

## ENDÜSTRİYEL TESİSLERDE RİSK ANALİZİNE YÖNELİK KULLANILAN VERİ KAYNAKLARI VE BİR UYGULAMA

Neslihan BABAARSLAN<sup>1\*</sup>, Yavuz CABBAR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Aile, Çalışma Ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı, Rehberlik Ve Teftiş Kurulu Başkanlığı, ANKARA

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0001-6451-0649>

<sup>2</sup>Ankara Sanayi Odası, ANKARA

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-8990-1969>

| Anahtar Kelimeler   | Öz  |
|---|---|
| Veri kaynakları,<br>Nitel risk analizi,<br>Nicel risk analizi,<br>Başlatıcı olay,<br>Kritik olay. | Günümüzde hızla değişen yaşam şartları ve artan tüketici ihtiyaçları, çalışma koşullarının sürekli farklılaşmasına sebep olmaktadır. Bu durum; çalışanlar üzerindeki baskıyı artırmakla birlikte işyerlerinde yeni tehlikeler ve risklerin oluşmasına ve bunun sonucunda kazaların meydana gelmesine ortam hazırlamaktadır. Böyle bir durumda endüstriyel tesislerin güvenliği için en önemli gereksinimleri; risklerin ve tehlikelerin sistematik bir şekilde belirlenip önceliklendirilmesi ve gerekli önlemlerin hayata geçirilerek tehlikelerin kontrol altına alınmasıdır. Bu durumun sürekliliğinin sağlanabilmesi için devamlı iyileştirmenin yapılmasıdır. Bu çalışmada, tehlikeli olaylar arasından önceliklendirme yapabilmek için uluslararası kabul görmüş veri kaynaklarından kritik olay ve başlatıcı olayların meydana gelme sıklığının tespiti ve nitel bir risk analizinin nicel hale getirme yolları araştırılmıştır. Aynı zamanda petrol rafinerinde atmosferik damıtma kolonundan çıkıp sızıncıya giden hatta küçük boyutta sıvı sızıntısı kritik olayı üzerine örnek bir çalışma yapılmıştır. Örnek çalışmada birikinti tutuşmaması/dağılması sonucunda oluşan çevresel zararın $1,73 \cdot 10^{-6}$ yıl <sup>-1</sup> frekans ile meydana gelme sıklığı en yüksek tehlikeli olay olduğu görülmüştür. Şiddeti en fazla olan buhar bulutu patlaması(VCE) tehlikeli olayının meydana gelme değeri ise $5,2 \cdot 10^{-7}$ yıl <sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında tehlikeli olayları önlemeye ve etkilerini azaltmaya yönelik önleyici tedbirler almak için önceliklendirme yaparken şiddetin ve sıklığın aynı anda değerlendirilmesi gerektiği kanaati oluşmuştur. |

## DATA SOURCES USED FOR RISK ANALYSIS IN INDUSTRIAL FACILITIES AND A SAMPLE CASE STUDY

| Keywords  | Abstract  |
|---|---|
| Data sources,<br>Qualitative risk assessment,<br>Quantitative risk assessment,<br>Route cause,<br>Critical event. | Today's rapidly changing living conditions and increasing consumer needs lead to continuous differentiation of working conditions. This situation builds extra stress on workers which leads to possible new risks and dangers where it causes accidents. For the safety of industrial plants the requirements are; systematically define the risks together with dangerous situations within the workplace and prioritize them, take the necessary precautions to control the hazards and finally maintain the continuity of improvements. In this study, international data sources have been reviewed for the definition of the frequency of critical events and route causes to make a prioritization between dangerous phenomena. Besides, the transformation of a qualitative risk assessment to a quantitative structure have been investigated. Finally, a sample study has been conducted on a petroleum refinery atmospheric distillation column for the critical event defined as a liquid leak on the pipeline which goes to the scrubber. In the sample study, the dangerous phenomena with the highest occurrence frequency has found to be; "environmental damage caused by the leakage spread without ignition" with a frequency rate of $1,73 \cdot 10^{-6}$ /year. Vapor cloud explosion has found to be the dangerous phenomena with the highest severity rate of $5,2 \cdot 10^{-7}$ /year. As a result it has been seen that besides taking precautions to prevent dangerous phenomena it is also important to consider the severity and frequency of critical events. |
| Araştırma Makalesi  | Research Article  |
| Başvuru Tarihi : 19.12.2020   | Submission Date : 19.12.2020  |
| Kabul Tarihi : 02.04.2020   | Accepted Date : 02.04.2020  |

\* Sorumlu yazar; e-posta : [n.babaarslan@gmail.com](mailto:n.babaarslan@gmail.com)

## 1. Giriş

Herhangi bir kuruluşun işletilmesi sırasında kontrolünün kaybedilip, tesisin içinde veya dışında çevre ve insan sağlığı için anında veya daha sonra ciddi zararlara yol açabilen bir veya birden fazla tehlikeli maddenin neden olduğu büyük bir toksik bulut, yangın veya patlama olayı endüstriyel kaza olarak adlandırılır (Endüstriyel Kazalar Üzerine Uygulamalar Raporu, 2012). Özellikle üretim sürecinde yanıcı, parlayıcı, patlayıcı ve zehirli maddeler kullanılan kimya ve petrokimya sektöründe meydana gelebilecek kazaların sonuçları çok daha ciddi boyutta olmaktadır. Bu duruma en acı örnek 1984 yılında Hindistan Bhopal'de pestisit fabrikasında meydana gelen yaklaşık 20.000 kişinin ölümü, binlerce kişinin yaralanması ve tahliyesi ile sonuçlanan büyük endüstriyel kaza verilebilir ("Gas Disaster", 2013).

