T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SEVESO DİREKTİFİ KAPSAMINDA UYGULANAN PROSES GÜVENLİĞİ İÇİN RİSK ANALİZ METOTLARI: TEHLİKE VE İŞLETİLEBİLİRLİK İLE KORUMA KATMANLARI ANALİZİ, ALEVLENİR KİMYASAL BULUNDURAN BİR TESİSTE UYGULAMASI

Songül AĞAR

YÜKSEK LİSANS

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimya Mühendisliği Programı

Danışman

Doç. Dr. Yasemen KALPAKLI

Temmuz, 2024

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SEVESO DİREKTİFİ KAPSAMINDA UYGULANAN PROSES GÜVENLİĞİ İÇİN RİSK ANALİZ METOTLARI: TEHLİKE VE İŞLETİLEBİLİRLİK İLE KORUMA KATMANLARI ANALİZİ, ALEVLENİR KİMYASAL BULUNDURAN BİR TESİSTE UYGULAMASI

Songül AĞAR tarafından hazırlanan tez çalışması 26.07.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Kimya Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Yasemen KALPAKLI
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Yasemen KALPAKLI, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Emek DERUN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Dilek ÖZMEN, Üye
Yalova Üniversitesi _____

Danışmanım Doç. Dr. Yasemen KALPAKLI sorumluluğunda tarafımca hazırlanan "Seveso Direktifi Kapsamında Uygulanan Proses Güvenliği için Risk Analiz Metotları: Tehlike ve İşletilebilirlik ile Koruma Katmanları Analizi, Alevlenir Kimyasal Bulunduran Bir Tesiste Uygulaması" başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Songül AĞAR

İmza

Aileme

ve

Sevdiklerime

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimime devam edip tamamlamamda büyük desteği olan, değerli bilgi ve zamanını benden esirgemeyen kıymetli danışmanım Doç. Dr. Yasemen KALPAKLI'ya,

Koşulsuz desteklerini her zaman hissettiğim sevgili ailem ve sevdiklerime,

Tez sürecinde profesyonel birikimlerini benimle paylaşan iş arkadaşlarıma teşekkür ve minnetlerimi sunarım.

Songül AĞAR

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ vii
KISALTMA LİSTESİ viii
ŞEKİL LİSTESİ ix
TABLO LİSTESİ x
ÖZET xii
ABSTRACT xiv
1 GİRİŞ 1
1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 3
2 GENEL BİLGİLER 5
2.1 Seveso Direktifi 5
2.2 Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik 7
2.2.1 İşletmecilerin Yükümlülükleri 8
3 YÖNTEMLER 11
3.1 Tehlikelerin Belirlenmesi 11
3.1.1 ARAMIS Vade Mecum…… 23
3.1.2 DOW Yangın ve Patlama İndeksi…….. 30
3.1.3 ICI MOND İndeksi…… 36
3.2 Risk Değerlendirme Yöntemleri 38
3.2.1 Tehlike ve İşletebilirlik Analizi (HAZOP)…… 38
3.2.2 Koruma Katmanları Analizi (LOPA)…… 47
4 PROSES UYGULAMASI 57
4.1 Çözücü Kimyasal 57
4.2 Çözücü Hammadde Depolama Sahası 58
4.3 Proses Risk Değerlendirmesi 61
4.3.1 Prosese ait Tehlikeli Ekipman Gruplandırma…… 61
4.3.2 Proses Risk Değerlendirme…….. 114
5 SONUÇ 140
KAYNAKÇA 145

A GENEL PROSES TEHLİKELERİ (F_1) **149**
B ÖZEL PROSES TEHLİKELERİ (F_2) **150**
C MALZEME FAKTÖRÜ (MF) **154**
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **155**

SİMGE LİSTESİ

T_{eb}	Atmosfer basıncı altında bulunan kaynama noktası
Tp (ºC)	Çalışma sıcaklık değerini,
F_1	Genel Proses Tehlikeleri Faktörü
T	ICI MOND Toksikoloji İndeksi
D	İki ekipman arasındaki mesafe
Ts	İzin verilen azami derişime bağlı düzeltme faktörü
C	Kayıp Kontrol Kredi Faktörü
M	Kütle
MF	Malzeme Faktörü
C_2	Malzeme İzolasyon Kredi Faktörü
F_2	Özel Proses Tehlikeleri Faktörü
F	Proses Birimi Tehlikeleri Faktörü
C_1	Proses Kontrol Kredi Faktörü
Th	Toksisite Faktörü
VOC	Uçucu Organik Bileşik
C_3	Yangından Korunma Kredi Faktörü
Hc	Yanma ısısı

KISALTMA LİSTESİ

AB	Avrupa Birliği
ARAMIS	Accidental Risk Assessment Methodology for Industries
BEKRA	Büyük Endüstriyel Kaza Risklerinin Azaltılması
BPCS	Basit Proses Kontrol Sistemleri (Basic Process Control System)
DCS	Dağıtılmış Kontrol Sistemi (Distributed Control System)
ESD	Elektrostatik Deşarj
GYS	Güvenlik Yönetimi Sistemi
HAZOP	Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi (Hazard and Operability Analysis)
IC	Başlatıcı Olay (Initiating Cause)
ICI MOND	Imperial Chemical Industries Mond Index
IPA	Katılım Öncesi Mali Yardım Aracı (Instrument for Pre-Accession Assistance)
IPL	Bağımsız Koruma Katmanları (Independent Protection Layer)
LOPA	Koruma Katmanları Analizi (Layers of Protection Analysis)
MAC	İzin Verilen Azami Konsantrasyon (Maximum Allowable Concentration)
NFPA	The National Fire Protection Association
P&ID	Proses ve Ekipman Diyagramı (Process & Instrument Diagram)
PFD	Talep Anında Hata Yapma Olasılığı (Probability of Failure on Demand)
PLC	Programlanabilir Mantıksal Denetleyici (Programmable Logic Controller)
PRV	Basınç Düzenleme Valfi (Pressure Relief Valve)
RÖS	Risk Öncelik Sayısı
SIF	Güvenlik Enstrümanlı Fonksiyon (Safety Instrumented Function)
SIL	Güvenlik Bütünlüğü Seviyesi (Safety Integrity Level)
SIS	Güvenlik Enstrümanlı Sistem (Safety Instrumented System)
TLV	Eşik Limit Değeri (Threshold Limit Value)
TWA	Zaman Ağırlıklı Ortalama (Time-Weighted Average)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 NFPA 704 Tehlike karosu ve açıklamaları…….……31
Şekil 3.2 İnceleme aşaması……...41

Şekil 3.3 Koruyucu katmanlar…….....44

Şekil 3.4 HAZOP Matrisi…….…….……46

Şekil 3.5 Koruyucu Katmanlar…….……49

Şekil 4.1 Çözücü kimyasal NFPA sınıflandırması…..…….58

Şekil 4.2 Proses diyagramı…….…..60

Şekil B.1 Basınç penaltı faktörü…….….151

Şekil B.2 İşletmede veya tankta yanıcı/reaktif sıvı/gaz miktarı penaltı faktörü – Prosesteki sıvı ve gazlar için……..……152

Şekil B.3 İşletmede veya tankta yanıcı/reaktif sıvı/gaz miktarı penaltı faktörü – Depolamadaki sıvı ve gazlar için……152

Şekil B.4 İşletmede veya tankta yanıcı/reaktif sıvı/gaz miktarı penaltı faktörü – Depolamadaki yanıcı katılar ve bir proses ünitesindeki tozlar……153

Şekil B.5 Ateşli ekipman mevcudiyeti durumunda penaltı faktörü……153

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Kuruluş Sorumlulukları……..……..…...9

Tablo 3.1 Tehlikeli maddelerin zararlılık kategorileri…….12

Tablo 3.2 Tehlikeli maddelerin sınıflandırılması…….24

Tablo 3.3 Tehlikeli ekipmanların sınıflandırılması……..25

Tablo 3.4 Referans alınan kütleler……..….28

Tablo 3.5 NFPA 704 Tehlike belirleme sistemi sınıflandırma özeti……...32

Tablo 3.6 Büyük kazaların DOW Yangın ve Patlama İndeksi'ne göre derecelendirilmesi……..…….….36

Tablo 3.7 NFPA Sağlık İndeksi & Toksisite Faktörü (T_h)……..…37

Tablo 3.8 MAC değeri düzeltme faktörü (T_s)…….…38

Tablo 3.9 Büyük kazaların MOND İndeksi'ne göre derecelendirilmesi……... 38

Tablo 3.10 Kılavuz kelimeler……...42

Tablo 3.11 LOPA Bağımsız Koruma Katmanları (IPL)……..50

Tablo 3.12 LOPA yönteminde başlatıcı olayların tekrarlanabilirliği……53

Tablo 3.13 LOPA yönteminde şiddet sınıflandırması……..54

Tablo 3.14 LOPA yönteminde olasılık etkileri…….56

Tablo 4.1 Çözücü kimyasalın özellikleri……..57

Tablo 4.2 L-0101 line numaralı boru hattı değerlendirmesi…….62

Tablo 4.3 DT-03 tag numaralı depolama tankı değerlendirmesi……..72

Tablo 4.4 P-0301 tag numaralı pompa değerlendirmesi……..…82

Tablo 4.5 P-0302 tag numaralı pompa değerlendirmesi……..…92

Tablo 4.6 L-0102 line numaralı boru hattı değerlendirmesi……..102

Tablo 4.7 Tehlikeli ekipman gruplandırmasına ait sonuçlar……..…114

Tablo 4.8 Ekipmanların PFD değerleri……..…115

Tablo 4.9 Proses ve tesise ait sapma ve hatalar……..…117

Tablo 4.10 Proses ve tesise ait risk değerlendirmesi……..121

Tablo C.1 Malzeme faktörü…….……..154

ÖZET

Seveso Direktifi Kapsamında Uygulanan Proses Güvenliği için Risk Analiz Metotları: Tehlike ve İşletilebilirlik ile Koruma Katmanları Analizi, Alevlenir Kimyasal Bulunduran Bir Tesiste Uygulaması

Songül AĞAR

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı
Kimya Mühendisliği Programı
Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Yasemen KALPAKLI

Büyük endüstriyel kazalar ağır çevresel, sosyal ve ekonomik olumsuzluklara yol açmaktadır. Avrupa Komisyonu, tehlikeli maddeler bulunduran büyük kazaların önlenmesi ve kazaların insan ve çevre üzerindeki etkilerinin sınırlandırılması için 1976 yılında ilk Seveso Direktifi'ni kabul etmiştir. Zaman içerisinde içerikleri genişletilerek revize edilmiştir. Şu an Seveso III Direktifi (2012/18/EU) yürürlüktedir.

Büyük endüstriyel kazalara neden olabilecek tehlikeli maddeleri bulunduran kuruluşlar, bu direktif kapsamındadır.

Türkiye'de BEKRA Mevzuatı olarak bilinen, Aralık 2013'te AB uyum süreci kapsamında Seveso II Direktifi'ni temel alan "Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkındaki Yönetmelik" oluşturulmuş, en son 2019 tarihli olarak, Seveso III Direktifi'ne göre güncellemelerle yayınlanmıştır.

BEKRA mevzuatı, risk değerlendirmesini zorunlu kılarken, kuruluşlar, bulundurdukları tehlikeli kimyasal ve ekipmanlar için, senaryo edilmiş olan her bir büyük kazanın her türlü sonucunun meydana gelme frekansını mevzuatla belirlenmiş

olan seviyeye ($1x10^{-4}$/yıl) veya daha alt bir seviyeye indirgemek zorundadır. Bu tehlikeli kimyasallar ve ekipmanlar belirlenirken, ARAMIS Vade Mecum metodu, 1994 yılında Dow Kimya Şirketi tarafından geliştirilen Dow Yangın ve Patlama İndeksi ve British Imperial Chemical Company tarafından, Dow Chemical Yangın ve Patlama İndeksi değerlendirme yönteminden türetilen Mond Yangın, Patlama ve Toksisite İndeksi değerlendirme yöntemi kullanılabilir.

Büyük kaza senaryoları ve mevcut önlemlerin analizi, tüm dünyada proses tehlike analiz metodu olarak kullanılan Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi (HAZOP) veya benzer sistematik risk analiz metotları yardımıyla yapılabilmektedir. Kuruluşun belirlediği ekip tarafından, öncelikle prosesin veya operasyon adımının bir değişkeni seçilir, kılavuz kelimeler kullanılarak, anlamlı tehlikeli sapmayı belirlenir ve tanımlanan sapma üzerinden olası sonuç senaryoları ve önlemler çalışılır. Önlemlerin etkinliğinin ölçümü ve riskin kabul edilebilir düzeyde olup olmadığının ölçümü Koruma Katmanı Analizi (LOPA) ile yapılabilmektedir. LOPA tekniği ile, proseste mevcut bulunan koruma katmanları bağımsızlık, çeşitlilik, denetlenebilirlik vb. açılardan araştırılmaktadır.

Sunulan çalışma içeriğinde, BEKRA Mevzuatına göre kuruluşun yükümlülüklerini yerine getirirken kullanabileceği Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi (HAZOP) ve Koruma Katmanı Analizi (LOPA) metodolojisi ve kimyasal bir proseste uygulamasına yer verilmiştir. Çözücü hammadde depolama sahasında gerçekleştirilen uygulamada, kuruluş büyük kaza frekans değeri 1×10^{-4}/yıl değerinden düşük olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: SEVESO, BEKRA, proses güvenliği, LOPA, HAZOP

ABSTRACT

Application of Risk Analysis Methods for Process Safety under the Seveso Directive - Hazard and Operability Analysis (HAZOP) and Layers of Protection Analysis (LOPA) and An Implementation in a Facility Containing Flammable Chemicals

Songül AĞAR

Department of Chemical Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Yasemen KALPAKLI

Major industrial accidents cause severe environmental, social and economic negativities. The European Commission adopted the first Seveso Directive in 1976 to prevent major accidents involving dangerous substances and to limit the effects of accidents on humans and the environment. Its contents have been expanded and revised over time. Currently Seveso III Directive (2012/18/EU) is in force. The companies keep hazardous substances that may cause major industrial accidents are within the scope of this directive.

The "Regulation on the Prevention of Major Industrial Accidents and Reducing Their Effects", known as the BEKRA Legislation in Turkey, was created in December 2013, based on the Seveso II Directive within the scope of the EU harmonization process, and was last published in 2019, with updates according to the Seveso III Directive.

While BEKRA legislation requires risk assessment, companies are obliged to reduce the frequency of occurrence of all consequences of each major accident scenario to the level determined by the legislation ($1x10^{-4}$/year) or lower, for the hazardous chemicals and equipment they hold. When determining these hazardous chemicals and equipment, the Mond Fire, Explosion and Toxicity Index derived

from the ARAMIS Vade Mecum method, the Dow Fire and Explosion Index developed by Dow Chemical Company in 1994, and the Dow Chemical Fire and Explosion Index evaluation method by British Imperial Chemical Company evaluation methods can be used.

Analysis of major accident scenarios and existing precautions can be made with the help of Hazard and Operability Analysis (HAZOP) or similar systematic risk analysis methods, which are used as process hazard analysis methods all over the world. First, a variable of the process or operation step is selected by the team determined by the company, using guide words, the significant dangerous deviation is determined, and possible outcome scenarios and precautions are studied based on the defined deviation. Measurement of the effectiveness of the measures and whether the risk is at an acceptable level can be done with Protection Layer Analysis (LOPA). With the LOPA technique, the protection layers present in the process are evaluated in terms of independence, diversity and controllability.

The content of the presented study includes the Hazard and Operability Analysis (HAZOP) and Protection Layer Analysis (LOPA) methodology that the organization can use while fulfilling its obligations according to BEKRA Legislation and its application in a chemical process. In the application that carried out in the solvent storage area, the company's major accident frequency value is determined as lower than 1×10^{-4}/year.

Keywords: SEVESO, BEKRA, process safety, LOPA, HAZOP

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Tehlikeli madde içeren, çok sayıda insanın ve canlının sağlığı için tehdit oluşturan, doğal çevrenin kalıcı olarak veya uzun dönemli kirlenmesine sebep olan ve yüksek derecede maddi hasar veren, geniş çaplı acil durum müdahalesi gerektiren yangın, patlama ve toksik yayılım olayları büyük endüstriyel kaza olarak isimlendirilmektedir [1]. Ülkemizde, yapılan analizlere göre; en çok meydana gelen kaza türü %55,6 oranla yangınlardır. Kazaya en fazla dahil olan kimyasal madde çeşidi %30 oranla alevlenir sıvılar olup, kazaya en fazla dahil olan proses ekipmanının %17 oranla tanklar olduğu ve bakım ile ilgili kök nedenlerin tüm kök nedenlerin %25'ini oluşturduğu görülmüştür [2].

