çok inceleyen analistin vizyonu hakkında daha çok şey ifade ettiği öne sürülmektedir. Seveso yönergelerinin etkisi, bilimin genellikle kendi dinamiği olduğu için dikkat çekicidir. Güvenlik bilimi gibi uygulamalı bir disiplinde durum biraz daha az olabilir. Ancak domino etkileri üzerine yapılan araştırmanın siyasi, resmi ve özel karar vericilerle yakından bağlantılı olduğu sonucuna varılabilir.

Karar vermenin temel noktaları, artık yalnızca QRA'lara dayalı sonuçlara yol açmayan niceliksel modellerin sonuçlarıdır. Diğerlerinin yanı sıra, indeksler oluşturulur, Monte Carlo simülasyonları gerçekleştirilir ve Bayes ağları

ile analizler ve engellerin etkileri modellere dahil edilir. Karar vermede köklü bir değişim meydana gelmiştir. Örneğin, Hollanda'da, kuruluşların kümeler halinde organize edilip edilmediği kimyasal tesislerle ilişkili riskler hakkındaki tartışmalarda görülebilir. Güvenliğin esas olarak şirketlerin konusu olduğu ilk dönemin aksine, artık dikkatler sosyal olarak yönlendirilmektedir. Vatandaşlar endişelidir ve şeffaf ve anlaşılır bir risk yönetimi süreci şirketler için ciddi bir konu haline gelmiştir. Bu, yakın tarihli bir İngiliz çalışmasından da anlaşılmaktadır. Norveç'te yayınlanan bir çalışmada belirtildiği gibi, şirketler, bilim adamları ve vatandaşlar arasındaki tehlikeler ve riskler üzerine tartışmalar her zaman sorunsuz gitmez. Stavanger ve Oslo yakınlarındaki iki lokasyonda yaşayan sakinler, şirketler ve hükümet arasında risk değerlendirmesi konusunda bir çatışma ortaya çıkmıştır. LNG depolamasının çevresel risklerinin ihmal edilebilir düzeyde olduğu ve yakınında yaşayan sakinlere danışılmadan bir petrokimya kümelenmesinin yakınında bir kentsel genişleme planlanmıştır. Risk analizinin sonuçları hakkında halkla iletişim kurmamış ve konu ile ilgilenen bir şirket üniversiteye büyük miktarda para bağışlamıştır. Analizin sonuçları hakkında yorum yapan bir bilim insanı önce görevden alınmış ve daha sonra daha düşük bir pozisyonda işe tekrar alınmıştır.

Henüz gerçekleşmemiş bir dönüşüm, birincil senaryoların daha iyi anlaşılmasıdır. Domino etkilerinin tümü, bir veya daha fazla tehlikeyle başlar ve birincil senaryolar birincil bir merkezi olaya yol açar. Bu olaylar hakkında bilgi eksikliği, artış faktörlerinin olasılık hesaplamalarında oldukça belirsizlik oluşturur. Bu kısım, görüldüğünden çok daha fazla dikkat gerektirmektedir. Geçmişteki kazaların veri tabanları, bağlam bilgisi eksikliğinden dolayı güvenilir bir kaynak değildir. Büyük olasılıkla bu senaryolar ve merkezi olaylar şirkete özeldir. Bu konuyla ilgili araştırma, literatürden gelen olası senaryoların kapsamlı bir incelemesini ve fabrika yöneticileri ve operasyonel personel ile tartışmaları gerektirir. Yaklaşım olası değil, belirleyicidir ve mevcut bariyerler, mekanik ve enstrümantal uyarı sistemleri hakkında ayrıntılı bilgi sağlar. Yöneticiler ve operasyonel personel için olasılık bilgilerin anlaşılması zordur. Afet senaryolarının ilerlemesini izlemek için araçlara ve bariyerlerin kalitesini sağlamak için yönetim araçlarına ihtiyaçları vardır. Yakın zamanda hem mesleki hem de proses güvenliği alanında böyle bir yaklaşım geliştirilerek senaryoya özgü göstergeler üretilmiştir.

Sadece otuz yıl sonra Feyzin'de olduğu gibi Orta ve Güneydoğu Asya'da meydana gelen büyük bir kaza, domino etkileri konusunda daha fazla araştırmayı teşvik etmiştir. Bunun, bu etkilerin gelişmiş bir kontrolüne yol açıp açmadığı literatürden çıkarılması zordur. Çin'de, büyük kazalar ve bu kazalara bağlı ölüm oranlarıyla ilgili rakamlar bir rol oynamıştır. Bu ülkede domino etkilerle ilgili sürekli bir bilimsel çalışmalar mevcuttur.

4. ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Etik Onay

Bu çalışma için Etik Onay belgesi gerekli değildir.