Bhopal gibi dünyada meydana gelen endüstriyel kazalar sonucunda meydana gelmelerini önlemek ve sonuçlarının etkisini azaltmak için birçok çalışma yapılmış ve çeşitli risk analizi yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlara; Tehlike ve işletilebilirlik analizi (IEC 61882, 2016), Hata Ağaç Analizi (IEC 61025, 2006), Olay Ağaç Analizi (IEC 62502, 2010), Kontrol Listeleri (Hessian ve Rubin, 1991), Hata Türleri ve Etkileri Analizi (O'mara, 1991) ve birçok yöntemin bir araya getirilerek oluşturulan ARAMIS metodolojisi sıralanabilir. ARAMIS (endüstriyel kaza riski değerlendirme metodolojisi); Seveso II direktifinin yayınlanmasından sonra direktifin öncülüğüyle Avrupa Birliği 5. Çerçeve programı tarafından desteklenerek Avrupa Birliğinin büyük kaza önleme bürosu koordinatörlüğü aracılığıyla hazırlanmıştır. Bu çalışma 8 ülkeden 10 kuruluş katılarak 2001 yılında başlayıp 2006 yılında tamamlanmıştır. Bahsi geçen metodoloji birçok risk analizi yöntemini içinde barındırmaktadır. (Kimya Sanayi Sektöründe SEVESO II Direktifi Kapsamındaki Endüstrilerde Kaza Riski Değerlendirmesi Metodolojisi, 2015).

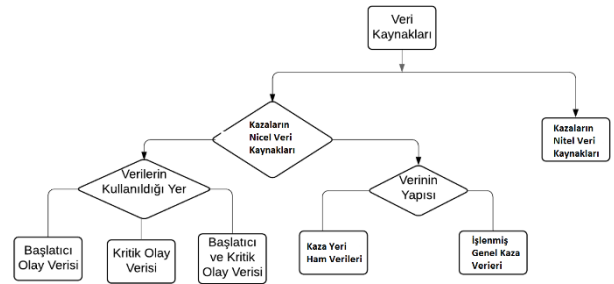
Ülkemizde sanayi tesislerinde bulunan tehlikeleri ve riskleri belirleme, değerlendirme, bu tehlikelerin sonucunda meydana gelebilecek kazaların neler olduğunu tespit etme ve bunlara karşı önlem almak amacıyla çeşitli risk analizi metotları kullanılmaktadır. Fakat uygulanan risk analizi yöntemleri genellikle nitel olması ya da nicel hale çevrilmemiş olmasından dolayı risk analizi sonucunda ulaşılan bilgilerin yorumlanmasında belirsizlikler yaşanmaktadır. Özellikle risk analizi sonucunda ulaşılan tehlikeli olayların meydana gelme sıklıklarının bilinmemesinden dolayı tehlikeli olaylar arasında önceliklendirme yapılamayıp doğru aksiyonlar alınamamaktadır. Aynı zamanda benzer tesislerde yaşanmış kazaların farkında olunmaması nedeniyle yanlış veya eksik kaza senaryoları oluşturulmaktadır.

Günümüzde nitel olarak hazırlanmış risk analizi yöntemlerini nicel hale çevirmek için kullanılan uluslararası kabul görmüş birçok veri kaynakları mevcuttur. Bazı veri kaynakları tesislerde oluşabilecek kaza senaryolarının oluşturulmasına yardımcı olurken bazıları da oluşturulan kaza senaryoları sonucunda ulaşılan tehlikeli olayların meydana gelme sıklık verileri hakkında bilgiler vermektedir. Nitel bir risk analizi nicel olarak çevrilirken önemli unsurlardan biri olayların meydana gelme sıklık değerleri ya hep olasılık ya da hep frekans olarak belirlenmesi gerektiğidir (Babaarslan, 2014).

Bu makalede tehlikeli olaylara neden olabilecek başlatıcı olay ve/veya kritik olayların meydana gelme sıklık verilerine ulaşılması ve bu verinin risk analizi içinde kullanılmasına yönelik bir yöntemin önerilmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal Ve Yöntem

Veri kaynakları; kazaların nitel veri kaynakları ve kazaların nicel veri kaynakları olarak iki gruba ayrılmaktadır. Kazaların nitel veri kaynakları; risk analizi içinde kaza senaryoları hazırlanırken yol göstermesi amacıyla tesislerde yaşanmış kazaların bilgilerinin toplanması sonucunda oluşturulmuş kaynaklardır. Kazaların nicel veri kaynakları ise risk analizi sonucunda ulaşılan tehlikeli olayların meydana gelme sıklığının hesaplanması için veriler sağlayan kaynaklardır (Health and Safety Executive, 2012). Veri kaynaklarının gruplandırılması şekil 1'de ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 1. Veri Kaynaklarının Gruplandırılması

### 2.1. Kazaların Nitel Veri Kaynakları

Endüstriyel tesislerin faaliyeti, faaliyetin durdurulması, taşınması veya bakım onarım sırasında yaşanan kazaları ve kazaya ramak kalan olaylar üzerine hazırlanan raporları içeren kaynaklardır. İçerikleri genel olarak kaza tarihi, kaza yeri, kaza öncesinde kazanın yaşanmasına ramak kala olayları, kazanın olası nedenleri, kazanın sonuçları, kazanın çevreye ve insana olan etkileridir.