Avrupa'da, büyük endüstriyel kazaların ve etkilerinin azaltılabilmesi için ilk kez 1982 yılında Seveso I Direktifi yayınlanmıştır. Bu versiyon, yalnızca kazaların önlenmesini hedeflerken, yıllar içerisinde iyileştirilerek önce 1996 senesinde Seveso II Direktifi, daha sonra 2012 senesinde Seveso III Direktifi Avrupa Komisyonu tarafından kabul edilmiştir. Seveso II Direktifi, büyük endüstriyel kazaların oluşmasına neden olabilecek tehlikeli maddelerin kuruluşta bulunması durumunda uygulanırken, Seveso III Direktifi ile kimyasal maddelerin sınıflandırılmasına yönelik metodoloji değiştirilmiş, bu da kuruluşların mevcut risk değerlendirme yöntemlerinde değişikliğe neden olmuştur [3].

Ülkemizde uygulanan mevzuat ise 2019 yılında son hali verilmiş olan Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik ve buna bağlı olarak oluşturulmuş olan BEKRA Bildirim Sistemidir [1,4]. Bu yönetmelik ile, kuruluşların bulundurdukları kimyasalın miktarı ve kategorisine göre hangi sorumluluklara sahip olduğu tanımlanmıştır.

2/3/2019 tarihli ve 30702 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmeliğin 8 inci maddesi, alt seviyeli kuruluş ve üst seviyeli kuruluş işletmecilerinin, oluşturmaları veya oluşturulmasını sağlamaları gereken büyük kaza senaryo dokümanına ilişkin

usul ve esasları belirlemektir. Büyük kaza senaryosu; tehlikelere ilişkin kök neden/nedenlerden, istenmeyen olayın meydana gelmesine kadar olan süreci, büyük kaza senaryo dokümanı; kuruluşta büyük endüstriyel kaza tehlikelerinin belirlenmesi ve bu tehlikelerden kaynaklanacak risklerin değerlendirilmesi amacıyla hazırlanan dokümanı ifade etmektedir [5].

Büyük endüstriyel kaza riski olan kuruluşlar, ön çalışmalarını yaptıktan sonra, kendileri için uygun olan risk değerlendirme metodunu seçerek, risk azaltma çalışmalarına başlamakla yükümlüdür [6]. Endüstriyel alanda, en çok kullanılan risk değerlendirme yöntemlerinin başında Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi (HAZOP) ve alınan önlemlerin kontrolünde oldukça sık kullanılan Koruma Katmanları Analizi (LOPA) gelmektedir. Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi (HAZOP) uygulanırken temel prensip, yeterli ve detaylı bir proses tanımının mevcut olması ve her noktada, meydana gelebilecek tasarım amacından sapmaların tayin edilmesi ve bu sapmaların neden olacağı sonuçların araştırılmasıdır. Bu çalışma, fazla, hiç, erken, geç vb. kılavuz kelimeleri uygulayarak sistematik olarak yürütülmektedir. Bu kelimeler ile potansiyel sapmalar belirlenerek, mevcut önlemlerin ve ek önlemlerin değerlendirmesi gerçekleştirilir [7].

Geleneksel Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi (HAZOP), proses işletmelerinde proses güvenliği yönetimi için en yaygın olarak uygulanan yöntemlerden biridir. Geleneksel ve kalitatif sonuçlara dayanan ilkeleri nedeniyle, yüksek riskli süreçlere sahip proseslerde geleneksel risk tanımlama sonuçlarına neden olmaktadır. Gelişmiş kantitatif ve yarı kantitatif yöntemlerin çoğu, HAZOP'un geleneksellik sorununu çözmek için Koruyucu Katmanların Analizi (LOPA) tekniğine dayanmaktadır. Ancak LOPA'yı ana hat olarak ve HAZOP'u yalnızca senaryo ve etkileyici faktörlerin sağlayıcısı olarak alan geliştirilmiş model, LOPA'nın yalnızca tam ve bağımsız koruma katmanlarını (IPL'ler) analiz edebilmesiyle sınırlıdır. Bu nedenle, felaket nedenlerinin ve sonuçlarının kantitatif veya yarı kantitatif analizini gerçekleştirmek için yeni bir yarı niceliksel HAZOP yöntemi, HAZOP'u, felaketlerdeki azaltma faktörlerinin olasılığını kantitatif olarak hesaplamak ve LOPA ve DOW F&EI (Yangın ve Patlama İndeksi) tekniklerini entegre etmek için ana hat olarak alır [8].

Tesislerin güvenliği Dow'un Yangın ve Patlama İndeksi Yöntemi kullanılarak değerlendirilebilmektedir. Dow'un yöntemine göre her tesisin öncelikle üretim

süreci ve çalışma koşullarına bağlı olarak birkaç süreç birimine bölünmesi gerekmektedir. Daha sonra sırasıyla, özel proses, kontrol tekniği, izolasyon seviyesi ve yangınla mücadele ekipmanı dahil olmak üzere, proses ünitesinin çalışma koşuluyla ilgilenen proses ünitesinin malzemesine bağlı olan Malzeme Faktörü (MF), Genel Proses Tehlikeleri Faktörü (F_1), Özel Proses Tehlikeleri (F_2), Proses Kontrol Kredi Faktörü (C_1), Malzeme İzolasyon Kredi Faktörü (C_2) ve Yangından Korunma Kredi Faktörü (C_3) elde edilir. Bu değerler ile çalışılan birimin tehlike seviyesi belirlenir.[9]

British Imperial Chemical Company'nin Mond Yangın, Patlama & Toksisite İndeksi değerlendirme yöntemi Dow Chemical Yangın & Patlama İndeksi değerlendirme yönteminden geliştirilmiş olup değerlendirmesi daha kapsamlı, sistematik ve derinlemesine olduğundan ICI Mond Index özellikle kimya tesisi yangını, patlama, toksisite risk derecesi için uygun bir değerlendirme yöntemi olarak kabul edilmektedir [10].

1.2 Tezin Amacı

Avrupa'da yüksek etkili büyük endüstriyel kazaların meydana gelmesiyle, Avrupa Komisyonu tarafından, bu felaketlerin önüne geçmek ve olası etkilerini azaltmak için Seveso Direktifi yürürlüğe konmuştur. Şu anda Seveso III Direktifi yürürlükte olup, ülkemizde ise Seveso III Direktifi isterleri çerçevesinde "Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik" işletilmektedir.

Bu tezde, Türkiye'de uygulanmakta olan, BEKRA Mevzuatı olarak da bilinen bu yönetmeliğin gereklerinden, kuruluşların sorumluluklarından, bu bağlamda kullanılabilecek risk belirleme ve değerlendirme yöntemlerinden ve mevzuat gereklerine tabi olup olmadığı incelenen bir kuruluşun, tabi olması durumunda, büyük kaza senaryolarının oluşturulmasında ve buradan doğan risklerin önlenmesinde kullanabileceği risk belirleme ve değerlendirme yöntemlerine, alevlenir kimyasal bulundurulan tesis özelinde yer verilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, BEKRA mevzuatına tabi bir kuruluşun, mevzuat gereği yapması gereken risk değerlendirme çalışmasında ve risklerin azaltılması için gerekli önlemlerin alınmasında izleyeceği yol konusunda, Tehlike ve İşletilebilirlik

Analizi metodu ve Koru Katmanları Analizi uygulamaları örnekleri ile ışık tutmaktır.

Alevlenir çözücü hammadde depolaması sahasında risk yönetimi çalışılırken, kuruluşun beyanları üzerinden değerlendirme yapılmıştır.

2
GENEL BİLGİLER

2.1 Seveso Direktifi

Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik kapsamında "büyük endüstriyel kaza, tehlikeli madde içeren, çok sayıda insanın sağlığını tehdit eden, doğal çevrenin kalıcı olarak veya uzun dönemli kirlenmesine neden olan ve yüksek derecede maddi hasar veren, geniş çaplı acil durum müdahalesi gerektiren yangın, patlama ve toksik yayılım olayları" olarak tanımlanmaktadır [6].

Özellikle Avrupa'da, 1960'ların sonu ve 1970'lerin başında meydana gelen büyük endüstriyel kazalar sonrasında, tehlikeli kimyasal maddelerle çalışılan iş yerlerinde güvenli işletme konusundaki farkındalık artmış ve bu kazaların iş yeri çevresinde yaşayan insanlar üzerindeki etkilerine dikkat çekilmiştir. Temmuz 1976'da İtalya'nın Seveso kasabasında meydana gelen ve çevreye büyük miktarda dioksin yayılmasına yol açan kazanın ardından, güvenlik çalışmalarının belirli bir sistematik içinde yürütülmesi gerekliliği vurgulanmıştır [11, 12].

Bu kapsamda, Avrupa Birliği ilgili komisyonunda bir çalışma yürütülmüş ve 82/501/EEC karar sayılı Seveso Direktifi yayınlanmıştır. Bu direktif ile amaçlanan, büyük kazaların meydana gelmeden önlenmesi ya da meydana gelmesi durumunda felaketin kontrol altında tutulabilmesi için güvenlik raporunun hazırlanması, büyük kazalar ile ilgili sonuç ve frekans analizinin yapılması, dahili ve harici acil durum planlarının hazırlanması gerektiğini öngörülmüştür [3].

1984 yılında Hindistan, Bhopal'da ve 1986 yılında İsviçre, Basel'de gerçekleşen felaketler sonrasında, direktifin revizyon ihtiyacı ortaya çıkmış ve 1996 yılında, Avrupa Birliği ilgili komisyonu tarafından 96/82/EC sayılı karar, Seveso II Direktifi olarak yayınlanmıştır. Seveso II Direktifi, 1999 yılında tüm AB üye ülkelerinde uygulamaya başlanmış ve bu süre içerisinde her ülke, uygulama esaslarını belirten rehberler oluşturmuştur. Seveso I Direktifi belirli eylemleri hedeflemiş ve tehlikeli maddelerin bir listesini sunmuşken, Seveso II Direktifi bu tehlikeli maddeleri sınıflandırmıştır. Eşik miktarları, belirli türler, kategoriler ve

kategori grupları için tanımlanmıştır. Bu durumda Seveso Direktifi kapsamında olan işletmeler, bu belirlenmiş eşiğin üzerinde veya altında olmasına göre sınıflandırılmıştır. Üst seviyeli ya da alt seviyeli kuruluşlar, ilgili sınıflandırmaya göre sorumluluk almak durumunda kalmıştır. Seveso II Direktifi'nde, kuruluşların güvenlik yönetim sistemleri ve bütün işletmeyi ve proseslerini kapsayan büyük kaza önleme politikasına odaklanmaları beklenmektedir. Seveso II Direktifi temel olarak aşağıdaki hususları hedef almaktadır:

- Tehlikeli maddeler içeren büyük kazaların önlenmesi
- Kazaların insan sağlığına ve çevreye olan etkilerinin sınırlanması

Ayrıca, kamuoyu bilgilendirmesi de önemli bir faaliyet olarak tanımlanmaktadır. Güvenlik raporları ve acil durum planlarının belirli zamanlarda revize edilmesi, arazi planlaması ve işletme içi denetimler yine bu direktifin öngördüğü hususlardır [13].

Seveso II Direktifi, yürürlükte olduğu süreçte, büyük endüstriyel kazaların yaşanmasının önlenmesinde önemli rol almıştır. Ancak, özellikle "Maddelerin ve Karışımların Sınıflandırılması, Etiketlenmesi ve Ambalajlanması Yönetmeliği (Classification, Labelling and Packaging of substances and mixtures – CLP Regulation)" yürürlüğe alınınca, direktifin güncellenmesi ihtiyacı doğmuştur. Seveso II Direktifi, kuruluşta bulunan kimyasal maddelerin ve karışımların yeni sınıflandırılma, etiketlenme ve ambalajlanma biçimlerini kapsayacak şekilde revize edilmiştir. Seveso III (2012/18/EU) Direktifi, 1 Ocak 2016 itibariyle Seveso II Direktifi'nin yerini almak üzere yayınlanmıştır. Bu yeni mevzuatla birlikte, tanımlamalar daha açık, anlaşılabilir ve net olarak ortaya koyulmuştur. Bunun yanı sıra, denetimler sıkılaştırılmış, kamunun ilgilendiği konular hakkında bilgilendirilmesi ve bu konularla ilgili politika oluşturma süreçlerine katılımının artırılması ve adalet hakkına erişiminin kolaylaştırılması hedeflenmiştir.

Seveso III Direktifi'ne göre, kuruluşların bünyesinde bulundurdukları göre sınıflandırılması, direktif Ek-1'e göre gerçekleştirilmektedir. Kuruluşların sorumlulukları ilgili risk seviyelerine göre tanımlanmaktadır. Alt seviyeli kuruluşlar, 2'nci ve 3'üncü sütunların 1'inci veya 2'nci bölümünde yer alan sınır değerler arasında tehlikeli kimyasal madde bulunduran kuruluşlar iken, Üst seviyeli

kuruluşlar sınır değere eşit veya daha yüksek miktarda tehlikeli kimyasal madde bulunduran kuruluşlardır [14, 15].

Ülkemizde yürürlükte olan mevzuat, en son 2019 tarihli olan, Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik'tir. Türkiye, Aralık 2013'te AB uyum süreci kapsamında Seveso II Direktifi'ni temel alan "Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkındaki Yönetmelik" ile Büyük Endüstriyel Kaza Risklerinin Azaltılması (BEKRA) Mevzuatını uygulamaya koymuştur. Bu yönetmelik, Türkiye'de BEKRA Mevzuatı olarak bilinmektedir ve işletmecilere, kamu kurumlarına ve yerel idarelere farklı sorumluluklar getirmiştir.

2.2 Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik

Türkiye'de Seveso II Direktifi'ne uyum sağlama süreci için, Türkiye'de "Seveso II Direktifi'nin Uyumlaştırılması Projesi" hayata geçirilmiştir. Bu proje, 2004-2006 yılları arasında yürütülmüş olup, Katılım Öncesi Yardım Aracı (IPA) desteğiyle gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda eğitimler düzenlenmiş, taraflara bilgilendirme sağlanmıştır. "Büyük Endüstriyel Kazaların Kontrolü Hakkında Yönetmelik" 18 Ağustos 2010 tarihli ve 27676 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak, yürürlüğe girmesi, bu projenin en büyük çıktısıdır. Bu mevzuatın yürürlüğe alınmasıyla, merkezi düzeyde bakanlıklar, yerel düzeyde valilikler, belediyeler ve bu mevzuata tabi olan kuruluşlar için yeni sorumluluklar doğmuştur. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı yürütücü olarak sorumludur. Mevzuatın gerektirdiği şartların uygulanmasında, yerel düzeydeki sorumlular için de eğitimlerin düzenlenmesi ihtiyacı hasıl olmuştur. "Seveso II Direktifi'nin Uygulama Kapasitesinin Artırılması için Teknik Yardım Projesi" IPA desteğiyle bu nedenle hayata geçirilmiştir. 16 Kasım 2012 tarihinde başlatılan projeye, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Merkez ve Taşra Teşkilatı, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, belediyeler, sanayi odaları ve sivil toplum kuruluşlarından temsilciler katılım göstermiştir. Proje kapsamında eğitimler verilmiş, pilot işletmelerde çalışmalar gerçekleştirilmiş, çalışma alanı gezileri ve Seveso Bildirim Sistemi'nin bakımı yapılmış ve nihayetinde halkı bilgilendirmek amacıyla tanıtım materyalleri hazırlanmıştır. Proje, 2014 yılında sona ermiştir [4].

11 Aralık 2013 tarihinde, AB'nin CLP Tüzüğü'nü BEKRA mevzuatıyla uyumlaştırma adına "Maddelerin ve Karışımların Sınıflandırılması, Etiketlenmesi ve Ambalajlanması Hakkında Yönetmelik", Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Sonrasında, mevcut yasal düzenlemelerin Seveso II Direktifi'ne uyumlu bir hale getirilmesi amacıyla "Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı ile müşterek şekilde oluşturlan bir komisyon tarafından hazırlanmış ve 30 Aralık 2013 tarihinde 28867 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Mevzuatın en son hali 2 Mart 2019 tarihinde 30702 mükerrer sayılı Resmi Gazete'de yayımlanmış ve bu versiyonuyla mevzuatın Seveso III Direktifi'ne uyumlaştırılması amaçlanmıştır. Yürütülmesinden, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ve İçişleri Bakanlığı müştereken sorumludur [6].