KAYNAKLAR

- [1] Kourniotis, S., P., Kiranoudis, C., T., ve Markatos, N., C., "Statistical analysis of domino chemical accidents", *Journal of Hazardous Material*, (2000), 71, 1-3, 239 – 252.
- [2] Ronza, A., Felez, S., Darbra, R., M., Carol, S., Vilchez, J., A., ve Casal, J., "Predicting the frequency of accidents in port areas by developing event trees from historical analysis", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, (2003), 16, 6, 551 – 560.
- [3] Gomez-Mares, M., Zarate, L., ve Casal, J., "Jet fires and the domino effect", *Fire Safety Journal*, (2008), 43, 8, 583 – 588.
- [4] Darbra, R., M., Palacios, A., ve Casal, J., "Domino effect in chemical accidents: Main features and accident sequences", *Journal of Hazardous Materials*, (2010), 183, 1-3, 565 – 573.
- [5] Abdolhamidzadeh, B., Abbasi, T., Rashtchian, D., ve Abbasi, S., A., "Domino effect in process-industry accidents-An inventory of past events and identification of some patterns", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, (2011), 24, 5, 575 – 593.
- [6] Necci, A., Cozzani, V., Spadoni, G., ve Khan, F., "Assessment of domino effect: State of the art and research needs", *Reliability Engineering & System Safety*, (2015), 143, 3 – 18.
- [7] EPCA, "A paradigm shift: supply chain collaboration and competition in and between Europe's chemical clusters", *Teknik Rapor*, Brüksel, (2007).
- [8] Reniers, G., "How to increase multi-plant collaboration within a chemical cluster and its impact on external domino effect cooperation initiatives" *Bildiriler, 3rd International Conference on Safety and Security Engineering*, (2009), 379 – 388, Roma.
- [9] Reniers, G., "Multi-plant safety & security management in the chemical process industries" *Elektronik Baskı*, Weinheim, (2010).
- [10] Lees, F., "Loss prevention in the process industries" *Elektronik Baskı*, London, (1996).
- [11] Reniers, G., L., L., Dullaert, W., Ale, B., J., M., ve Soudan, K., "The use of current risk analysis tools evaluated toward preventing domino accidents" *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, (2005), 18, 3, 119 – 126.
- [12] Coevert, K., Groothuizen, Th Pasman, H., ve Trense, R., "Explosions of unconfined vapour clouds" *Bildiriler, 1st International loss prevention symposium*, (1974), 145 – 157, Delft.