Kazaların nitel veri kaynakları yukarıda belirtildiği gibi geçmişte yaşanan kazaların nedenleri, sonuçları, bunların nasıl engelleneceği ve nasıl etkilerinin azaltılacağı hakkında bilgi vermesinden dolayı kullanıcılarına risk analizi için kaza senaryoları oluştururken hataların tekrarlanmamasına yönelik en iyi stratejileri geliştirmesine imkân sağlar (Risk Değerlendirme, Coğrafik Bilgi Sistemleri Araçları Ve Arazi Kullanım Planlaması, 2013).

**Tablo 1**  
Uluslararası kabul görmüş kazaların nitel veri kaynakları

| Kazaların Nitel Veri Kaynakları | Ülkesi    | Ulaşım adresi   |
|---------------------------------|-----------|---|
| Zentrale Melde (ZEMA)           | Almanya   | <a href="https://www.infosis.uba.de/index.php/de/zema/index.html">https://www.infosis.uba.de/index.php/de/zema/index.html</a> |
| Chemical Safety Board (CSB)     | Amerika   | <a href="https://www.csb.gov/">https://www.csb.gov/</a>   |
| RISCARD                         | Japonya   | <a href="https://en.riscad-dev.com/">https://en.riscad-dev.com/</a>   |
| ARIA                            | Fransa    | <a href="http://aria.org/about-aria/">http://aria.org/about-aria/</a>   |
|                                 | Avrupa    | <a href="https://ec.europa.eu/knowled">https://ec.europa.eu/knowled</a>   |
| Emars                           | komisyonu | <a href="https://ec.europa.eu/knowled">ge4policy/projects-activities/major-accident-reporting-system-emars_en</a>             |

## 2.2. Kazaların Nicel Veri Kaynakları

Kazaların nicel veri kaynakları; verinin yapısına ve kullanıldığı yere göre iki farklı grupta değerlendirilir. Verinin yapısına göre kazaların nicel veri kaynakları incelendiğinde kaza yeri ham verileri ve işlenmiş genel kaza verileri olarak iki sınıfa ayrılır (Kaza Senaryoları, 2013).

Kaza yeri ham verileri; Endüstriyel tesisler bir araya gelerek verilerin doğrudan tesislerden toplanması ve

gerekli istatistiki işlemler yapılarak oluşturulan veri kaynaklarıdır. Toplanan veriler üzerinde herhangi bir araştırma yapıp doğrulanması amacıyla benzer tesislerdeki veriler ile karşılaştırılmaması ile birlikte uzmanlar tarafından da yorumlanmamıştır. Örnek; OREDA, CONCAWE, EGIG vb.

İşlenmiş genel kaza verileri; Tesislerden veriler toplayıp gerekli işlemler yapıp veri kaynağı oluşturulduktan sonra, bu veriler uzmanlara, akademisyenlere ve belirli tesislere sunulup tartışılarak oluşturulan veri kaynaklarıdır. Örnek; referans el kitabı BEVİ, FRED, LOPA, ICSI vb.

İkinci olarak kazaların nicel veri kaynakları verinin risk analizinde kullanıldığı yere göre üç sınıfa ayrılır. Bunlar;

1) Başlatıcı olay verisi: Kaza, arıza vb. tehlikeli olayların sebepleri araştırıldığında tespit edilen kök nedenlerin meydana gelme sıklık verisidir (IEC 61025, 2006). Ör: OREDA, EIREDA vb.

2) Kritik olay verisi: Meydana geldiğinde kendisinden daha büyük olaylara sebebiyet verebilecek olayların meydana gelme sıklık verisidir (IEC 62502, 2010). Ör: OGP, BEVİ vb.

3) Başlatıcı ve kritik olayların verisi: Aynı veri kaynağında hem başlatıcı olay hem de kritik olay verisi bulunmasıdır. Ör: ARAMIS, FRED vb.

Kazaların incelenmesinde kullanılan uluslararası kabul görmüş kazaların nicel veri kaynaklarından bazıları Tablo 2'de yer almaktadır.

**Tablo 2**  
Kazaların nicel veri kaynakları

| Kazaların Nicel Veri Kaynakları | Veri Kaynağının Yapısı | Kritik Olay | Başlatıcı Olay | Erişim  |
|---------------------------------|------------------------|-------------|----------------|---|
| BEVİ                            | İşlenmiş               | X           |                | <a href="https://www.rivm.nl/en">https://www.rivm.nl/en</a>   |
| ARAMIS                          | Ham/İşlenmiş           | X           | X              | <a href="https://minerva.jrc.ec.europa.eu/en/minerva">https://minerva.jrc.ec.europa.eu/en/minerva</a>   |
| OGP                             | Ham/İşlenmiş           | X           |                | <a href="http://www.ogp.org.uk">www.ogp.org.uk</a>  |
| OREDA                           | Ham                    |             | X              | <a href="http://www.oreda.com/">http://www.oreda.com/</a>   |
| EIREDA                          | Ham/İşlenmiş           |             | X              | <a href="https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/29/006/29006168.pdf?r=1&amp;r=1">https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/29/006/29006168.pdf?r=1&amp;r=1</a> |
| FRED                            | İşlenmiş               | X           | X              | <a href="http://www.hse.gov.uk/landuseplanning/failure-rates.pdf">http://www.hse.gov.uk/landuseplanning/failure-rates.pdf</a>   |
| LOPA                            | İşlenmiş               | X           | X              | <a href="https://www.aiche.org/ccps/resources/tools/lopa">https://www.aiche.org/ccps/resources/tools/lopa</a>   |
| ICSI                            | İşlenmiş               |             | X              | <a href="https://www.icsi-eu.org/fr/">https://www.icsi-eu.org/fr/</a>   |
| CONCAWE                         | Ham                    | X           |                | <a href="http://www.concawe.org/">http://www.concawe.org/</a>   |
| EGIG                            | Ham                    | X           |                | <a href="http://www.egig.nl/">http://www.egig.nl/</a>   |