Yönetmelik, Seveso III Direktifi gibi, tehlikeli maddeler içeren tesislerde büyük endüstriyel kazaların önceden önlenmesi ve bu kazaların olası etkilerinin insanlar ve çevre üzerindeki zararlarının en aza indirilmesi amacıyla, etkili ve sürekli korumayı sağlamak için alınması gereken önlemleri ve bu önlemlerin nasıl uygulanacağına dair yöntemleri belirler. Yönetmelik, Ek-1'in Bölüm 1 ve Bölüm 2'sinde belirtilen belirli sınır değerlerin üzerinde tehlikeli maddeler bulunduran veya bu tür maddelerin oluşma potansiyeli olan tesislere yöneliktir. Ayrıca, endüstriyel kimyasal proseslerde kontrol kaybı durumunda bu tür maddelerin serbest kalması beklenen her türlü alt ve üst seviyeli kuruluşlar bu düzenlemeler kapsamındadır. Türkiye'de uygulanan yönetmeliğin kapsadığı sektörler Seveso Direktifi'nde yer alan sektörler ve kuruluşlar için tanımlanan sorumluluklar oldukça benzerdir [6,16].

2.2.1 İşletmecilerin Yükümlülükleri

İşletmeciler genel olarak, aşağıdaki şartların sağlanmasından ve sürdürülmesinden yükümlüdür [5]:

- Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik kapsamında, tüm işletmecileri, büyük kazaları önlemek ve büyük bir kazanın meydana gelmesi durumunda, bunların etkilerini insana ve çevreye en az zarar verecek şekilde sınırlamak için

güvenlik yönetim sistemi ile ilgili asgari olarak Yönetmelik Ek-3'te ve ilgili mevzuatta belirtilen yükümlülüklere ilişkin gerekli tüm tedbirleri almakla yükümlüdür.

- İşletmeci, büyük endüstriyel bir kaza olasılığına karşı, kuruluşta bulunan ve büyük kaza senaryo dokümanındaki senaryolara dahil olan her bir tehlikeli madde için müdahale yöntemleri ve koruyucu donanım bilgilerini içeren yönetmelikte belirtilen formatta bir kart hazırlar ve ilgili idarelere ulaştırır.

Kuruluşların seviyelerine göre sorumlulukları [5], Tablo 2.1'de özetlenmiştir

Tablo 2.1 Kuruluş sorumlulukları

Alt Seviyeli Kuruluşlar	**Üst Seviyeli Kuruluşlar**
Bildirim yapmak	Bildirim yapmak
Büyük Kaza Senaryo Dokümanı'nı hazırlamak	Büyük Kaza Senaryo Dokümanı'nı hazırlamak
Büyük Kaza Önleme Politika (BKÖP) belgesini hazırlamak	Güvenlik raporu hazırlamak
Güvenlik Yönetim Sistemi (GYS) kurmak	Güvenlik Yönetim Sistemi (GYS) kurmak
Kamuyu bilgilendirmek	Kamuyu bilgilendirmek
Kaza sonrası bilgi sağlamak	Kaza sonrası bilgi sağlamak
Tehlikeli Madde Müdahale Kartı hazırlamak	Tehlikeli Madde Müdahale Kartı hazırlamak
	Dâhili Acil Durum Planı'nı hazırlamak

Büyük kaza senaryo dokümanı, Yönetmeliğin beşinci maddesindeki tehlikeli madde tanımına uygun şekilde, tehlikeli maddelerin belirlenmesi ve sınıflandırılması sürecinden sonra hazırlanır. Bu hazırlık aşamasında, bilimsel literatürde yer alan metotlardan bir veya birkaçının kullanılmasıyla yönetmelik kapsamında yer alan ilgili tebliğde belirtilen kriterlere uyulur ve aşağıdaki adımlar takip edilir [5]:

a) Tehlikeli ekipmanların belirlenmesi.

b) Belirlenen tehlikeli ekipmanlar üzerinden dahili tehlikelerin tanımlanması.

c) Tehlikeli ekipmanlara etki edebilecek tesis dışından kaynaklanabilecek harici tehlikelerin tanımlanması.

ç) Yönetmeliğin 9uncu maddesinde yer alan büyük endüstriyel kaza frekansı değeri ile karşılaştırma yapmaya elverişli sonuçlar üretebilen yöntemler ile tehlikeli ekipmanlar üzerinden büyük kaza senaryolarının oluşturulması.

Büyük endüstriyel kaza senaryolarının tanımlanmasında en önemli adım, risklerin tanımlanması ve değerlendirilmesidir. Kuruluşlar risk değerlendirme ile yükümlüdür. Yönetmelik gereği, mevcut tehlikeler ve önlemler tanımlandıktan sonra gerçekleştirilen risk değerlendirme ile, gerekli ise tekrar ek önlemler tanımlanmalı ve kuruluşta büyük endüstriyel kaza frekansının $1x10^{-4}$/yıl veya daha az olması gerekmektedir. Büyük endüstriyel kaza frekansı; büyük kaza senaryo dokümanında senaryo edilen her bir büyük endüstriyel kazanın meydana gelme frekans seviyesini ifade etmektedir [5].

Genel olarak kimyasal tesis değerlendirme sürecinde aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurulmakta, çalışmalar bu bilgiler ışığında gerçekleştirilmektedir [17]:

- Kimyasalla ilgili özellikler
- Reaktivite bilgisi
- Proses koşulları
- Ekipman parametreleri
- Tesis ve tesis düzeni
- Prosedürler ve politikalar

3
YÖNTEMLER

3.1 Tehlikelerin Belirlenmesi

Ülkemizde uygulanan yönetmeliğe göre, risk, tehlikeden kaynaklanacak kayıp, yaralanma, çevre kirliliği ya da başka zararlı sonuçların meydana gelme ihtimalini ifade etmektedir [6]. Risk yönetimi ise, şirket politikaları, yönetim sistemi, risk ve tehlike analizleri gibi araçların kullanılarak, çevredeki canlılar ve diğer öğeler için riskin ve etkilerinin azaltılması için yapılan çalışmalar bütünüdür.

Risk analizi, objektif tekniklerle tehlikenin meydana gelmesi durumunda oluşacak sonuçlar ve frekanslara ilgili bilgi sahibi olunmasını sağlar. Risk değerlendirme ise, mevcut tehlikelerin belirlenmesiyle, bu tehlikelerin riske dönüşmesine neden olan faktörlerin ve risklerin etkilerinin analiz edilerek derecelendirilmesi ve kontrol tedbirlerinin oluşturulması amacıyla gerçekleştirilen çalışmalar bütünüdür.

BEKRA kapsamında, tehlikeli malzemeler/kimyasallar belirlenirken, Tablo 3.1'de gösterilen, Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik Ek-1 Bölüm 1'de verilmiş olan kategorizasyon tablosu kullanılır. Kuruluşlar, bu kimyasalları bulundurma miktarlarına göre değerlendirilmektedir [6, 14].

Tablo 3.1 Tehlikeli maddelerin zararlılık kategorileri

Sütun 1	**Sütun 2**	**Sütun 3**
11/12/2013 tarihli ve 28848 mükerrer sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Maddelerin ve Karışımların sınıflandırılması, Etiketlenmesi ve Ambalajlanması Hakkında Yönetmelik uyarınca Zararlılık Kategorileri	Tehlikeli maddelerin niteleyici miktarı (ton)	
	Alt Seviye	Üst Seviye
Başlık 'H' – SAĞLIĞA İLİŞKİN ZARARLAR		
H1 AKUT TOKSİK Kategori 1, tüm maruziyet yolları	5	20
H2 AKUT TOKSİK - Kategori 2, tüm maruziyet yolları veya	50	200

Tablo 3.1 Tehlikeli maddelerin zararlılık kategorileri (Devamı)

Sütun 1	**Sütun 2**	**Sütun 3**
11/12/2013 tarihli ve 28848 mükerrer sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Maddelerin ve Karışımların sınıflandırılması, Etiketlenmesi ve Ambalajlanması Hakkında Yönetmelik uyarınca Zararlılık Kategorileri	Tehlikeli maddelerin niteleyici miktarı (ton)	
	Alt Seviye	Üst Seviye
H3 BELİRLİ HEDEF ORGAN TOKSİSİTESİ – TEK MARUZ KALMA (BHOT-Tek Mrz.1) Kategori 1	50	200
Başlık 'P' – FİZİKSEL ZARARLAR		

Tablo 3.1 Tehlikeli maddelerin zararlılık kategorileri (Devamı)

Sütun 1	**Sütun 2**	**Sütun 3**
11/12/2013 tarihli ve 28848 mükerrer sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Maddelerin ve Karışımların sınıflandırılması, Etiketlenmesi ve Ambalajlanması Hakkında Yönetmelik uyarınca Zararlılık Kategorileri	Tehlikeli maddelerin niteleyici miktarı (ton)	
	Alt Seviye	Üst Seviye
P1a PATLAYICILAR - Kararsız patlayıcılar veya Patlayıcılar, UN ADR Kısım 1.1, 1.2, 1.3, 1.5 veya 1.6, veya - 11.12.2013 tarihli 28848 ikinci mükerrer sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Maddelerin ve Karışımların Fiziko-Kimyasal, Toksikolojik ve Ekotoksikoljik Özelliklerinin Belirlenmesinde Uygulanacak Test Yöntemleri Hakkında Yönetmelikte yer alan A.14 metoduna göre patlayıcı özellikleri olan ve Organik Peroksitler veya Kendiliğinden Tepkimeye Giren Maddeler ve Karışımlar zararlılık sınıflarına ait olmayan madde veya karışımlar	10	50
P1b PATLAYICILAR Patlayıcılar, UN ADR Kısım 1.4	50	200

Tablo 3.1 Tehlikeli maddelerin zararlılık kategorileri (Devamı)

Sütun 1	**Sütun 2**	**Sütun 3**
11/12/2013 tarihli ve 28848 mükerrer sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Maddelerin ve Karışımların sınıflandırılması, Etiketlenmesi ve Ambalajlanması Hakkında Yönetmelik uyarınca Zararlılık Kategorileri	Tehlikeli maddelerin niteleyici miktarı (ton)	
	Alt Seviye	Üst Seviye
P2 ALEVLENİR GAZLAR Alevlenir gazlar Kategori 1 veya 2	10	50
P3a ALEVLENİR AEROSOLLER Alevlenir aerosoller Kategori 1 veya 2: Alevlenir gazlar Kategori 1 veya 2 veya alevlenir sıvılar Kategori 1'i içeren	150 (net)	500 (net)

Tablo 3.1 Tehlikeli maddelerin zararlılık kategorileri (Devamı)

Sütun 1	Sütun 2	Sütun 3
11/12/2013 tarihli ve 28848 mükerrer sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Maddelerin ve Karışımların sınıflandırılması, Etiketlenmesi ve Ambalajlanması Hakkında Yönetmelik uyarınca Zararlılık Kategorileri	Tehlikeli maddelerin niteleyici miktarı (ton)	
	Alt Seviye	Üst Seviye
P3b ALEVLENİR AEROSOLLER Alevlenir aerosoller Kategori 1 veya 2: Alevlenir gazlar Kategori 1 veya 2'yi ya da alevlenir sıvılar Kategori 1'i içermeyen	5 000 (net)	50 000 (net)
P4 OKSİTLEYİCİ GAZLAR Oksitleyici gazlar Kategori 1	50	200

Tablo 3.1 Tehlikeli maddelerin zararlılık kategorileri (Devamı)

Sütun 1	**Sütun 2**	**Sütun 3**
11/12/2013 tarihli ve 28848 mükerrer sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Maddelerin ve Karışımların sınıflandırılması, Etiketlenmesi ve Ambalajlanması Hakkında Yönetmelik uyarınca Zararlılık Kategorileri	Tehlikeli maddelerin niteleyici miktarı (ton)	
	Alt Seviye	Üst Seviye
P5a ALEVLENİR SIVILAR - Alevlenir sıvılar Kategori 1, veya - Kaynama noktalarının üzerinde tutulan alevlenir sıvılar Kategori 2 veya 3, veya - Parlama noktası ≤ 60 °C olan ve kaynama noktalarının üzerinde tutulan diğer sıvılar	10	50

Tablo 3.1 Tehlikeli maddelerin zararlılık kategorileri (Devamı)

Sütun 1	**Sütun 2**	**Sütun 3**
11/12/2013 tarihli ve 28848 mükerrer sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Maddelerin ve Karışımların sınıflandırılması, Etiketlenmesi ve Ambalajlanması Hakkında Yönetmelik uyarınca Zararlılık Kategorileri	Tehlikeli maddelerin niteleyici miktarı (ton)	
	Alt Seviye	Üst Seviye
P5b ALEVLENİR SIVILAR - Yüksek basınç veya yüksek sıcaklık gibi, büyük kaza tehlikesi oluşturabilecek özel proses koşullarındaki alevlenir sıvılar Kategori 2 veya 3, veya - Yüksek basınç veya yüksek sıcaklık gibi, büyük kaza tehlikesi oluşturabilecek özel proses koşullarındaki ve parlama noktası ≤ 60 °C olan diğer sıvılar	50	200

Tablo 3.1 Tehlikeli maddelerin zararlılık kategorileri (Devamı)

Sütun 1	**Sütun 2**	**Sütun 3**
11/12/2013 tarihli ve 28848 mükerrer sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Maddelerin ve Karışımların sınıflandırılması, Etiketlenmesi ve Ambalajlanması Hakkında Yönetmelik uyarınca Zararlılık Kategorileri	Tehlikeli maddelerin niteleyici miktarı (ton)	
	Alt Seviye	Üst Seviye
P5c ALEVLENİR SIVILAR P5a ve P5b kapsamına girmeyen alevlenir sıvılar Kategori 2 veya 3	5 000	50 000
P6a KENDİNDEN REAKTİF MADDELER ve KARIŞIMLAR ile ORGANİK PEROKSİTLER Kendinden reaktif maddeler ve karışımlar Tip A veya B veya Organik peroksitler Tip A veya B	10	50

Tablo 3.1 Tehlikeli maddelerin zararlılık kategorileri (Devamı)

Sütun 1	**Sütun 2**	**Sütun 3**
11/12/2013 tarihli ve 28848 mükerrer sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Maddelerin ve Karışımların sınıflandırılması, Etiketlenmesi ve Ambalajlanması Hakkında Yönetmelik uyarınca Zararlılık Kategorileri	Tehlikeli maddelerin niteleyici miktarı (ton)	
	Alt Seviye	Üst Seviye
P6b KENDİNDEN REAKTİF MADDELER ve KARIŞIMLAR ile ORGANİK PEROKSİTLER Kendinden reaktif maddeler ve karışımlar Tip C, D, E veya F veya Organik peroksitler Tip C, D, E veya F	50	200
P7 PİROFORİK SIVILAR VE KATILAR Piroforik sıvılar Kategori 1 veya Piroforik katılar Kategori 1	50	200

Tablo 3.1 Tehlikeli maddelerin zararlılık kategorileri (Devamı)

Sütun 1	**Sütun 2**	**Sütun 3**
11/12/2013 tarihli ve 28848 mükerrer sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Maddelerin ve Karışımların sınıflandırılması, Etiketlenmesi ve Ambalajlanması Hakkında Yönetmelik uyarınca Zararlılık Kategorileri	Tehlikeli maddelerin niteleyici miktarı (ton)	
	Alt Seviye	Üst Seviye
P8 OKSİTLEYİCİ SIVILAR VE KATILAR Oksitleyici sıvılar Kategori 1, 2 veya 3, veya Oksitleyici katılar Kategori 1, 2 veya 3	50	200
Başlık 'E' – ÇEVRESEL ZARARLAR		
E1 Sucul ortam için zararlı Kategori Akut 1 veya Kronik 1	100	200
E2 Sucul ortam için zararlı Kategori Kronik 2	200	500

Tablo 3.1 Tehlikeli maddelerin zararlılık kategorileri (Devamı)

Sütun 1	**Sütun 2**	**Sütun 3**
11/12/2013 tarihli ve 28848 mükerrer sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Maddelerin ve Karışımların sınıflandırılması, Etiketlenmesi ve Ambalajlanması Hakkında Yönetmelik uyarınca Zararlılık Kategorileri	Tehlikeli maddelerin niteleyici miktarı (ton)	
	Alt Seviye	Üst Seviye
Başlık 'O' – DİĞER ZARARLAR		
O1 Zararlılık ifadesi EUH014 olan madde veya karışımlar	100	500
O2 Su ile temas ettiğinde alevlenir gazlar çıkaran madde ve karışımlar, Kategori 1	100	500
O3 Zararlılık İfadesi EUH029 olan madde veya karışımlar	50	200

Kritik ekipmanlar belirlenirken, içerdiği tehlikeli maddeler göz önünde bulundurulmalıdır. Kritik ekipman, arızalandığında tehlikeli ekipmanda büyük bir endüstriyel kazanın meydana gelmesine veya bu kazanın etkisinin artmasına neden olabilecek, önleme, tespit, kontrol ve azaltma gibi işlevleri yerine getiren cihaz, sistem, kontrol elemanı veya ekipmanı ifade eder. Tehlikeli ekipman ise, içerdiği tehlikeli maddenin türü, miktarı, proses koşulları ve tesis içindeki konumu nedeniyle büyük bir endüstriyel kazaya yol açma veya bu kazanın etkisini artırma potansiyeline sahip olan ekipmandır [5]. En büyük tehlike senaryosunu verecek olan ekipman seçimi ARAMIS Vade Mecum Yöntemi, Dow Yangın ve Patlama İndeksi (FEI), ICI MOND İndeksi kullanılarak en büyük tehlike senaryosuna neden olacak ekipmanlar belirlenebilir. Tüm metodolojilerde amaç, risk değerinde azaltıma gidilmesi gereken tehlikelerin tanımlanması ve ekipmanın riskinin güvenli bölgede kalmasını sağlayacak çalışmanın yürütülmesinin sağlanmasıdır.