- [13] Vörös, M., ve Honti, G., “Explosions of a liquid CO₂ vessel in a carbon dioxide plant”, *Bildiriler, 1st International loss prevention symposium*, (1974), 337 – 346, Delft.
- [14] Grim, W., “Case studies of fires in refineries and petrochemical plants”, *Bildiriler, 1st International loss prevention symposium*, (1974), 355 – 361, Delft.
- [15] Oostendorp, Y., Lemkowitz, S., Zwaard, W., Guljik, C., ve Swuste, P., “Introduction of the concept of risk within safety science in the Netherlands focusing on the years 1970-1990”, *Safety Science*, (2016), 85, 205 – 219.
- [16] Li, J., Reniers, G., Cozzani, V., ve Khan, F., “A bibliometric analysis of peer-reviewed publications on domino effects in the process industry”, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, (2017), 49, 103 – 110.
- [17] Konsey Direktifi 82/501/EEC, “On the major accident hazards of certain industrial activities (Seveso I)”, *Teknik Rapor, Official Journal of the European Communities*, Brüksel, (1982).
- [18] Konsey Direktifi 96/82/EC, “On the control of major-accident hazards involving dangerous substances (Seveso II)”, *Teknik Rapor, Official Journal of the European Communities*, Brüksel, (1997).
- [19] Konsey Direktifi 2012/18/EU, “On the control of major-accident hazards involving dangerous substances (Seveso III)”, *Teknik Rapor, Official Journal of the European Communities*, Brüksel, (2012).
- [20] Khan, F., ve Abbasi, S., “Models of domino effect analysis in chemical process industries”, *Process Safety Progress*, (1998a), 17, 2, 107 – 123.
- [21] Török, Z., Ajtai, N., Turcu, A., ve Ozunu, A., “Comparative consequence analysis of the BLEVE phenomena in the context on land USE planning; case study: The Feyzin accident”, *Process Safety and Environmental Protection*, (2011), 89, 1, 1 – 7.
- [22] Buschmann, C., “Loss prevention and safety promotion in the process industry”, *Bildiriler, 1st International loss prevention symposium*, (1974), 362 – 369, Delft.
- [23] Hoiset, S., Hjertager, B., Solberg, T., ve Malo, K., “Flixborough revisited-an explosion simulation approach”, *Journal of Hazardous Materials*, (2000), 77, 1-3, 1 – 9.
- [24] Pietersen, C., M., “Analysis of the LPG-disaster in Mexico City”, *Journal of Hazardous Materials*, (1988), 20, 85 – 107.
- [25] Swuste, P., Groeneweg, J., Gulijk, C., Van Zwaard, W., ve Lemkowitz, S., “Safety management system from Tree mile island to Piper Alpha, a review in English and Dutch literature for the period 1979 to 1988”, *Safety Science*, (2018), 107, 224 – 244.
- [26] Lees, F., “Fire loss prevention in the process industries”, *Elektronik Baskı*, London, (1980).
- [27] Pate-Cornell, E., “Probabilistic risk analysis and safety regulation in chemical industry”, *Journal of Hazardous Materials*, (1987), 15, 1-2, 97 – 122.
- [28] Macgill, S., M., ve Snowball, D., J., “What use risk assessment”, *Applied Geography*, (1983), 3, 3, 171 – 192.
- [29] Antonioni, G., Spadoni, G., ve Cozzani, V., “Application of domino effect quantitative risk assessment to an extended industrial area”, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, (2009), 22, 5, 614 – 624.
- [30] Cozzani, V., Gubinelli, G., ve Salzano, E., “Escalation thresholds in the assessment of domino accidental events”, *Journal of Hazardous Materials*, (2006), 129, 1-3, 1 – 21.
- [31] Khan, F., ve Abbasi, S., “DOMIFFFECT (DOMInoe FFECT): user-friendly software for domino effect analysis”, *Environmental Modelling & Software*, (1998b), 13, 2, 163 – 177.
- [32] Reniers, G., L., L., ve Dullaert, W., “DomPrevPlanningC: user-friendly software for planning domino effects prevention”, *Safety Science*, (2007), 45, 10, 1060 – 1081.
- [33] EPCA, “The role of clusters in the chemical industry”, *Teknik Rapor*, Brüksel, (2007a).
- [34] Heikkila, A., Malmen, Y., Nissila, M., ve Kortelainen, H., “Challenges in risk management in multi-company industrial parks”, *Safety Science*, (2010), 48, 4, 430 – 435.
- [35] Reniers, G., L., L., Dullaert, W., Ale, B., J., M., ve Soudan, K., “Developing an external domino accident prevention framework: Hazwim”, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, (2005b), 18, 3, 127 – 138.
- [36] Reniers, G., L., L., “An external domino effects investment approach to improve cross-plant safety within chemical clusters”, *Journal of Hazardous Materials*, (2010b), 177, 1-3, 167 – 174.
- [37] Hendershot, D., “Inherently safer chemical process design”, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, (1997), 10, 3, 151 – 157.
- [38] Hemmatian, B., Abdolhamidzadeh, B., Darbra, R., ve Casal, J., “The significance of domino effect chemical accidents”, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, (2014), 29, 30 – 38.
- [39] Salzano, E., ve Cozzani, V., “Introducing external hazard factors in quantitative risk analysis”, *Revista de Ingerieria*, (2012), 37, 50 – 56.
- [40] Kadri, F., Chatelet, E., ve Lalement, P., “The assessment of risk caused by fire and explosion in chemical process industry: A domino effect-based

- study”, *Journal of risk analysis and crisis response*, (2013), 3, 2, 66 – 76.
- [41] Ramirez, J., Pastor, E., Casal, J., ve Amaya, R., “Analysis of domino effect in pipelines”, *Journal of Hazardous Materials*, (2015), 298, 210 – 220.
- [42] Reniers, G., L., L., ve Amyotte P., “Prevention in the chemical and process industries”, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, (2012), 25, 227 – 231.
- [43] Latha, P., Gautam, G., ve Raghavan, K., V., “Strategies for the quantification of thermally initiated cascade effects”, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, (1992), 5, 1, 18 – 27.
- [44] Duan, W., Chen, G., Ye, Q., ve Chen, Q., “The situation of hazardous chemical accidents in China 200-2006”, *Journal of Hazardous Materials*, (2011), 186, 2-3, 1489 – 1494.
- [45] Sun, D., Jing, J., Zhang, M., Wang, Z., Zhang, Y., ve Cai, L., “Investigation of multiple domino scenarios caused by fragments”, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, (2016), 40, 591 – 602.
- [46] Abdolhamidzadeh, B., Abbasi, T., Rashtchian, D., ve Abbasi, S., “A new method for assessing domino effect in chemical process industry”, *Journal of Hazardous Materials*, (2010), 182, 416–426.
- [47] Swuste, P., Nunen, K., Reniers, G., ve Khakzad, N., “Domino effects in chemical factories and clusters: An historical perspective and discussion”, *Process Safety and Environmental Protection*, (2019), 124, 18 – 30.