Çalışma boyunca araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### 3. Örnek Çalışma

Örnek çalışmada; bir petrol rafinerisinde atmosferik damıtma kolonundan çıkıp sıyrıcıya giden ve içinde hafif nafta bulunduran 160 mm çapında bir boru hattında 4-5 mm çapında küçük bir sızıntı olayının meydana gelme frekansının nicel veri kaynakları kullanılarak tespit edilmesi. Beraberinde ARAMIS yönteminin MIMAH (Büyük kaza tehlikelerinin belirlenmesi metodolojisi) kısmı kullanılarak bu sızıntı sonucunda oluşabilecek tehlikeli olayları ve meydana gelme sıklıklarının belirlenmesidir (Delvosalle, Fiévez ve Pipart, 2004 ).

Örnek çalışmada petrol rafinerisinin atmosferik damıtma kolonundan çıkıp sıyrıcıya giden ve içinde hafif nafta bulunduran 160 mm çapında bir boru hattında 4-5 mm çapında küçük bir sızıntı meydana gelmektedir. Öncelikle nicel veri kaynaklarında küçük boyutta borudan sızıntı kritik olayının meydana gelme frekansı araştırılmış olup Referans el kitabı BEVİ'de bulunan değerler tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3

Referans el kitabı BEVİ veri kaynağına göre boru hattında meydana gelen kritik olayların frekansları (National Institute for Public Health and the Environment, 2009)

|                    | DN < 75 mm<br>(m <sup>-1</sup> yıl <sup>-1</sup> ) | 75 mm ≤ DN<br>≤150mm<br>(m <sup>-1</sup> yıl <sup>-1</sup> ) | DN >150 mm<br>(m <sup>-1</sup> yıl <sup>-1</sup> ) |
|--------------------|--|--|--|
| Kırılma<br>Frekans | 1 10 <sup>-6</sup>                                 | 3 10 <sup>-7</sup>   | 1 10 <sup>-7</sup>                                 |
| Sızıntı<br>Frekans | 5 10 <sup>-6</sup>                                 | 2 10 <sup>-6</sup>   | 5 10 <sup>-7</sup>                                 |

160 mm çapında boruda 3-4 mm boyutunda sızıntı tehlikeli olayının frekans değeri bir başka veri kaynağı olan FRED'e göre bulunan sonuçlar tablo 4'te belirtilmiştir.

Tablo 4

FRED veri kaynağına göre boru hattında meydana gelen kritik olayların frekansları (Health and Safety Executive, 2012).

| Gedik/Çatlak<br>(m <sup>-1</sup> yıl <sup>-1</sup> ) | DN 0-49 mm<br>(m <sup>-1</sup> yıl <sup>-1</sup> ) | DN 50-149<br>mm<br>(m <sup>-1</sup> yıl <sup>-1</sup> ) | DN 150-299<br>mm<br>(m <sup>-1</sup> yıl <sup>-1</sup> ) |
|--|--|---|--|
| 3 mm   | 1 10 <sup>-5</sup>                                 | 2 10 <sup>-6</sup>                                      |  |
| 4 mm   |  |   | 1 10 <sup>-6</sup>                                       |
| 25 mm  | 5 10 <sup>-6</sup>                                 | 1 10 <sup>-6</sup>                                      | 7 10 <sup>-7</sup>                                       |
| 1/3 DN   |  |   | 4 10 <sup>-7</sup>                                       |
| Kopmuş   | 1 10 <sup>-6</sup>                                 | 5 10 <sup>-7</sup>                                      | 2 10 <sup>-7</sup>                                       |

Örnek çalışmadaki tehlikeli olay için son olarak OGP veri kaynağında araştırma yapılmış olup tespit edilen değerler tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5

OGP veri kaynağına göre boru hattında meydana gelen kritik olayların frekansları (International Association of Oil and Gas Producers, 2010).

| Delik Boyutu<br>(mm) | DN 50 mm<br>(m <sup>-1</sup> yıl <sup>-1</sup> ) | DN 100 mm<br>(m <sup>-1</sup> yıl <sup>-1</sup> ) | DN 150 mm<br>(m <sup>-1</sup> yıl <sup>-1</sup> ) |
|----------------------|--|---|---|
| 1-3                  | 5,5 10 <sup>-5</sup>                             | 4 10 <sup>-5</sup>                                | 2,6 10 <sup>-5</sup>                              |
| 3-10                 | 1,8 10 <sup>-5</sup>                             | 5,15 10 <sup>-5</sup>                             | 8,5 10 <sup>-5</sup>                              |
| 10-50                | 7 10 <sup>-6</sup>                               | 4,85 10 <sup>-6</sup>                             | 2,7 10 <sup>-6</sup>                              |

Kazaların nicel veri kaynaklarından küçük boyutta borudan sızıntı kritik olayının meydana gelme frekansı için bulunan değerler toplu olarak tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6