3.1.1 ARAMIS Vade Mecum

Bu yöntem, daha önce Belçika Walloon Kasabasında kullanılmış olan "VADE MECUM" metodolojisini temel alarak oluşturulmuştur. Elde edilen veriler kullanılarak, tehlikeli kimyasal maddelerin sınıflarının belirlenmesinde, bir veya birden fazla risk faktörü oluşturan tehlikeli ürünler için bir liste hazırlanmalıdır. Tehlikeli maddelerin listesi, risk ifadeleri ile birlikte Tablo 3.2'de sunulmuştur. Bir ekipman veya malzemenin içeriğindeki tehlikeli madde kütlesel olarak eşik değerine eşit veya bu değerden büyükse, bu tehlike önleyici maddenin bulunduğu her ekipman veya malzeme makul bir tehlike içeren ekipman olarak seçilmelidir [18, 19].

Değerlendirilen tehlikeli maddeleri bulunduran ekipman envanteri ve bu maddelerin ekipman içindeki fiziksel durumlarını içeren bir liste oluşturulmalıdır. Sonrasında, ekipmanlar, türlerine göre sınıflandırılmalıdır. Ekipmanların türlerine göre listesi, Tablo 3.3'te tanımlanmıştır [18].

Tablo 3.2 Tehlikeli maddelerin sınıflandırılması

Kategori	Risk İfadeleri
Çok toksik	R26, R100
Toksik	R23, R101
Oksitleyici	R7, R8, R9
Patlayıcı	R1, R2, R3, R4, R5, R6, R16, R19, R44, R102
Alevlenebilir	R10, R18
Kolay alevlenebilir	R10, R11, R17, R30
Çok kolay alevlenebilir	R10, R11, R12
Suyla şiddetli reaksiyona giren	R14, R15, R29, R14/15, R15/29
Başka bir maddeyle şiddetli reaksiyona giren	R103, R104, R105, R106
Çevre için tehlikeli (su ortamları için)	R50, R51
Çevre için tehlikeli (su ortamları dışındaki ortamlar için)	R54, R55, R56, R57, R59

Tablo 3.3 Tehlikeli ekipmanların sınıflandırılması

Kodu	Ekipman Tipi
EQ1	Yığın olarak katı halde depolama
EQ2	Küçük paketler halinde katı olarak depolama
EQ3	Küçük paketler halinde sıvı olarak depolama
EQ4	Basınç altında depolama
EQ5	Yalıtılmış halde depolama
EQ6	Atmosferik basınçta depolama
EQ7	Kriyojenik olarak depolama
EQ8	Basınçlı Taşıma (iletim) Ekipmanı/Aracı

Tablo 3.3 Tehlikeli Ekipmanların Sınıflandırılması (Devamı)

Kodu	Ekipman Tipi
EQ9	Atmosferik Taşıma (iletim) Ekipmanı/Aracı
EQ10	Boru İletim Ağı
EQ11	Prosese dâhil edilmiş ara depolama ekipmanı
EQ12	Maddelerin fiziksel veya kimyasal olarak ayrışması için kullanılan ekipmanlar
EQ13	Kimyasal reaksiyonlar içeren ekipmanlar
EQ14	Enerji üretimi ve ısı değişiminde kullanılan ekipmanlar
EQ15	Paketleme ekipmanları
EQ16	Diğer ekipmanlar

Seçim sürecinin sonunda, aşağıdaki bilgileri içeren bir sonuç tablosu elde edilir:

- Ekipmanın referans numarası
- Ekipman adı
- Ekipman tipi
- İçinde bulundurduğu madde
- İlgili ekipmandaki maddenin fiziksel durumu
- Maddenin Kaynama noktası (^oC)
- Atmosferik basınç altında çalışma sıcaklığı (^oC)
- Risk açıklamaları
- Tehlike sınıfı/grubu
- Hacim bilgisi (m^3)
- Ekipmanın bulundurduğu toplam madde miktarı(kg) veya boru gibi akışkan bulunduranlarda 10 dakikalık toplam madde miktarı (kg)

ARAMIS VADE Mecum yönteminde oluşturulan tabloya uygulanacak diğer hesaplamalarda şu bilgiler de dikkate alınır:

- M_a, (kg biriminde) – Referans kütle
- Katsayı – S_1
- Katsayı – S_2
- Katsayı – S
- M_b (kg)
- $M>M_b$ durumuna göre ekipmanın belirlenip belirlenmediği

Ekipman henüz tehlikeli olarak seçilmediyse ve içerdiği maddeler sadece domino etkisi yaratabilecek maddeler ise, aşağıdaki bilgiler de eklenir:

- $M>M_b$ durumuna göre belirlenmiş olan en yakın ekipman bilgisi
- Bu ekipmana olan uzaklık
- Katsayı – S_3
- M_c (kg)
- $M>M_c$ durumuna göre ekipmanın belirlenip belirlenmediği

Belirlenen adımlar, kütlesel eşik değerinin tehlike içeren ekipman için hesaplanmasında uyulmasını gerektirir. Final çizelgenin hazırlanmasında referans görevi görür.

M_a (kg) (Referans alınabilecek kütle) belirlenmesi [18]

Prosesteki maddenin özellikleri için referans alınabilecek kütle M_a (kg) belirlenmesinde Tablo 3.4 kullanılmaktadır [18,11].

Tablo 3.4 Referans alınan kütleler

Maddenin Özellikleri	**Referans Alınan Kütle Ma (kg)**		
	Katı	**Sıvı**	**Gaz**
Çok toksik	10000	1000	100
Toksik	100000	10000	1000
Oksitleyici	10000	10000	10000
Patlayıcı (Seveso II Direktifi Ek 1 Tanım 2a)	10000	10000	-
Patlayıcı (Seveso II Direktifi Ek 1 Tanım 2b)	1000	1000	-
Alevlenebilir	-	10000	-
Kolay alevlenebilir	-	10000	-
Çok kolay alevlenebilir	-	10000	1000
Çevre için zararlı	100000	10000	1000
R14, R14/15, R29 risk ibareleri kombinasyonlarında yukarıda verilen özellikler tarafından kapsanmayan sınıflandırma	10000	10000	-

Buharlaşma ihtimaline göre sıvının referans kütlesinin belirlenmesi (sıvı kimyasal ürünler için) [18]

Maddenin özellikleri için referans alınabilecek kütle M_a belirlendikten sonra, aşağıda detayı verilen S katsayısı ile bölünerek elde edilen değer M_b referans kütlesi elde edilir.

$$M_b=M_a/S \tag{3.1}$$

M kütle değerinin, M_b referans kütle değerinden büyük ise, ekipman, tehlikeli ekipman olarak nitelendirilir.

S_1 ve S_2 katsayılarının toplamı S katsayısı değerini verir. 0,1 ile 10 arasında yer almalıdır.

$$S= S_1+ S_2 \tag{3.2}$$

$$0{,}1 \leq S \leq 10$$

Eğer; S<0,1 ise S=0,1;

Eğer; S>10 ise S=10 olarak alınır.

$$S_1=10^{(Tp-Teb)/100} \tag{3.3}$$

T_p (ºC) çalışma sıcaklık değerini, T_{eb} atmosfer basıncı altında bulunan kaynama noktası değerini ifade etmektedir.

Sadece 0 ºC'den daha küçük sıcaklıkta gerçekleşen proseslerde aşağıdaki denklem uygulanır.

$$S_2= (T_p/-50) \tag{3.4}$$

Domino etkisi sonucunda tehlike oluşmasında referans ağırlık değerinin belirlenmesi

M değerinin M_b değerinden az olması nedeniyle tehlikeli olarak belirlenmeyen ekipmanlarda domino etkisi araştırılmalıdır.

Yanıcı ya da parlayıcı kimyasal içeren ekipman riskli ekipman olarak tanımlanmalıdır.

Riskli olarak tanımlanan bir ekipmana 50 metre ya da daha az bir mesafede bulunan, M değeri M_b değerinden az olan ekipmanlar riskli olarak tanımlanır.

Ekipmanın bulundurduğu tehlikeli madde ağırlığı referans M_c ağırlığından daha fazla ise, bu madde riskli olarak değerlendirilmelidir.

$$M_c=M_b.S_3 \quad (3.5)$$

$$0,1\leq S_3\leq 10 \quad (3.6)$$

$$S_3=(0,02D)^3 \quad (3.7)$$

D, iki ekipman arasındaki mesafeyi metre cinsinden belirtmektedir.

Eğer;

$S_3<0,1$ ise $S_3=0,1$;

$S_3>10$ ise $S_3=1$

olarak alınır.

Bu adımların uygulanmasından sonra, eşik değerine eşit ya da büyük olduğu tespit edilen ekipman, Büyük Kaza Ekipmanı olarak belirlenecektir. Bu şekilde nitelendirilen ekipmanın risk değerlendirilmesi yapılması gerekmektedir.

3.1.2 DOW Yangın ve Patlama İndeksi

Dow Yangın ve Patlama İndeksi (1994), Dow Kimya Şirketi tarafından geliştirilen bir sistemdir, proses güvenliği için yangın ve patlama risklerini değerlendirmeye yönelik sistemli bir yaklaşımdır. Bu yöntemle, bir proses biriminin ve içinde bulunan malzemelerin potansiyel yangın, patlama ve reaksiyon riski adım adım analiz edilip ölçülebilir. Değerlendirme ve miktar belirleme, önceki kaza istatistiklerine, malzemelerin özelliklerine ve mevcut koruma önlemlerine dayanmaktadır. Dow'un bu yöntemi doğrulanmış ve güvenilir olarak kabul edilmiş ve yaygın olarak önemli bir risk değerlendirme aracı olarak benimsenmiştir [9]. Dow Endeksi, yanıcı, yanıcı veya tepkimeye girebilen maddelerin depolandığı, taşındığı veya işlendiği proses endüstrilerinde uygulanan en yaygın kullanılan yöntemdir [20].

DOW Yangın ve Patlama İndeksi, Proses ekipmanları ve ekipmanlar içinde bulunan maddelerin:

• Yangın,

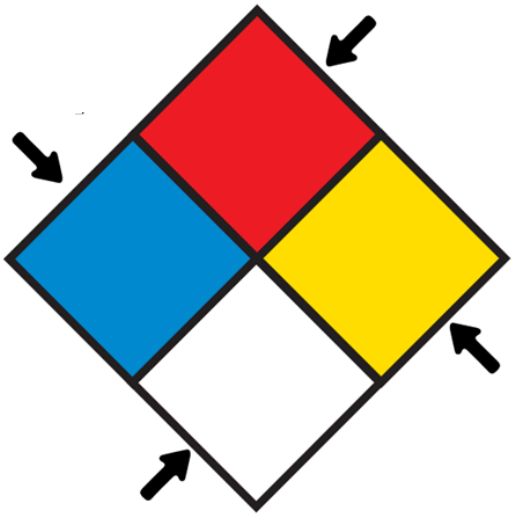
• Patlama,

• Reaktivite

özelliklerine göre adım adım değerlendirilmesi ve önceliklendirilmesi için kullanılır. Bu indeks hesaplanırken, NFPA 704 – Tehlike Belirleme Sistemi'ni kullanılmaktadır. [21]. Amerikan Millî Yangından Korunma Derneği (The National Fire Protection Association – NFPA) kimyasalların sağlık, yanıcı ve reaktif tehlikelerini göstermek için bir sistem geliştirmiştir. Tehlike Karosu ile gösterilen bu tehlikeler Şekil 3.1 ile verilmiştir [22].

SIHHİ TEHLİKE
4 ÖLÜMCÜL
3 ÇOK TEHLİKELİ
2 TEHLİKELİ
1 AZ TEHLİKELİ
0 NORMAL

ÖZEL TEHLİKE
OXY OKSİDAN
ACID ASİT
ALK ALKALİ
CORR AŞINDIRICI
☢ RADYOAKTİF
W SUYLA



YANICILIK
4 25 ^{O}C ALTINDA
3 37 ^{O}C ALTINDA
2 93 ^{O}C ALTINDA
1 93 ^{O}C ÜSTÜNDE
0 YANICI DEĞİL

TEPKİME
4 PATLAYABİLİR
3 ŞOK + ISI İLE PATLAYABİLİR
2 ŞİDDETLİ TEPKİME
1 ISINDIĞINDA KARARSIZ

Şekil 3.1 NFPA 704 Tehlike karosu ve açıklamaları

Tablo 3.5 ile de, Tehlike Karosu üzerinde yapılan sınıflandırmalara ait özet açıklamalara yer verilmiştir [22].

Tablo 3.5 NFPA 704 Tehlike belirleme sistemi sınıflandırma özeti

Sağlık – H (Mavi)		
4	Tehlike	Kısa süreli maruziyette ölümcül olabilir. Özel olarak dizayn edilmiş koruyucu ekipman gerektirir.
3	İkaz	Korozif veya toksik. Deri ile kontaktan veya solumaktan sakınılmalıdır.
2	İkaz	Eğer solunursa veya absorbe olunursa zararlı olabilir.
1	Uyarı	Tahriş edici olabilir.
0		Görülmüş bir tehlikesi yoktur.

Tablo 3.5 NFPA 704 Tehlike belirleme sistemi sınıflandırma özeti (Devamı)

Tutuşucu – F (Kırmızı)		
4	Tehlike	Tutuşucu gaz veya aşırı derece yanıcı sıvı Parlama noktası 23 °C'den düşük
3	İkaz	Parlama noktası 23 °C'den düşük ve kaynama noktası 37 °C'den yüksek veya parlama noktası 23°C ile 37°C olan yanıcı sıvı
2	Uyarı	Parlama noktası 38 °C ile 93 °C arasındaki yanıcı sıvı
1		Eğer ısıtılırsa kolay yanıcı
0		Kolay yanıcı değil

Tablo 3.5 NFPA 704 Tehlike belirleme sistemi sınıflandırma özeti (Devamı)

Tepkimeye Giren – R (Sarı)		
4	Tehlike	Oda sıcaklığında patlayıcı materyal.
3	Tehlike	Sarsıntı, kapalı durumda ısıtılması veya su ile karıştırılması halinde patlamaya neden olabilir.
2	İkaz	Dengesiz veya su ile karışması halinde şiddetli reaksiyon olabilir.
1	Uyarı	Isıtıldığı halde veya su ile karışım halinde şiddetli reaksiyon olmaz.
0	Dengeli	Su ile karıştığında reaktif değildir.

Özel Not Anahtarı – S/N (Beyaz)			
W	Su reaktifi	Alk	Alkali
Oxy	Yükseltgen	Cor	Korozif

Tesis güvenliği, Dow'un Yangın ve Patlama İndeksi Yöntemi kullanılarak değerlendirilir. Bu yönteme göre, her tesis önce üretim sürecine ve iş koşullarına dayalı olarak farklı süreç birimlerine ayrılmalıdır. Sonrasında, her bir proses birimi için Malzeme Faktörü (MF), Genel Proses Tehlikeleri Faktörü (F_1), Özel Proses Tehlikeleri (F_2), Proses Kontrol Kredi Faktörü (C_1), Malzeme İzolasyon Kredi Faktörü (C_2) ve Yangından Korunma Kredi Faktörü (C_3) gibi, işlediği malzemeye ve çalışma koşullarına bağlı olan faktörler hesaplanır [23]. Malzeme Faktörü (MF) belirlenirken kullanılan tablo, Ek-A'da verilmiştir [21]. Her faktör, altında birkaç alt öğe barındırır ve bu alt öğelerin değerlerine göre hesaplanır. Dow Yöntemi, her alt öğenin değerini belirlemek için ayrıntılı kriterlere sahiptir, böylece sonuçların sistematik ve amaca yönelik olduğundan emin olunur. Bu faktörlerle Proses Birimi Tehlikeleri Faktörü şu şekilde hesaplanabilir:

$$F=F_1 \times F_2 \tag{3.8}$$

Burada F Proses Birimi Tehlikeleri Faktörü, F_1 Genel Proses Tehlikeleri Faktörü, F_2 Özel Proses Tehlikeleri Faktörüdür. F_1 Genel Proses Tehlikeleri Faktörü Ek-A'da ve F_2 Özel Proses Tehlikeleri Faktörü Ek-B'de verilmiştir [24,25].

Proses Birimi Tehlike Faktörü, işletme koşulları ve proses teknolojisinin tehlike düzeyini gösterir. Proses Birimi Tehlikeleri Faktörü (F) 1 ile 8 arasında bir değer alır ve prosesin tehlike seviyesini yansıtır.

Yüksek sıcaklık, yüksek basınç ve bol miktarda yanıcı ve patlayıcı madde gibi faktörler, proses ünitesinin tehlike seviyesini artırabilirken, düşük sıcaklık, düşük basınç ve az miktarda yanıcı ve patlayıcı madde bu tehlike seviyesini belirgin şekilde azaltabilir. Yangın ve Patlama İndeksi aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$F\&EI=MF \times F \tag{3.9}$$

Burada F&EI Yangın ve Patlama İndeksi, MF ise Malzeme Faktörü'dür. Malzeme Faktörleri Ek-C'de verilmiştir [25]. F&EI, bir proses ünitesinin doğal güvenlik seviyesini ifade eder. Bu indeks ne kadar düşükse, o kadar güvenli olduğu anlamına gelir; bu da malzemenin ve çalışma koşullarının güvenli olduğunu gösterir. F&EI, koruyucu cihazlardan bağımsızdır. Malzeme Faktörü, Dow Yöntemi'nin en temel parametresidir ve yanma veya kimyasal reaksiyon sonucu oluşan yangın veya patlama potansiyel enerji salınım hızının içsel bir ölçüsüdür.

Kayıp Kontrol Kredi Faktörü aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$C=C_1 \times C_2 \times C_3 \quad (3.10)$$

Burada C, Kayıp Kontrol Kredi Faktörü'nü, C_1 Proses Kontrol Kredi Faktörünü, C_2 Malzeme İzolasyon Kredi Faktörünü ve C_3 Yangından Korunma Kredi Faktörünü temsil eder. Kayıp Kontrol Kredi Faktörü, önleme ve koruma cihazlarının seviyesini gösterir. Bu faktör ne kadar düşükse, bu proses ünitesinin önleme ve koruma cihazları o kadar iyidir. Ardından, gerekli durumlarda düzeltilmiş F&EI aşağıdaki gibi elde edilebilir:

$$\text{Düzeltilmiş F \& EI} = \text{F \& EI} \times C \quad (3.11)$$

Düzeltilmiş F&EI, proses ünitesinde mevcut olan gerçek tehlike seviyesini yansıtır [9].

DOW Yangın ve Patlama İndeksi'ne göre, büyük kazaların belirlenmesi ve değerlendirilmesi için aşağıda verilmiş olan Tablo 3.6 [25, 26] kullanılır.

Tablo 3.6 Büyük kazaların DOW Yangın ve Patlama İndeksi'ne göre derecelendirilmesi

DOW Yangın ve Patlama İndeksi	Derecesi
1-60	Düşük Risk
61-96	Düşük Orta Risk
97-127	Orta Risk
128-158	Yüksek Risk
159+	Katastrofik Risk – Büyük Risk

Bu tabloya göre, DOW Yangın ve Patlama İndeksinin derecesi düşük risk olmadığı takdirde, risk derecesinin düşürülmesi için çalışmalar yürütülür.

3.1.3 ICI MOND İndeksi

British Imperial Chemical Company'nin Mond Yangın, Patlama ve Toksisite İndeksi değerlendirme yöntemi, Dow Chemical Yangın ve Patlama İndeksi

değerlendirme yönteminden türetilmiştir. Değerlendirme daha kapsamlı, sistemli ve derinlemesine olduğundan, ICI Mond İndeksi özellikle kimya tesisleri yangını, patlama ve toksisite risk derecesi için uygun bir değerlendirme yöntemi olarak kabul edilmektedir. Mond İndeksinin değerlendirme süreci üç adımda gerçekleşir:

1. Değerlendirme birimlerinin bölünmesi;
2. Her birimin riskinin ilk değerlendirmesi
3. Her birimin riskinin nihai değerlendirmesi [10].

ICI Mond Toksikoloji İndeksi (T) aşağıdaki gibi hesaplanır [27]:

$$T= [T_h + T_s(1+F_1+F_2)]/100 \quad (3.12)$$

F_1 Genel Proses Tehlikeleri Faktörü, F_2 Özel Proses Tehlikeleri Faktörüdür. T_h, NFPA tehlike sınıflandırmasından elde edilen Toksisite Faktörüdür., T_s ise, izin verilen azami derişime bağlı ppm (MAC (TWA)) değerine göre düzeltme faktörüdür. Sıcaklık, basınç veya nem gibi çevresel faktörler kimyasal maddelerin toksisitesini veya maruziyet riskini etkileyebilir. T_s, bu tür değişkenleri hesaba katmak için kullanılan bir düzeltme faktörüdür.

Tablo 3.7 üzerinde NFPA sınıflandırması ve Toksisite Faktörü gösterilmiştir [27].

Tablo 3.7 NFPA Sağlık İndeksi & Toksisite Faktörü (T_h)

NFPA Sağlık İndeksi	**Toksisite Faktörü (T_h)**
0	0
1	50
2	125
3	250
4	325

Tablo 3.8 üzerinde MAC değeri için düzeltme faktörü bilgisi verilmiştir. [27].

Tablo 3.8 MAC değeri düzeltme faktörü (T_s)

MAC (TWA) ppm	**Düzeltme Faktörü (T_s)**
5 ve altı	125
5 – 50	75
50 ve üstü	50

Tablo 3.9 üzerinde, ICI MOND İndeksine göre riskin derecesi tanımlanmıştır [28].

Tablo 3.9 Büyük kazaların MOND İndeksi'ne göre derecelendirilmesi

MOND İndeksi	Derecesi
1-5	Düşük Risk
6-8	Düşük – Orta Risk
9-11	Orta Risk
12-19	Yüksek Risk
20+	Katastrofik Risk – Büyük Risk

3.2 Risk Değerlendirme Yöntemleri

3.2.1 Tehlike ve İşletebilirlik Analizi (HAZOP)

"Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi" metodunun kısaltması olan HAZOP, İngilizce "HAZard ve OPerability Analysis" kelimelerinden oluşur. Bu teknik, 1960'lı yıllarda İngiltere'de Imperial Chemical Industries Ltd (ICI) tarafından kimyasal ve

petrokimya tesislerinde hem mevcut tesislerde hem de yeni tasarımlarda kullanılmak üzere geliştirilmiştir [29].

Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi (HAZOP), yapılandırılmış ve sistemli bir teknik olup sistem incelemesi ve risk yönetimi için kullanılır. Özellikle, bir sistemin potansiyel tehlikelerini tanımlamak ve işlevsellik sorunlarını tespit etmek için sıklıkla kullanılır. HAZOP, risk olaylarının tasarım veya işletme hedeflerinden sapmaların kaynaklandığını varsayar. Bu tür sapmaların tanımlanması, sistemli bir liste olan "kılavuz kelime" dizilerinin kullanılmasıyla kolaylaştırılır. Bu yaklaşım, ekip üyelerinin potansiyel sapmaları keşfederken hayal gücünü kullanmalarına yardımcı olur ve HAZOP metodolojisinin öne çıkan bir özelliğidir [31].

Risk değerlendirme çalışmalarında, genellikle üç ana risk sorusu üzerine çalışmalar gerçekleştirilir. Üç ana risk sorusu şunlardır [32]:

1. Tehlike – Ne ters gidebilir?

2. Sonuçlar – Ne kadar kötü olabilir?

3. Olasılık – Ne sıklıkta olabilir?

HAZOP metodolojisinin tanımları aşağıdaki gibidir:

Tehlike – Potansiyel zarar kaynağı. Tasarımdan veya operasyonel amaçtan sapmalar tehlike oluşturabilir veya üretebilir. Tehlikeler HAZOP çalışmalarının odak noktasıdır ve tek bir tehlikenin potansiyel olarak birden fazla zarara yol açabileceği unutulmamalıdır.

Zarar – Fiziksel yaralanma veya insanların sağlığına verilen zarar veya mülke veya çevreye verilen zarar. Zarar, meydana gelen bir tehlikenin sonucudur ve birçok şekilde olabilir: hasta veya kullanıcı güvenliği, çalışan güvenliği, iş riskleri, düzenleyici riskler, çevresel riskler vb.

Risk – Zararın meydana gelme olasılığı ile bu zararın ciddiyetinin birleşimi. Dar anlamda, HAZOP çalışmalarında "risk" her zaman açıkça tanımlanmaz çünkü temel metodoloji, zararın olasılığının veya ciddiyetinin tanımlanmasını (derecelendirme olarak da anılır) gerektirmez. Ancak risk değerlendirme ekipleri, ihtiyaç halinde riskleri daha fazla ölçmek ve önceliklendirmek amacıyla bu faktörleri derecelendirmeyi seçebilir.

HAZOP çalışması, sırasıyla kapsam ve amacın belirlenmesi, ekip seçimi, bilgi toplama, süreç incelemesi ve nihai raporlama adımlarından oluşabilir. Bu süreci takip etmek için Şekil 3.2'de verilen akış şemasını kullanılabilir [33].

I. Tanımlama Aşaması

İlk adım kapsamı ve amacı belirlemektir. Kapsam, incelenecek düğüm (sürecin belirli alanı) seçimini ve dikkate alınacak tehlike sonuçlarını içerir. Amaç, süreçteki potansiyel tehlikeleri ve sapmaları tanımlamaktır. Bu adımın gereklerinden biri de, çalışmayı gerçekleştirmek için ekip seçimidir. Süreç açıklama ve sonuç belgeleri tek bir kişi tarafından hazırlanabilir, ancak çalışma bir ekip tarafından yürütülmelidir.

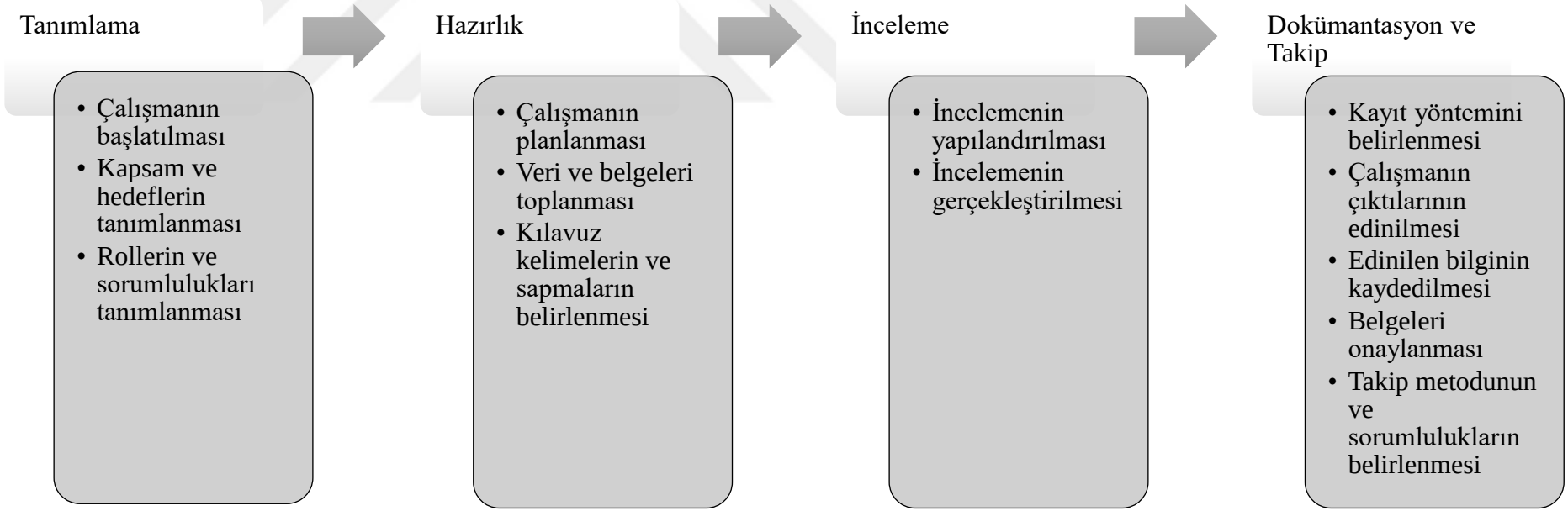
II. Hazırlık Aşaması

Hazırlık Aşaması genellikle aşağıdaki faaliyetleri içerir:

- Destekleyici veri ve bilgilerin belirlenmesi ve bulunması
- Proje yönetimi hazırlıkları (örneğin: toplantıların planlanması, işlemlerin yazıya geçirilmesi vb.)
- Çalışma çıktılarının kaydedilmesi için şablon formatı üzerinde fikir birliği
- Çalışma sırasında kullanılacak HAZOP kılavuz kelimeleri konusunda fikir birliği

HAZOP kılavuz kelimeleri, HAZOP analizinin yürütülmesinde temel destekleyici unsurlardır. IEC 61882 Standardı'na göre:

Tasarım hedeflerinden sapmaların tespiti, önceden belirlenmiş "kılavuz kelimeler" kullanılarak yapılan bir sorgulama süreci ile gerçekleştirilir. Kılavuz kelimenin amacı, yaratıcı düşünceyi teşvik etmek, çalışmaya odaklanmak ve fikirleri ile tartışmayı ön plana çıkarmaktır.



Şekil 3.2 HAZOP tekniği akış şeması

Risk değerlendirme ekipleri, kılavuz kelimelerin belirlenmesinden sorumludur. Kılavuz kelimeler, analiz için kapsam ve problem tanımına en uygun olacak şekilde seçilmelidir. Tablo 3.10'da örnek kılavuz kelimeler verilmiştir [29, 30].

Tablo 3.10 Kılavuz kelimeler

Kılavuz Kelimeler	Anlamı
Fazla	Kantitatif artış
Az	Kantitatif azalış
Hiç	Mevcut değil, elde edilemez
Ters	Öngörülen yönün aksine
Parçası	Sistemin bir bölümü olması gerekenden farklı
…kadar iyi (as well as)	Aynı derecede
…dan başka	Tamamen farklı
Erken	Öngörülen süreden önce
Geç	Öngörülen süreden sonra

Kılavuz kelimeler belirlendikten sonra, III. Aşama olan İnceleme Aşaması'na geçilebilir.

III. İnceleme Aşaması

İnceleme süreci, gözden geçirilecek olan sistemin veya sürecin tüm unsurlarının (bölümleri veya adımları) tanımlanmasıyla başlar. Örneğin:

- Fiziksel sistemler, gerektiğinde daha küçük bileşenlere bölünebilir.

- Süreçler, farklı adımlara veya aşamalara ayrılabilir.
- Değerlendirmeyi kolaylaştırmak için benzer bileşenler veya adımlar birleştirilebilir.

Daha sonra, kılavuz kelimeler her bir unsura uygulanır. Bu teknikte, ekip beyin fırtınası tekniğini uygular. Sistematik bir şekilde, sapmalar için kapsamlı bir araştırma gerçekleştirilmiş olur. Bilinmelidir ki, kılavuz kelimelerin ve unsurların tüm kombinasyonları, mantıklı ve güvenilir sapma senaryoları vermeyebilir. Kullanıcı tarafından tanımlanması beklenen, tüm koşullar (kullanım ve kötüye kullanım) tanımlanmalı ve bunların güvenilir olup olmadıkları ve daha ileri değerlendirmeye tabi tutulup tutulmaması gereklilikleri sorgulanmalıdır.

İnceleme aşamasını tanımlayan blok akış diyagramı Şekil 3.3'te verilmektedir.