Örnek kapsamında bulunan verilerin derlenmesi

|                             | Frekans (m <sup>-1</sup> yıl <sup>-1</sup> ) |
|-----------------------------|--|
| Bevi                        | 5 10 <sup>-7</sup>                           |
| FRED                        | 1 10 <sup>-6</sup>                           |
| Oil and Gas Producers (OGP) | 8,5 10 <sup>-5</sup>                         |

Tablo 6'da görüldüğü gibi nicel veri kaynaklarından alınan her bir sonuç farklılık göstermektedir. Böyle durumlarda verileri toplu değerlendirebilmek için verilerin aritmetik ve geometrik ortalamaları alınır (Brinkman, Van Gestel ve Van Otterloo, 1997). Verilerin geometrik ve aritmetik ortalamaları tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7

Örnek olayın meydana gelme değerinin aritmetik ve geometrik ortalaması

| Aritmetik Ortalama<br>(m <sup>-1</sup> yıl <sup>-1</sup> ) | Geometrik Ortalama<br>(m <sup>-1</sup> yıl <sup>-1</sup> ) |
|--|--|
| 2,88 10 <sup>-5</sup>                                      | 3,48 10 <sup>-6</sup>                                      |

Güvenli tarafta kalmanın tesis için her zaman faydalı olacağından bu çalışmada aritmetik ortalama kullanılmıştır. Böylece kritik olayın meydana gelme frekansı 2,88 10<sup>-5</sup> m<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> olarak belirlendikten sonra ARAMIS'ın MIMAH analizine göre meydana gelebilecek tehlikeli olaylar belirlenmiştir.

Tablo 8  
Tehlikeli ekipmanlarda meydana gelen ikincil kritik olaylar (SCE)

| Kritik Olay(CE)                   | CE-HAL HAL |                                   | SCE 1 Yangın | SCE 2 Felakete neden olabilecek kopma | SCE 3 Birikinti oluşumu | SCE 4 Tank içinde birikinti oluşumu | SCE 5 Ani gaz kaçağı | SCE 6 Ani gaz çıkışı | SCE 7 İki fazlı kaçak | SCE 8 Aerosol kaçağı | SCE 9 Patlama | SCE 10 Matervalin havada sürtüklenmesi | SCE 11 Sıvı tarafından matervalin | SCE 12 Bozunma |
|-----------------------------------|------------|-----------------------------------|--------------|---------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|---------------|--|-----------------------------------|----------------|
|                                   | X          | Sıvı İkili faz(De nge) Buhar /Gaz |              |                                       |                         |                                     |                      |                      |                       |                      |               |  |                                   |                |
| Sıvı taşıyan borudan sızıntı CE 8 | X          |                                   |              |                                       | X                       |                                     |                      |                      | X                     |                      |               |  |                                   |                |

Kritik ekipman ve kritik olay belli olduktan sonra kritik olaydan hemen sonra meydana gelebilecek ikincil kritik olaylar belirlenir. Örnek çalışma için sıvı fazda borudan sızıntı olduktan sonra ikincil kritik olay olarak birikinti olduğu tablo 8'de görülmektedir.

Tablo 9  
Tehlikeli ekipmanlarda meydana gelebilecek üçüncül kritik olaylar(TCE)

| Birikinti oluşumu SCE 3 | TCE 1 Yangın | TCE 2 Felakete neden olabilecek yırtılma, kopma | TCE 3 Tankın içinde birikinti tutuşması | TCE 4 Birikinti tutuşması | TCE 5 Gaz dağılımı | TCE 6 İkincil toksik ürün | TCE 7 Ani gaz kaçağı tutuşması | TCE 8 Ani gaz kaçağının tutuşması | TCE 9 İkili faz kaçağının tutuşması | TCE 10 Aerosol kaçağının tutuşması | TCE 11 Birikinti dağılımı / tutuşmaması | TCE 12 Patlama | TCE 13 Toz bulutu tutuşması | TCE 14 Toz dağılımı |
|-------------------------|--------------|---|---|---------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---|----------------|-----------------------------|---------------------|
|                         |              |   |   | X                         | X                  |                           |                                |                                   |                                     |                                    |   | X              |                             |                     |