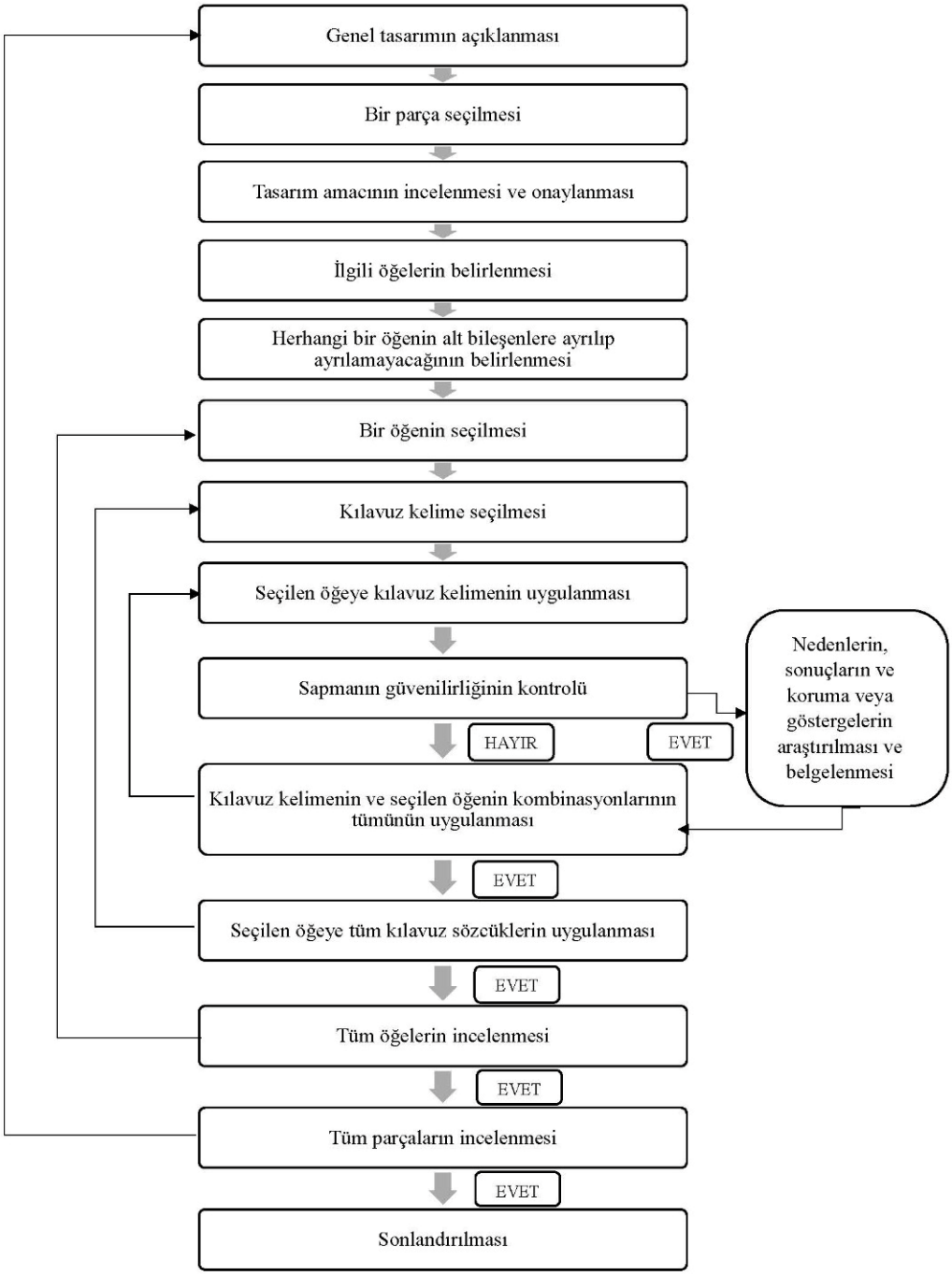
IV. Dokümantasyon ve Takip Aşaması

HAZOP analizlerinin dokümantasyonu için IEC 61882 Standardı üzerindeki şablonlar kullanılır. Risk değerlendirme ekipleri, aşağıdaki gibi faktörlere bağlı olarak şablonu gerektiği şekilde değiştirebilir

- Düzenleyici gereklilikleri
- Daha açık risk derecelendirmesi veya önceliklendirme ihtiyacı (örn: sapma olasılıkları, şiddetleri ve/veya tespit derecelendirmesi)
- Şirket dokümantasyon politikaları
- İzlenebilirlik veya denetime hazırlık için ihtiyaçlar
- Diğer faktörler

HAZOP çalışması yapılırken, kılavuz kelimeler şu hususlar üzerinde çalışılabilir; bireylerin hata faktörleri, operasyon çalışma koşullarının etkileri, ortam çalışma koşulları, ekipman durumları. Çalışılan her nokta için, "Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi" yani HAZOP çalışma kayıtları hazırlanır. Bu kayıtlarda kullanılan kılavuz (rehber) kelimeler, sapmalar, olası nedenler, olası sonuçlar belirlenmiş olan tehlike ve risklere yönelik aksiyonlar ve aksiyonun gerçekleşmesinin takibini gerçekleştirecek olan kişiler detaylıca belirtilir. Böylelikle çalışılan her öğenin tasarım ve işletme amacından "sapma durumuna" geçişi belirlenir.

HAZOP çalışması, gerçekleşebilecek her sapmanın olası nedenlerini, ekipman, proses ve işletme üzerindeki potansiyel sonuç ve etkilerini tanımlar ve bu sonuçları belirlemek, önlemek, iyileştirmek, düzelterek ortadan kaldırmak veya minimize



Şekil 3.3 İnceleme aşaması

etmek için yeterli ve gerekli yapı ve organizasyonun varlığını araştırarak teyit eder. Gerekli görüldüğü yerlerde, sapma ve etkilerinin olasılıklarına bağlı olarak farklı aksiyonların alınması gerekebilir, bu tarz belirlenen aksiyonlar, ilgili personelin daha sonra takip edebilmesi açısından, HAZOP çalışma kayıtlarına öneri olarak kaydedilir. HAZOP çalışması Kantitatif Risk Analizi çerçevesinde değerlendirmeye alınabilecek, çevreye ve insanlara zarar veren büyük endüstriyel kazalara yol açabilecek tasarım ve operasyon şartlarından sapmaların belirlenmesini sağlar.

Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi yürütülürken, Şekil 3.4'te verilmiş olan HAZOP Matrisi kullanılmaktadır [28, 34].

Şekil 3.4 HAZOP matrisi [28]

Kategori						Artan Olasılık (Oluşma Olasılığı)					
Şiddet Derecesi	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
						$<10^{-6}$	$>=10^{-6}$ ve $<10^{-4}$	$>=10^{-4}$ ve $<10^{-3}$	$>=10^{-3}$ ve $<10^{-1}$	$>=10^{-1}$ ve <1	1
	Can	Mal	Çevre	İtibar	Operasyonlar	Pratikte İnandırıcı Olmayan arıza	Nadir Arıza	İnandırıcı Arıza		Muhtemel Arıza	Yaygın (Sık Tekrarlayan) Arıza
						Meydana Gelebilir	Endüstride Nadiren Oluşmuş	Endüstride Oluşmuş	Organizasyonda veya Endüstride	İşletici Firmada/Tesis içinde Yılda	Tesiste Rutin Olarak Meydana Gelen
A	Yaralanma veya Sağlık Etkisi Yok	Hasar Yok	Etki Yok	Darbe Yok	Sıfır						
B	Hafif Yaralanma veya Sağlık Ekibi	Çok Az Hasar	Çok Az Etki	Çok Az Darbe	Dakikalar						
C	Ciddi Yaralanma veya Sağlık Etkisi	Minör Hasar	Minör Etki	Minör Darbe	Saatler						
D	Majör Yaralanma	Lokal Hasar	Lokal Etki	Önemli Darbe	Günler						
E	Tek Bir Ölüm	Majör Hasar	Majör Etki	Majör Milli Darbe	Haftalar						
F	Birden Fazla Ölüm	Şiddetli Hasar	Muazzam Etki	Majör Uluslararası Darbe	Aylar						

Bu tabloda, risklerin azaltma önlemleri tanımlanarak, yeşil alanda kalmak için çalışmalar gerçekleştirilir. Yeşil alan kabul edilebilir riskleri, kırmızı alan ise kabul edilemez riskleri göstermektedir. Nihai rapor, kullanılan kılavuz kelimeler gibi tüm bilgileri, spesifik parametreleri tasarım amaçlarından sapmaları, nedenleri ve sonuçları ve önerilen eylemleri içeren son aşama olarak tablo formatında hazırlanmalıdır.

3.2.2 Koruma Katmanları Analizi (LOPA)

Kantitatif risk değerlendirmeleri, proses operasyonlarıyla ilgili riskleri nicelleştiren sistematik bir yaklaşımdır [35]. Koruma Katmanları Analizi (Layer of Protection Analysis, LOPA), riskin analiz edilmesi ve değerlendirilmesi için kullanılmakta olan yarı kantitatif bir araçtır. Bu teknik, istenmeyen sonuçların etkilerini tanımlamak ve bu sonuçların meydana gelme sıklığını tahmin etmek için basitleştirilmiş yöntemler içerir [36]. LOPA, bağımsız koruma katmanlarının (IPL) değerlendirilmesi için belirli kriterler ve kısıtlamalar sunarak nitel yöntemlerin öznel olma durumunu azaltır.

LOPA ile ilgili temel terimler aşağıda verilmiştir [36,37]:

IC (Initiating Cause): Başlatıcı olay, tehlikeli bir olayın yayılmasını başlatmak için gerekli olan asgari hata kombinasyonu. Bu kombinasyon, tek bir başlatıcı nedenden, birden fazla nedenden veya etkinleştirici koşulların varlığında başlatıcı neden(ler)den oluşabilir.

BPCS (Basic Process Control System): Basit Proses Kontrol Sistemleri

Safe Guard: Bariyer, başlatıcı olay ve sonrasında yaşanacak olaylar dizisini kısıtlayan veya sonuçlarını hafifleten; bir sistem, cihaz veya eylem.

IPL (Independent Protection Layer): Bağımsız Koruma Katmanları, endüstriyel güvenlik sistemlerinde belirli bir tehlikeyi veya risk durumunu bağımsız olarak tespit eden, azaltan veya kontrol altına alan ve diğer koruma katmanlarından bağımsız olarak çalışan güvenlik bariyerleridir.

P&ID (Process and Instrumentation Diagram): Proses ve Enstrümantasyon Diyagramı olarak adlandırılan P&ID, endüstriyel süreçlerin ve bu süreçlerde kullanılan ekipmanların, boruların ve enstrümantasyonun detaylı bir görsel temsilidir.

SIF (Safety instrumented function): Güvenlik Enstrümanlı Fonksiyon, belirli bir tehlikeyi kontrol etmek veya önlemek amacıyla tasarlanmış bir güvenlik işlevidir.

SIL (Safety integrity level): Güvenlik Bütünlüğü Seviyesi, bir güvenlik işlevinin ne kadar güvenilir olması gerektiğini belirten bir ölçüdür. SIL, belirli bir tehlike senaryosunun kabul edilebilir risk seviyesine indirilmesi için gerekli olan güvenlik performans düzeyini ifade eder. Dört SIL seviyesi vardır, SIL 1'den SIL 4'e kadar, ve her biri artan güvenlik bütünlüğü gereksinimlerini temsil eder. SIL seviyesi ne kadar yüksekse, güvenlik işlevinin başarısızlık olasılığı o kadar düşük olmalıdır. LOPA, bu seviyeyi belirlemek için kullanılan yöntemlerden biridir.

SIS (Safety instrumented system): Güvenlik Enstrümanlı Sistem, endüstriyel süreçlerde güvenliği sağlamak amacıyla tasarlanmış, entegre bir güvenlik sistemidir. SIS, belirli bir sürecin güvenli sınırlar içinde çalışmasını sağlamak ve potansiyel tehlikeleri önlemek için otomatik kontrol ve koruma işlevleri gerçekleştirir.

LOPA, Güvenlik Enstrümantasyon Fonksiyonunda (SIF) gerekli Güvenlik Bütünlük Seviyesini (SIL) belirlemek için yaygın olarak uygulanan araçlardan biridir, ancak bu, LOPA'nın yalnızca bir sonucudur. LOPA ayrıca bir koruma katmanının bağımsız olarak kabul edilip edilemeyeceğini değerlendirir ve SIS dışındaki bağımsız koruma katmanlarının gerekli performansını belirleyebilir [38].

LOPA (Layer of Protection Analysis) Koruma Katmanları Analizi sürecinin avantajları ve sınırlamaları aşağıdaki gibidir:

<u>LOPA'nın Avantajları</u>

- LOPA, riskle ilgili anlaşmazlıkların çözülmesinde etkilidir.
- LOPA, SIS (Safety Instrumented System) veya alternatif koruma yöntemlerinin gerekip gerekmediğini ve eğer SIS seçilirse ilişkili SIL (Safety Integrity Level) seviyesini belirler.
- LOPA, IEC 61511 gibi endüstri standartlarına uygundur.
- LOPA, sağlık, güvenlik ve çevresel koruma katmanlarının analizini kolaylaştırır ve ayrıca ekipman hasarı ve iş değeri kaybı nedeniyle oluşan risklere de uygulanabilir.

<u>LOPA'nın Sınırlamaları</u>

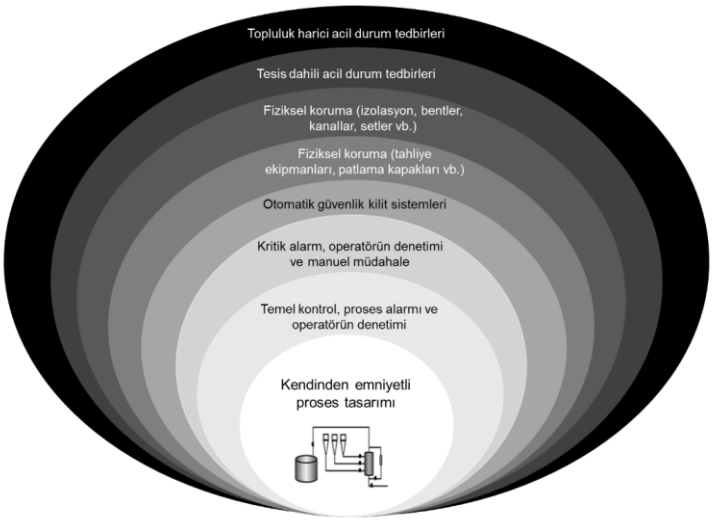
- LOPA, tehlikeleri belirleme yöntemi değildir.
- LOPA, basit veya düşük riskli kararlar için aşırı detaylı olabilir.
- LOPA, karmaşık sistemler için aşırı basitleştirilmiş olabilir.
- LOPA, olayların tırmanmasını analiz etme yöntemi değildir.
- LOPA, kaçış ve tahliyeyle ilgili riskleri analiz etme yöntemi değildir.
- Risk karşılaştırma senaryoları, yalnızca aynı LOPA yöntemi kullanıldığında geçerlidir.

a. Koruma Katmanları

Şekil 3.5'te gösterildiği gibi, bir senaryo, sürecin karmaşıklığına ve olası sonuçların şiddetine bağlı olarak, çeşitli türlerde bir veya daha fazla koruma katmanına sahip olabilir. Koruma katmanları veya güvenlik önlemleri, Bağımsız Koruma Katmanı (IPL) olarak sınıflandırılmadıkları sürece birbirinden bağımsız olmak zorunda değildir.

LOPA, tehlikeli olaylara karşı gerekli risk azaltma hedefini sağlamak için yeterli bağımsız koruma katmanlarının olup olmadığını değerlendirmek için tutarlı bir temel sağlar.

Risk değerlendirme esnasında olasılık azaltımı yapılması için, aynı aktivasyona sahip önlemlerin birbirinden bağımsız olması gerekmektedir.



Şekil 3.5 Koruyucu katmanlar [38]

LOPA katmanlarının kullanım sırası ve katmanlara ait korumaların sınıflandırması Tablo 3.11 üzerinde belirtilmiştir [38].

Tablo 3.11 LOPA Bağımsız Koruma Katmanları (IPL)

IPL NO	Koruyucu Katman
1 IPL	Kendinden emniyetli proses tasarımı
2 IPL	Temel proses kontrol
2.1 IPL	Proses alarmı ve operatör müdahalesi (Sensor + PLC/DCS + Operatör müdahalesi)
2.2. IPL	Operatör denetimi ve müdahalesi (Operatör Algılama + Operatör Karar verme + Operatör müdahalesi)
3 IPL	Otomatik acil durum kapatma sistemleri (SIS, ESD)
4 IPL	Fiziksel koruma (Tahliye ekipmanları, PRV, patlama kapakları vb.)
5 IPL	Fiziksel koruma (İzolasyon, bentler, kanallar, setler vb.)
6 IPL	İşletim dahili acil durum tedbirleri
7 IPL	Topluluk harici acil durum tedbirleri

b. Bağımsız Koruma Katmanları (IPL) ve Güvenlik Bütünlük Seviyeleri (SIL) Sınıflandırması

LOPA, IPL kriterlerini karşılayan güvenlik önlemlerini değerlendirir. LOPA sadece IPL'leri dikkate alırken, HAZOP bağımsız koruma katmanları olmayan güvenlik önlemlerini de içerebilir.

IPL, aktif veya pasif olabilir. Bağımsız Koruma Katmanları aşağıdaki kriterlere göre değerlendirilmelidir [39]:

- Etkili: Koruma katmanları, minimumda 10 kat risk azaltma sağlamalı ve koruyucu fonksiyonlar yüksek derecede erişilebilir olmalı, %90'dan fazla.
- Bağımsız: Koruma katmanları, başka bir koruma katmanının başarısızlığının koruma katmanı fonksiyonunda herhangi bir negatif etkisi olmayacak şekilde bağımsız olmalıdır. [40]
- Denetlenebilir: Kabul edilen etkinlik, test, dokümantasyon, gözden geçirme vb. gibi yöntemlerle doğrulanabilir olmalıdır.

Bir IPL'nin etkinliği, Talep Anında Hata Yapma Olasılığı (PFD) terimiyle nicelendirilir ve risk azaltma faktörü olarak adlandırılabilir. "Talep" ifadesi, bir şeyin kontrolsüz hale gelmesi ve tehlikeli bir durumun ortaya çıkabileceği anlamına gelir. PFD, talep edildiğinde koruma katmanının amaçlandığı gibi çalışmayacağı olasılığını ifade eder. PFD, sıfır ile bir arasında bir değer alır. Sürekli olarak, daha küçük bir değer, daha küçük bir hata olasılığı anlamına gelir. Bu değerin tüm potansiyel hataları ve tehlike modlarını hesaba katması amaçlanmıştır. Bir IPL, bir kombinasyon sensörlerin, mantık sunucularının ve nihai elemanların bulunduğu bir Güvenlik Enstrümantasyon Sistemi (SIS) olabilir. Bir SIS, bir dizi Güvenlik Enstrümantasyon Fonksiyonları'na (SIF'ler) sahiptir, bunlar durum kontrol fonksiyonlarıdır. Her SIF'nin, türüne, enstrüman sayısına ve fonksiyonel testler arasındaki süreye bağlı olarak bir PFD değeri vardır. PFD, zamanla artar, ancak bakım prosedürü sonrasında yenilendiği varsayılır [39].

I. Koruma Katmanları Analizi Uygulama Adımları

Koruma Katmanı Analizi (LOPA), tehlikeli bir senaryoya karşı yeterli koruma katmanının olup olmadığını belirlemek için analitik bir araçtır. Genellikle birçok türde koruma katmanı uygulanabilir, ancak sonucu önlemek için yalnızca bir koruma katmanının başarılı bir şekilde çalışması gerekmektedir. Ancak, hiçbir koruma katmanı %100 güvenilir olamaz ve sistemde kabul edilebilir risk seviyesini sağlamak için bir analiz yapılmalıdır. Risk kabul edilemezse, ek güvenlik önlemleri eklenmelidir. LOPA, yalnızca yeterli korumanın olup olmadığını değerlendirir ve hangi tür korumanın eklenmesi gerektiğini önermez. LOPA, analistin sistem riskini hangi düzeye indirmesi gerektiğine karar vermesine yardımcı olur. LOPA, farklı adımlara ayrılabilir [39].

I. Aşama: Senaryoların gözden geçirilmesi için sonuçların belirlenmesi

LOPA genellikle daha önceki bir çalışmada geliştirilmiş senaryoları değerlendirdiğinden, LOPA analistlerinin ilk adımı bu senaryoları taramaktır ve en yaygın tarama yöntemi sonuçlara dayalıdır. Sonuçlar, genellikle nitel bir tehlike incelemesi (örneğin, bir HAZOP çalışması) sırasında belirlenir. Daha sonra analiz ekibi, sonucu (etki dahil) değerlendirir ve büyüklüğünü tahmin eder.

II. Aşama: Bir kaza senaryosunun seçilmesi

LOPA, her seferinde bir senaryoya uygulanır. Senaryo, diğer analizlerden (örneğin, nitel analizler) gelebilir, ancak senaryo tek bir neden-sonuç çiftini, yani tehlike tanımlama sürecinden türetilen tehlikeli senaryoyu tanımlamaktadır. [41]

III. Aşama: Senaryonun başlatıcı olayının belirlenmesi ve başlatıcı olayın sıklığını (yılda meydana gelen olay sayısı) tespit edilmesi

Başlatıcı olay, tüm koruma önlemlerinin başarısız olması durumunda bir sonuca yol açmalıdır. Sıklık, senaryonun geçerli olduğu işletme modunun sıklığı gibi senaryonun arka plan unsurlarını dikkate almalıdır.

IV. Aşama: Bağımsız Koruma Katmanları (IPL) belirlenmesi ve her bir IPL'nin talep üzerine hata olasılığını tahmin edilmesi

Bazı kaza senaryoları sadece bir IPL gerektirebilirken, diğer kaza senaryoları birçok IPL veya senaryo için kabul edilebilir bir risk elde etmek için PFD olasılığı çok düşük olan IPL'leri gerektirebilir. Belirli bir senaryo için gereksinimleri karşılayan mevcut koruma önlemlerini tanımak, LOPA'nın özünü oluşturur

V. Aşama: Senaryonun riskini sonuç, başlatıcı olay ve IPL verilerinin matematiksel olarak birleştirerek tahmin edilmesi

Sonuç tanımına (etki olayı) bağlı olarak hesaplama sırasında diğer faktörler de dahil edilebilir. Yaklaşımlar arasında aritmetik formüller ve grafiksel yöntemler bulunur.

VI. Aşama: Senaryo hakkında bir karar vermek için riskin değerlendirilmesi

Risk değerlendirilmesi gerçekleştirilerek, belirli bir riskin potansiyel sonuçlarına karşı mevcut karşı önlemleri belirlenir.

II. Koruma Katmanları Analizi Kullanılarak Risk Değerlendirmesi

LOPA tekniği, HAZOP analizine dayanarak bir sonuç ortaya koyar. Bu sonucun şiddeti tahmini olarak belirlenir. Daha sonra, birincil olaylar bu sonuçlara göre tanımlanır. Tablo 3.12, birincil olayların tekrarlanabilirliğini göstermektedir. Ardından, senaryoların şiddeti ve olasılığı belirlenir. Bu teknikte meydana gelme olasılığı 1 ile 7 arasında derecelendirilir ve 7 en yüksek olasılığı temsil eder. Şiddet derecelendirmesi de 1 ile 7 arasında olup, çevresel faktörlere maruz kalan personel üzerindeki etkileri sınıflandırır. Tablo 3.13 ve Tablo 3.14 sırasıyla şiddet ve olasılık sınıflandırmalarını sunmaktadır. LOPA yönteminde, bir sonraki adımda her bir başlangıç nedeni için bağımsız koruyucu katmanlar ve bunların hata olasılıkları belirlenir [42].

Tablo 3.12 LOPA yönteminde başlatıcı olayların tekrarlanabilirliği

Tekrarlanabilirlik	**Olay**	**Seviye**
Yıllık 10^{-4}'ten düşük	Birim çalışma ömründe çok küçük bir olasılıkla meydana gelen bir veya bir dizi kusur, örneğin: üç veya daha fazla proses ekipmanı hatası, insan hatası, bir görevin ani başarısızlığı veya proses kaplarının kusuru.	Düşük
Yıllık 10^{-4} 10^{-2} arasında	Birim çalışma ömründe çok küçük bir olasılıkla meydana gelen bir veya bir dizi kusur, örneğin: araçlarda veya valflerde çift kusur, hassas araç kusurları ve insan hatasının kombinasyonu, boru hatlarındaki veya küçük proses ekipmanlarındaki kusurlar.	Orta
Yıllık 10^{-4}'ten yüksek	Çalışma ömrü boyunca kusurların makul bir şekilde beklenmesi, örneğin: proses sızıntıları, valf ve araç kusurları ve malzeme salınımına yol açabilecek insan hataları.	Yüksek

Tablo 3.13 LOPA yönteminde şiddet sınıflandırması

Ölüm ve Yaralanmaların Sınıflandırılması	Alt Grup	Tanım	Şiddet
Personelde çok az veya hiç yaralanma olmaması, zaman kaybı olmaması	Personel	Çok düşük	1
Kamuya herhangi bir yaralanma, tehlike veya rahatsızlık vermemesi	Toplum		
Kuruma bildirimde bulunmadan kaydedilebilir olay	Çevre		
100.000 dolardan az maliyetle ekipmanın küçük bir revizyonu ve üretimde kayıp olmaması	Tesisler		
Personelde çok az veya hiç yaralanma olmaması, zaman kaybı olmaması	Personel	Çok düşük	1
Kamuya herhangi bir yaralanma, tehlike veya rahatsızlık vermemesi	Toplum		
Kuruma bildirimde bulunmadan kaydedilebilir olay	Çevre		
100.000 dolardan az maliyetle ekipmanın küçük bir revizyonu ve üretimde kayıp olmaması	Tesisler		

Tablo 3.13 LOPA yönteminde şiddet sınıflandırması (Devamı)

Tek bir yaralanma, çok ciddi olmayan, muhtemel bir zaman kaybı	Personel		
Halktan koku veya gürültü şikayetleri	Toplum		
Kuruma bir uyarı gönderilmesi gereken bir bildirim	Çevre		
Tahmini maliyeti 100.000 dolardan fazla olan bazı ekipman hasarı ve küçük üretim kaybı	Tesisler		
Bir veya daha fazla ciddi yaralanma	Personel	Yüksek	4
Bir veya daha fazla hafif yaralanma	Toplum		
Ciddi çevresel etkiye sahip önemli bir sızıntı	Çevre		
Tahmini maliyeti 1.000.000 ABD dolarından fazla olan ciddi hasar ve bazı üretim kaybı	Tesisler		
Ölüm veya kalıcı engelleyici yaralanma	Personel	Çok Yüksek	5
Bir veya daha fazla ciddi yaralanma	Toplum		
Önemli bir çevresel etki yaratan ve muhtemelen sağlık üzerinde anlık veya uzun vadeli etkisi olan bir sızıntı	Çevre		
Tahmini maliyeti 1.000.000 ABD dolarından fazla olan ciddi veya genel işletme alanı tahribatı ve üretimde önemli kayıplar	Tesisler		

Tablo 3.14 LOPA yönteminde olasılık etkileri

Yılda Gerçekleşmesi	Olasılık Değeri
$1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-6}$	1
$1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-4}$	2
$1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-3}$	3
$1 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-2}$	4
$1 \times 10^{-1} - 1 \times 10^{-2}$	5
1×10^{-1} ve üzeri	6

Daha sonra risk sınıflandırması belirlenir.

HAZOP uygulanırken, LOPA tekniğinden destek alınması durumunda, Bölüm 3.2.1, Şekil 3.4'te verilen matris kullanılır. Burada amaç, koruyucu katmanlarla, risk değerlendirme sonucu yeşil bölgede kalınmasını sağlamaktır. Risk hesaplanırken aşağıdaki formül [30] kullanılır:

$$\text{Risk} = \text{Olasılık} \times \text{Şiddet} \tag{3.13}$$

Her bir koruma katmanı ile, risk olasılığı bir kademe düşürülür. Fiziksel bariyer ile de, yalnızca bir kez hem olasılık hem şiddette basamaklarında bir kademe düşüş gerçekleştirilir. Birden fazla fiziksel bariyer olsa da, toplamda yalnızca bir kez şiddetten düşüş sağlanır. Bağımsız olması durumunda, olasılık her bir bariyer için düşürülebilir.

4
PROSES UYGULAMASI

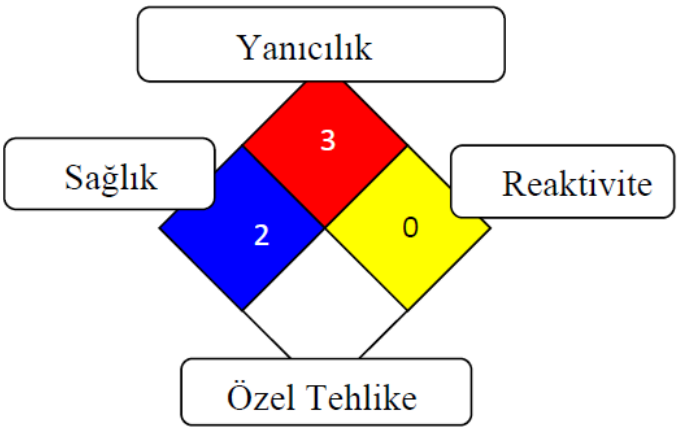
Ülkemizde uygulanmakta olan, Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik gereği, BEKRA kuruluşlarının belirlenmesinde, mevcut, öngörülen veya proses esnasında kontrolün kaybedilmesiyle ortaya çıkabilecek madde miktarları göz önünde bulundurularak, kuruluşların seviyesi belirlenmektedir. Tüm Alt ve Üst Seviyeli Kuruluşlar için ortak yükümlülüklerin başında Risk Değerlendirmesi gelmektedir. Bu tezde, risk değerlendirmesi çözücü hammadde depolama sahasında ilgili solvent ile gerçekleştirilmiştir.

4.1 Çözücü Kimyasal

Kuruluşların, risk değerlendirme öncesinde, kimyasal envanteri çıkarması gerekmektedir. Uygulama için kullanılan kimyasalın özellikleri Tablo 4.1 üzerinde ve NFPA sınıflandırması Şekil 4.1 üzerinde verilmiştir.

Tablo 4.1 Çözücü kimyasalın özellikleri

Özellik	Açıklama
Kaynama Noktası	150 °C
Parlama Noktası	41 °C
Bulunduğu Faz	Sıvı
Yoğunluğu	720 kg/m^3
Maddelerin ve Karışımların Sınıflandırılması, Etiketlenmesi ve Ambalajlanması Hakkında Yönetmelik uyarınca Zararlılık Kategorisi	P5c ALEVLENİR SIVILAR



Şekil 4.1. Çözücü kimyasal NFPA sınıflandırması

Proseste depolanan çözücü kimyasal, "Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik" ekinde verilen tabloda, P5c Alevlenir Sıvı olarak sınıflandırılması nedeniyle tehlikeli kimyasal olarak nitelendirilmektedir. Kuruluşta 5000 ton üzerinde bulundurulması gerekçesiyle de, BEKRA bildirimi sonucu, kuruluşun Alt Seviyeli Kuruluş olmasıyla, risk değerlendirme yükümlülüğü doğmaktadır.

4.2 Çözücü Hammadde Depolama Sahası

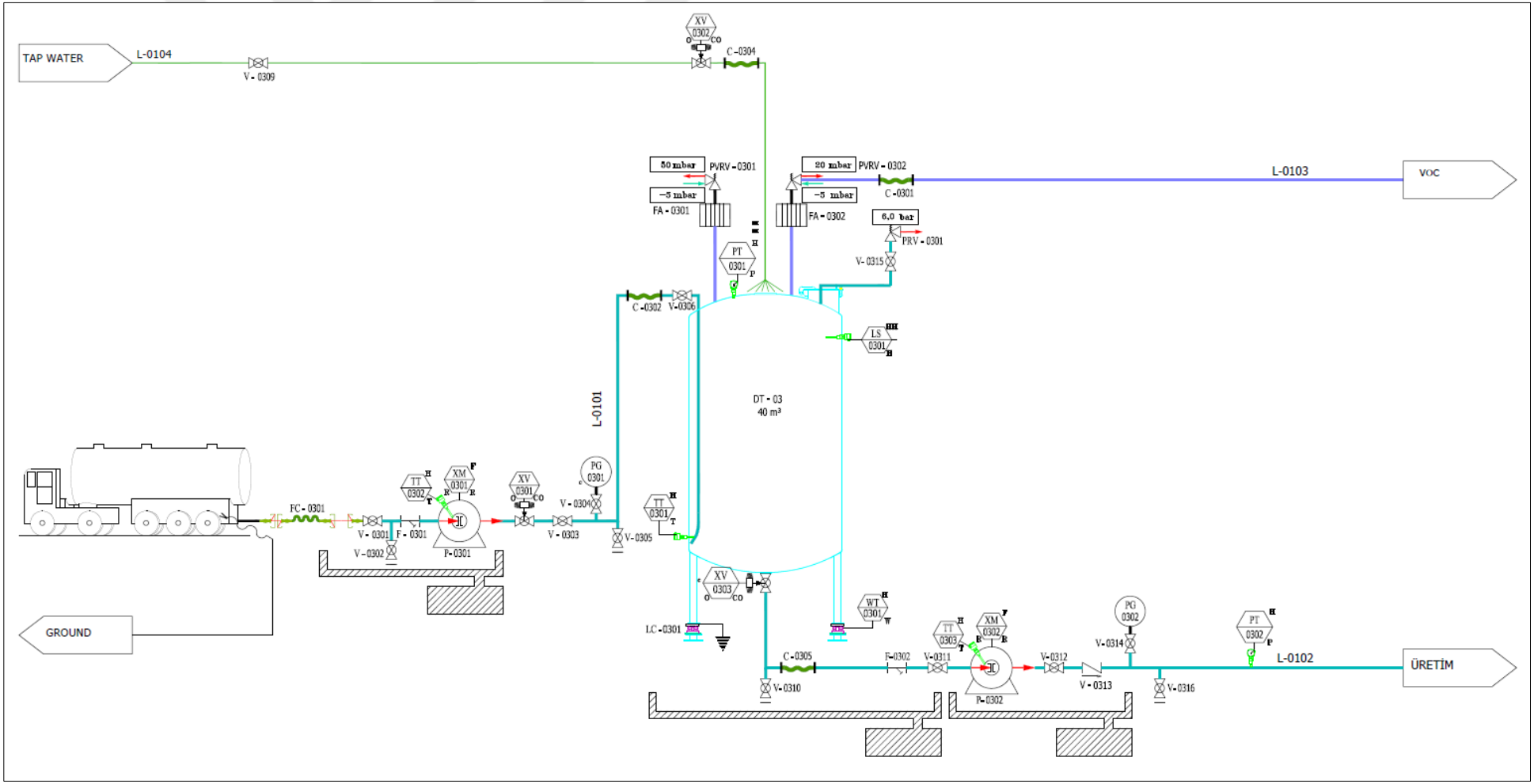
Şekil 4.2 üzerinde çözücü hammadde depolama sahasına ait prosesin diyagramı mevcuttur.