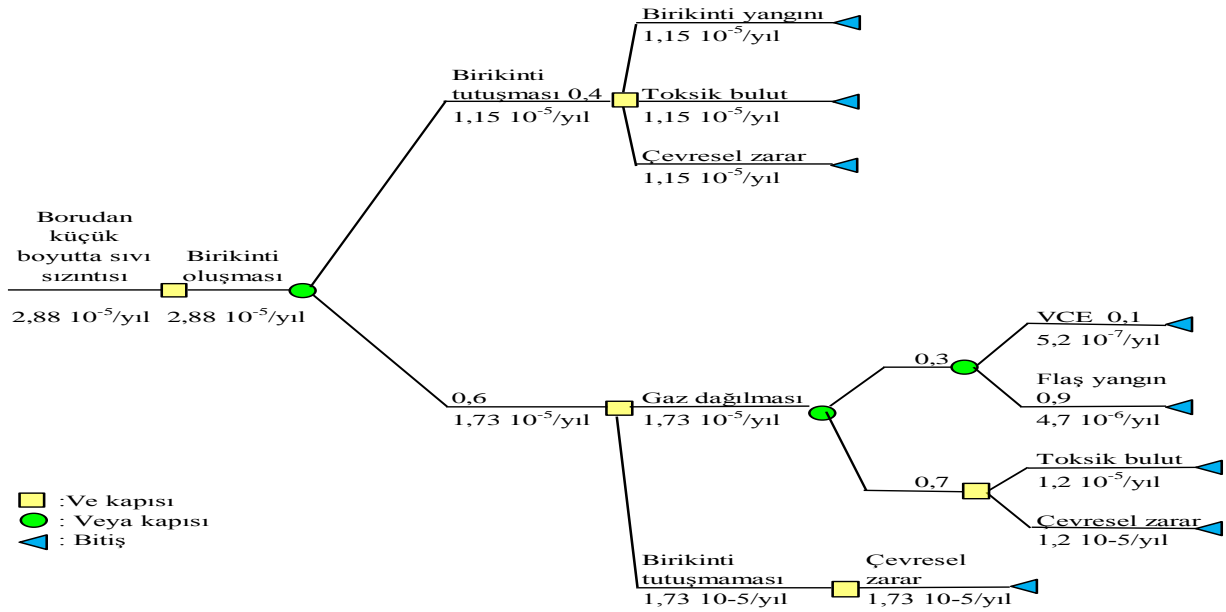
Örnek çalışmada sızıntı sonucu birikinti oluşması ikincil kritik olayından sonra meydana gelebilecek üçüncül kritik olaylar incelendiğinde burada olay ağacı 2 dala ayrılır; birikinti tutuşması veya tutuşmamasıdır. Birinci dal oluşan birikintinin tutuşması olarak devam ederken, ikinci dal aynı anda meydana gelen birikintinin tutuşmaması ve gaz dağılımı olarak iki dala ayrılır. Bu durum tablo 9'da görülmektedir.

Tablo 10  
Tehlikeli ekipmanlarda meydana gelebilecek tehlikeli olayları (DP)

| TCE 4 Birikinti tutuşması               | DP 1 Birikinti yangını | DP 2 Tank yangını | DP 3 Jet yangını | DP 4 VCE(Buhar bulutu) | DP 5 Flaş yangını | DP 6 Toksik bulut | DP 7 Yangın | DP 8 Basınçla maddenin | DP 9 Aşırı basınç artışı | DP 10 Ateş topu | DP 11 Çevresel zarar | DP 12 Toz patlaması | DP 13 Kaynama sonucu |
|---|------------------------|-------------------|------------------|------------------------|-------------------|-------------------|-------------|------------------------|--------------------------|-----------------|----------------------|---------------------|----------------------|
|   |                        | X                 |                  |                        |                   | X                 |             |                        |                          |                 | X                    |                     |                      |
| TCE 5 Gaz dağılımı                      |                        |                   |                  | X                      | X                 |                   |             |                        |                          |                 |                      |                     |                      |
| TCE 11 Birikinti dağılımı / tutuşmaması |                        |                   |                  |                        |                   |                   |             |                        |                          |                 | X                    |                     |                      |

Üçüncül kritik olaylar belirlendikten sonra olay ağacının en sonunda yer alan tehlikeli olaylar belirlenir. Birinci dalda bulunan birikinti tutuşmasından sonra yangın, toksik bulut ve çevresel zarar tehlikeli olayları aynı anda meydana gelerek üçlü bir dallanma yapısı gösterir. İkinci dalda üçüncül kritik olay olan gaz dağılımından sonra buhar bulutu patlaması(VCE) veya flaş yangını ve toksik bulut ve çevresel zarar tehlikeli olayları meydana gelerek dörtlü bir dallanma yapısı oluştururken birikinti tutuşmaması üçüncül kritik olayından sonra çevresel zarar tehlikeli olayı meydana gelir. Bu durum ayrıntılı olarak tablo 10'da görülmektedir. Örnek çalışmada en şiddetli olay büyük miktarlarda alevlenir buhar ya da gazın serbest kalarak havayla oluşturduğu karışımın tutuşması sonucunda oluşan buhar bulutu patlaması-VCE olayıdır (The Global Home of Chemical Engineers, 2010).

Tablo 7-10 arasında elde edilen bilgiler ışığında şekil 2 oluşturulup olay ağacının en sonunda yer alan tehlikeli olaylar resmedilmiştir. Kazaların nicel veri kaynakları aracılığıyla meydana gelme frekansı tespit edilen kritik olay şekilde 2'de yerine koyulup gerekli işlemler yapılarak tehlikeli olayların meydana gelme frekansları hesaplanmıştır. İkincil, üçüncül ve tehlikeli olayların meydana gelme frekansları hesaplanırken geçmiş veriler ışığında belirlenen olasılıklar ve kapılar (ve/veya) dikkate alınmıştır.



Şekil 2. Borudan küçük boyutta sıvı sızması tehlikeli olayının frekansları

#### 4. Sonuç Ve Tartışma

Bu çalışmada olay ağaç analizinin başlatıcısı olan kritik olayın meydana gelme sıklığının tespitinde uluslararası kabul görmüş veri kaynaklarını kullanılması ve belirlenen veri aracılığıyla nitel bir risk analizinin nicel hale getirme yolları araştırılırken aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

\*Kazaların nicel veri kaynakları verilerin yapısına göre kaza yeri ham verileri veya işlenmiş genel kaza verileri olarak hazırlanır. Aynı ağaçta mümkünse hem işlenmiş hem de ham veri kaynağı kullanılmamalıdır. Kullanıldığı durumda da veri kaynakları arasında araştırma yapıp veri seçiminde güvenli tarafta kalınmalıdır.

\*Nitel risk analizinin nicel hale çevrilmesi; tespit edilen tehlikeli olayların meydana gelme sıklıklarının belirlenmesi ve tehlikeler arasında önceliklendirme yapılmasına olanak sağlar. Ayrıca güvenli seviyede olmadığı tespit edilen tehlikeli olaylara karşı önleyici bariyerler işleme koyularak tesisin daha güvenli hale gelmesine yardımcı olur (The Global Home of Chemical Engineers, 2011).

\*Endüstriyel tesislerde risk analizi hazırlanırken kazaların nitel veri kaynaklarının kullanılması benzer tesislerde geçmişte yaşanan kazaların farkında olunmasından dolayı yanlış ve eksik kaza senaryolarının oluşturulmasını engeller.

\*Nükleer tesisler için hazırlanan veri tabanları endüstriyel tesislerde kullanmak doğru değildir. Öncelikle endüstriyel tesisler için hazırlanmış veri tabanlarında araştırma yapıp verinin bulunmadığı

durumda uzman kişiler tarafından nükleer tesisler için hazırlanmış veri üzerinde gerekli düzeltmeler yapılarak kullanılmalıdır. Çünkü nükleer tesislerde yapılacak en küçük hata çok büyük sonuçlar doğuracağına da hata toleransı çok düşük, güvenilir seviyesi çok yüksek olan tesisler kurulmaktadır. Bu da endüstriyel tesisler için maliyeti gereğinden fazla artırır (Brinkman ve diğ., 1997).

\*Hata ağaç analizi nicel hale getirilirken başlatıcı olay sıklık verisini (Ör: OREDA, EIREDA vb.) içinde barındıran kazaların nicel veri kaynakları kullanılmalıdır. Olay ağaç analizi nicel hale getirilirken ise kritik olay sıklık verisini (Ör: BEVI, OGP vb.) içinde barındıran kazaların nicel veri kaynakları kullanılmalıdır.

\*Başlatıcı olaydan başlayarak hem hata ağaç analizinin hem olay ağaç analizinin nicel hale çevrilmesi durumunda her iki tarafı da nicel olarak değerlendirme fırsatı oluşmaktadır. Böylece nicel risk değerlendirme sonucunda güvensiz olarak belirlenen tehlikeli olay için her iki bölgeye de müdahale edilerek tehlikeli olayın frekansı istenen güvenli seviyeye çekilebilir (Debray ve diğ., 2004). Fakat her bir başlatıcı olayın meydana gelme değerine ulaşmak zordur (Babaarslan, 2013). Eğer kritik olaydan veri girilerek sadece olay ağaç analizi nicel hale dönüştürülmesi durumunda; verilerin bulunması daha mümkün olup analizin yapılması daha kolay olacaktır. Fakat bu durumda da nicel risk değerlendirme sonucunda güvensiz olarak belirlenen tehlikeli olaya sadece olay ağaç analizi kısmında müdahale edilebilir. Bu işlemin de önleyici bariyerlerin

ve güvenlik bütünlüğü sistemlerin(SIS) bulunduğu hata ağaç analiz kısmına etkisi olmaz (IEC 61511, 2020).

\*Örnek çalışmada bir petrol rafinerisinin atmosferik damıtma kolonundan çıkıp sıyrıcıya giden ve içinde hafif nafta bulunduran 160 mm çapında bir boru hattında 4-5 mm çapında küçük bir sızıntı olayı incelenmiştir. Öncelikle 4-5 mm çapında küçük bir sızıntı olayının meydana gelme sıklığı kazaların nicel veri kaynaklarından araştırılmıştır. Bulunan sonuçlarda farklılık olmasından dolayı doğru değerlendirme yapabilmek için verilerin aritmetik ve geometrik ortalamaları alınmış ve daha güvenilir alanda kalabilmek için aritmetik ortalama verisi olan  $2.88 \cdot 10^{-5}$  değeri sızıntı olayı için seçilmiştir. Hemen sonra ARAMIS yönteminin MIMAH kısmı kullanılarak bu sızıntı sonucunda oluşabilecek tehlikeli olayların ve meydana gelme sıklıklarının gerekli matematiksel işlemler yapılarak tespit edilmiştir. Yapılan bu işlemler sonucunda örnek çalışma için birikinti tutuşmaması ve dağılması sonucunda oluşan çevresel zararın  $1,73 \cdot 10^{-6}$ /yıl frekans ile meydana gelme sıklığı en yüksek tehlikeli olay olduğu görülmüştür. VCE tehlikeli olayın meydana gelme değeri  $5,2 \cdot 10^{-7}$ /yıl ile diğer tehlikeli olayların yanında düşük kalsa bile şiddeti en yüksek tehlikeli olay olduğu gözden kaçırılmamalıdır.

\*Bu çalışmanın devamında; şekil 2'de belirtilen her bir tehlikeli olayın meydana gelme frekans değerleri ışığında tehlikeler önceliklendirilip alınması gereken önleyici tedbirler belirlenebilir. Aynı zamanda çalışmanın sonucunda belirlenen tehlikeli olayların frekansları ile şiddetleri beraber değerlendirilerek işleme koyulması gereken tedbirler tekrar belirlenip her iki durum için karşılaştırma yapılabilir. Böylece risk analizi sonucunda alınması gereken aksiyonlar belirlenirken şiddetin analizi etkisi incelenmiş olur.

#### Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Neslihan BABAARSLAN çalışmada yer alan yönteminin araştırılıp seçilmesi ve uygulamada kullanılacak verilerin derlenmesine, Yavuz CABBAR derlenen verileri çalışma kapsamında anlamlı hale getirilmesine ve çalışma sonunda elde edilen sonuçların yorumlanmasına katkı sağlamıştır.

#### Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

#### Kaynaklar

Babaarslan, N. (2014). Kalitatif Olarak Hazırlanmış Papyon Diyagramlarının Kantitatif Hale Çevrilmesi Ve Bu Kapsamda Veri Analizi Yapılması. T.C. Çalışma

ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Teftiş Kurulu Başkanlığı, İş Müfettişi Yardımcılığı Etüdü. Ankara.

Babaarslan, N. (2013). Petrol rafinerisinde Atmosferik Damıtma Kolonunda Kaza Riski Değerlendirmesi, (Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Brinkman, J.L., Van Gestel, P.J. & Van Otterloo, R.W. (1997). Methods for determining and processing probabilities 'Red Book', Second edition, 6.10-15. The Netherlands.

Debray, B. Delvosalle, C. Fiévez, C. Pipart, A. Londiche, H. & Hubert, E. (2004). Defining safety functions and safety barriers from fault and event trees analysis of major industrial hazards. Proceedings ESREL, 14-18. Erişim adresi: [https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-0-85729-410-4\\_58](https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-0-85729-410-4_58)

Delvosalle, C. Fiévez, C. & Pipart, A. (2004). ARAMIS Project. Accidental risk assessment methodology for industries. Project report issued for the European Commission. Erişim adresi: <https://cordis.europa.eu/project/id/EVG1-CT-2001-00036>

Health and Safety Executive, (2012). Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments. 45, 47-50. Erişim adresi: <https://www.hse.gov.uk/landuseplanning/failure-rates.pdf>

Hessian R. & Rubin J. (1991). Risk Assessment and Risk Management For The Chemical Process Industry. Canada. 30-47. Erişim adresi: <https://www.wiley.com/en-us/Risk+Assessment+and+Risk+Management+for+the+Chemical+Process+Industry-p-9780471288824>

IEC 61511 (2020). Functional safety- Safety instrumented systems for the process industry sector, parts 1-3, International Electrotechnical Commission, Geneva.

IEC 61882 (2016). Hazard and Operability Studies (HAZOP Studies) - Application guide. (2016). International Electrotechnical Commission, Geneva.

IEC 62502 (2010). Analysis techniques for dependability - Event tree analysis (ETA). International Electrotechnical Commission, Geneva.

IEC 61025 (2006). Fault Tree Analysis (FTA). International Electrotechnical Commission, Geneva.

International Association of Oil & Gas Producers, (2010). Process Release Frequencies. 7-8. Erişim adresi: <https://www.iogp.org/bookstore/product/risk-assessment-data-directory-process-release-frequencies/>

Kaza Senaryoları, (2013). Seveso II Direktifinin Uygulama Kapasitesinin Arttırılması İçin Teknik Yardım Projesi, s. 9-10. Ankara: Ekodenge.

National Institute for Public Health and the Environment, (2009). Reference Manual Bevi Risk Assessments Introduction, 96-97. Erişim adresi: [http://infonorma.gencat.cat/pdf/AG\\_AQR\\_2\\_Bevi\\_V3\\_2\\_01-07-2009.pdf](http://infonorma.gencat.cat/pdf/AG_AQR_2_Bevi_V3_2_01-07-2009.pdf)

O'mara, R.J. (1991). Failure Modes And Effect Analysis: Risk Assessment and Risk Management fort the Chemical Process Industry, s. 91-100. New York: Van Nostrand Reinhold.

Risk Değerlendirme, Coğrafik Bilgi Sistemleri Araçları Ve Arazi Kullanım Planlaması, (2013). Seveso II Direktifinin Uygulama Kapasitesinin Arttırılması İçin Teknik Yardım Projesi, s. 8-9. Ankara: Ekodenge.

T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Teftiş Kurulu Başkanlığı. (2015). Kimya Sanayi Sektöründe SEVESO II Direktifi Kapsamındaki Endüstrilerde Kaza Riski Değerlendirmesi Metodolojisi. Erişim adresi: [https://ailevecalisma.gov.tr/medias/6014/2012\\_55.pdf](https://ailevecalisma.gov.tr/medias/6014/2012_55.pdf)

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Kimyasallar Yönetimi Dairesi Başkanlığı. (2012). .Endüstriyel Kazalar Üzerine Uygulamalar Raporu.

The Gas Disaster. (2013). Erişim adresi: <https://www.bhopal.org/what-happened/union-carbides-disaster/>

The Global Home of Chemical Engineers, (2011). Layer of Protection Analysis, Simplified Process Risk Assessment, Center for Chemical Process Safety 2.-2.9. Erişim adresi: <https://www.wiley.com/en-us/Layer+of+Protection+Analysis%3A+Simplified+Process+Risk+Assessment-p-9780816908110>

The Global Home of Chemical Engineers, (2010). Guidelines for Vapor Cloud Explosion, Pressure Vessel Burst, BLEVE, and Flash Fire Hazard, Second edition, 97-98. Erişim adresi: <https://www.wiley.com/en-us/Guidelines+for+Vapor+Cloud+Explosion%2C+Pressure+Vessel+Burst%2C+BLEVE%2C+and+Flash+Fire+Hazards%2C+2nd+Edition-p-9780470251478>