Operasyon sıcaklığı 22 $^{\circ}$C'dir ve basınç hat boyunca 1 bardır. Boru hattı çelikten (304L) imal edilmiştir. Proseste, hammadde tankerinden FC-0301 tag numaralı bağlantı hortumu ile V-0301 tag numaralı manuel vanaya çözücü hammadde 1 bar basınçta ve 8 m^3/h akışla gönderilir. DT-03 tag numaralı depolama tankına giden bu hat L-0101 line numarası ile ifade edilmektedir. F-0301 tag numaralı pompa giriş filtresi ile P-0301 tag numaralı havalı pompaya beslenir. Pompanın çalışma basıncı 1 bardır. V-0302 tag numaralı manuel vana fazla akış kontrolünde ya da numune alımında kullanılır. TT-0302 tag numaralı sıcaklık transmitteri ile sıcaklık değerleri kontrol edilmektedir. Belirli bir sıcaklık üzerine çıktığında, pompanın kendisini kapatmasını sağlar. XV-0301 tag numaralı tank dolum hattı kontrol vanası ile DT-03 tag numaralı depolama tankına doğru gönderilir. V-0303 tag numaralı vana sistem yardımcı elemanıdır. V-0304 tag numaralı vana ve PG-0301 tag

numaralı basınç ölçer ile basınç takip edilir. V-0303 tag numaralı vana sistem yardımcı elemanıdır. C-0302 tag numaralı esnek bağlantı ile tanka basılır. V-0306 tag numaralı vana sistem yardımcı elemanıdır. DT-03 tag numaralı depolama tankına beslenir. TT-0301 tag numaralı sıcaklık transmitteri ile sıcaklık takibi sağlanır. Çözücü hammadde, tankın alt tarafından beslenir.

XV-0303 tag numaralı otomatik vana ile L-0102 line numaralı boru hattı ile üretim hattına çözücü kimyasal gönderilir. WT-0301 tag numaralı ağırlık transmitteri, LC-0301 tag numaralı Loadcell aracılığı ile gelen elektrik sinyallerini dönüştürerek ağırlık bilgisini gösterir. V-0310 tag numaralı vana sistem yardımcı elemanıdır, numune alma veya drenaj için kullanılır. C-0305 tag numaralı esnek bağlantı ile akış sağlanır. F-0302 tag numaralı pompa giriş filtresi ile pompa sisteminden önce safsızlıkların tutulması sağlanır. V-0311 tag numaralı vana sistem yardımcı elemanıdır. Drenaj sistemi mevcuttur. P-0302 tag numaralı pompa ile sisteme kimyasal gönderilir.TT-0303 tag numaralı sıcaklık transmitteri ile sıcaklık takip edilir. Drenaj sistemi mevcuttur. V-0312 tag numaralı vana sistem yardımcı elemanıdır. V-0313 tag numaralı çek vana ile akış gönderilir. PG-0302 tag numaralı basınç ölçer ile basınç takip edilir. PT-0302 tag numaralı basınç transmitteri, elektrik sinyallerini dönüştürerek basınç bilgisini gösterir. V-0316 tag numaralı vana sistem yardımcı elemanıdırPT-0301 tag nolu basınç transmitteri ile basınç takibi yapılır. FA-0301 tag numaralı alev tutucu ile olası alev çıkışı tutulur, PVRV-0301 tag numaralı basınç/vakum tahliye menfezi ile dışarı atılır. FA-0302 tag numaralı alev tutucu ve PVRV-0302 tag numaralı basınç/vakum tahliye menfezi ile VOC toplanır. VOC toplanırken C-0301 tag numaralı esnek bağlantıdan destek alınır. Bu hat L-0103 line numarası ile kodlanmıştır.

L-0104 line numaralı hat üzerinden, V-0309 tag numaralı vana ile, tankın soğutulmasını sağlaması için musluk suyu çekilmesi sağlanır. XV-0302 tag numaralı Tank Soğutma Suyu Hattı Kontrol Vanası ile C-0304 tag numaralı esnek bağlantı üzerinden yağmurlama suyu beslenir. Yağmurlama ile tankın sıcaklığının düşürülmesi sağlanır.



Şekil 4.2 Proses diyagramı

4.3 Proses Risk Değerlendirmesi

4.3.1 Prosese ait Tehlikeli Ekipman Gruplandırma

Tehlikeli ekipman gruplandırma çalışmaları, içerisinden tehlikeli kimyasal geçen ekipmanlar üzerinden gerçekleştirilmiştir.

- L-0101 line numaralı boru hattı
- DT-03 tag numaralı depolama tankı
- P-0301 tag numaralı pompa
- P-0302 tag numaralı pompa
- L-0102 line numaralı boru hattı

Her bir ekipmana ait değerlendirme sonuçları aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 4.2 L-0101 line numaralı boru hattı değerlendirmesi

ARAMIS Metodolojisi – DOW Yangın ve Patlama İndeksi – ICI MOND İndeksi **Tehlikeli Ekipman Gruplandırma**									
Fabrika	Merkez	**Proses**	Çözücü Hammadde Depolama Sahası				**Tarih**	05.05.2024	
Ekipman	Boru İletim Ağı	**Açıklama**	P-0301 Pompası Çıkışı				**Tag No.**	L-0101	
Ekipmanın Bulundurduğu Kimyasal Bilgisi									
Kimyasal Türü/Adı	**Flaş Noktası (°C)**	**Kaynama Noktası (°C)**	**Kimyasalın Fazı**	**Hc (kg/kcal)**	**TLV/TWA (ppm)**	**Sağlık (NFPA)**	**Yanıcılık (NFPA)**	**Reaktivite (NFPA)**	**Malzeme Faktörü (MF)**
Çözücü Kimyasal	41	150	Sıvı	10.300,00	20,00	2,00	3,00	0,00	16,00

Tablo 4.2 L-0101 line numaralı boru hattı değerlendirmesi (Devamı)

ARAMIS Metodolojisine göre Sınıflandırma							
Ekipman Tipi	Boru İletim Ağı			**Tip Kodu**	EQ10		
M_a	**Kütle (kg) ya da (kg/10 dk)**	**Karışımdaki Oranı (%)**	**M (Ekipmandaki kütle (kg))**	**Hacim (m^3) ya da Debi (m^3/10 dk)**	**Karışımdaki Oranı (%)**	**(Ekipmandaki debi (m^3/10 dk))**	
10.000,00	960,00	100	960,00	1,33	1000	1,33	
Çözücü Kimyasal	S_1	S_2	M_b	Sonuç	S_3	M_c	Sonuç	Ekipman
	0,05	0,00	100.000,00	$M<M_b$	0,10	10.000,00	$M<M_c$	**Büyük Kaza Ekipmanı Değildir**
Domino Etkisinin Değerlendirilmesi	En Yakın Seçilen Ekipman	-	En Yakın Büyük Kaza Ekipmanına Uzaklık(m)	-			

Tablo 4.2 L-0101 line numaralı boru hattı değerlendirmesi (Devamı)

Proses İşletme Bilgisi					
Proses Sıcaklığı (°C)	22	**Proses Basıncı (kg/cm^2g)**	1,02	**Tahliye Basıncı (kg/cm^2g)**	0,00

Genel ve Özel Proses Tehlikeleri				
1- Genel Proses Tehlikeleri	**E/H**	**Penaltı Faktörü Aralığı**		**Kullanılan Penaltı Faktörü**
Temel Faktör		1,00	1,00	1,00
1A – Ekzotermik Reaksiyonlar	U/D	0,30	1,25	0,00
1B – Endotermik Reaksiyonlar	U/D	0,20	0,40	0,00

Tablo 4.2 L-0101 line numaralı boru hattı değerlendirmesi (Devamı)

1C – Kimyasal Transferi ve İşleme	Yanıcı Sıvı/Gazlar - NFPA Yanıcılık Sınıflaması 3 veya 4	EVET			0,85
1C-Kimyasal Transferi ve İşleme Evet İse; (Ambar ve Depo gibi yerlerde) raflar için sabit sprinkler sistemi mevcut mu?		HAYIR			0,20
1C – Bölümden Alınan Toplam Değer			0,25	1,05	1,05
1D – Açık Proses/Kapalı Proses	Açık Proses Sahası	EVET			0,00
4.535 kg'dan (3.783m^3) Fazla Sıvı Miktarı mevcut mu?		HAYIR			
Yeterli Mekanik Havalandırma mevcut mu?		HAYIR			
1D – Bölümden Alınan Toplam Değer			0,25	0,90	0,00

Tablo 4.2 L-0101 line numaralı boru hattı değerlendirmesi (Devamı)

1E – En az 2 Yönden erişim (en az bir tanesi yol)		EVET	0,20	0,35	0,20
1F – Drenaj ve Döküntü Kontrolü		EVET	0,25	0,50	0,00
Genel Proses Faktörü (F_1)					**2,25**
2. Özel Proses Tehlikeleri		**E/H**	**Penaltı Faktörü Aralığı**		**Kullanılan Penaltı Faktörü**
Temel Faktör			1,00	1,00	1,00
2A – Toksik Kimyasal	NFPA – Sağlık Değeri 2	E	0,00	0,80	0,40
2B – Vakum Durumu		U/D	0,00	0,50	0,00

Tablo 4.2 L-0101 line numaralı boru hattı değerlendirmesi (Devamı)

2C – Alevlenme Aralığı veya Limitlere Yakın İşletme				
NFPA Yanıcılık Değeri 3 veya 4 olan kimyasal depolayan tanklar	HAYIR	0,5	0,80	0,00
İnert gaz kullanımı olan tanklar	HAYIR	0,5		0,00
Sürekli alevlenme aralığında, gaz tahliyesi yapılamayan proses	EVET	0,80		0,80
İşletme veya ekipman hatası ile yanıcı ortam oluşması	EVET	0,30		0,30
2C – Bölümden Alınan Toplam Değer				0,80
2D – Toz Patlaması	HAYIR	0,25	2,00	0,00

Tablo 4.2 L-0101 line numaralı boru hattı değerlendirmesi (Devamı)

2E – Basınç				EVET			0,21
İşletme Basıncı (kg/cm^2g)		1,02					0,18
Tahliye Basıncı (kg/cm^2g)		0,00					0,16
2F – Düşük Sıcaklık				HAYIR	0,20	0,30	0,00
2G – İşletmede veya Tankta Yanıcı/Reaktif Sıvı/Gaz Miktarı		Proses içerisinde sıvı veya gaz		EVET			0,15
Kimyasal (kg)	960,00	2116,80	lb	P-0301 tag numaralı pompa çıkış debisi 1,33 m3/10 dk'dır. Çözücü kimyasal yoğunluğu 720 kg/m^3 olarak alınmıştır.			
Kimyasal için (kcal/kg)	10.300,00	0,0000409	MMBtu (10^{-9})				
Toplam Enerji	9888000,00 kcal Total		0,03925536 MMBtu (10^{-9})				

Tablo 4.2 L-0101 line numaralı boru hattı değerlendirmesi (Devamı)

2H – Korozyon ve Erozyon	< 0,0127 mm/yıl korozyon hızı	EVET	0,10	0,70	0,10
2I – Sızıntı ve Bağlantı Yerleri	Hat üzerindeki ekipmanlara bağlı pompaların ve bağlantıların küçük çaplı kaçak yapma ihtimali	EVET	0,10	1,50	0,10
2J – Ateşli Ekipman Mevcudiyeti		HAYIR	1,00		0,00
2K – Sıcak Yağlı Sistem	Isı değiştirici mevcut değildir.	HAYIR	0,15	1,15	0,00
2L – Döner ekipmanlar	456 kW üzerinde kompresör veya pompa mevcudiyeti yoktur.	HAYIR	0,50		0,00
Özel Proses Faktörü (F_2)					**3,86**

Tablo 4.2 L-0101 line numaralı boru hattı değerlendirmesi (Devamı)

TEHLİKELİ EKİPMAN DEĞERLENDİRME	
Genel Proses Faktörü (F_1)	2,25
Özel Proses Faktörü (F_2)	3,86
Proses Birimi Tehlikeleri Faktörü (F)	8,69
Kullanılan Proses Birimi Tehlikeleri Faktörü (F) (Max = 8)	8,00
Yangın ve Patlama İndeksi (DOW F&EI) (F&EI =MFxF)	128,00
Toksisite Faktörü (T_h)	125,00
MAC Değeri için Penaltı (T_s)	75,00
Toksikoloji İndeksi (ICI MOND) [$T_h + T_s(1+F_1+F_2)$]/100	6,58

Tablo 4.2 L-0101 line numaralı boru hattı değerlendirmesi (Devamı)

DEĞERLENDİRME ÖZETİ	
DOW F&EI Yangın ve Patlama İndeksi	Yüksek Risk
ICI MOND Toksikoloji İndeksi	Düşük – Orta Risk

Tablo 4.3 DT-03 tag numaralı depolama tankı değerlendirmesi

ARAMIS Metodolojisi – DOW Yangın ve Patlama İndeksi – ICI MOND İndeksi **Tehlikeli Ekipman Gruplandırma**									
Fabrika	Merkez	**Proses**	Çözücü Hammadde Depolama Sahası				**Tarih**	05.05.2024	
Ekipman	Depolama Tankı	**Açıklama**	Çözücü Kimyasal Depolama Tankı				**Tag No.**	DT-03	
Ekipmanın Bulundurduğu Kimyasal Bilgisi									
Kimyasal Türü/Adı	**Flaş Noktası (°C)**	**Kaynama Noktası (°C)**	**Kimyasalın Fazı**	**Hc (kg/kcal)**	**TLV/TWA (ppm)**	**Sağlık (NFPA)**	**Yanıcılık (NFPA)**	**Reaktivite (NFPA)**	**Malzeme Faktörü (MF)**
Çözücü Kimyasal	41	150	Sıvı	10.300,00	20,00	2,00	3,00	0,00	16,00

Tablo 4.3 DT-03 tag numaralı depolama tankı değerlendirmesi (Devamı)

ARAMIS Metodolojisine göre Sınıflandırma							
Ekipman Tipi	Atmosferik Depolama			**Tip Kodu**	EQ6		
M_a	**Kütle (kg) ya da (kg/10 dk)**	**Karışımdaki Oranı (%)**	**M (Ekipmandaki kütle (kg))**	**Hacim (m^3) ya da Debi (m^3/10 dk)**	**Karışımdaki Oranı (%)**	**(Ekipmandaki debi (m^3/10 dk))**	
10.000,00	28.800,00	100	28.800,00	40,00	1000	40,00	
Çözücü Kimyasal	S_1	S_2	M_b	Sonuç	S_3	M_c	Sonuç	Ekipman
	0,05	0,00	100.000,00	$M<M_b$	0,10	10.000,00	$M>M_c$	**Domino Etkisinden Dolayı Büyük Kaza Ekipmanıdır**

Tablo 4.3 DT-03 tag numaralı depolama tankı değerlendirmesi (Devamı)

Domino Etkisinin Değerlendirilmesi		En Yakın Seçilen Ekipman	P-0301 Pompa	En Yakın Büyük Kaza Ekipmanına Uzaklık(m)		2
Proses İşletme Bilgisi						
Proses Sıcaklığı (°C)	22	**Proses Basıncı (kg/cm^2g)**	1,02	**Tahliye Basıncı (kg/cm^2g)**		6,12
Genel ve Özel Proses Tehlikeleri						
1- Genel Proses Tehlikeleri			**E/H**	**Penaltı Faktörü Aralığı**		**Kullanılan Penaltı Faktörü**
Temel Faktör				1,00	1,00	1,00
1A – Ekzotermik Reaksiyonlar			U/D	0,30	1,25	0,00

Tablo 4.3 DT-03 tag numaralı depolama tankı değerlendirmesi (Devamı)

1B – Endotermik Reaksiyonlar		U/D	0,20	0,40	0,00
1C – Kimyasal Transferi ve İşleme	Yanıcı Sıvı/Gazlar - NFPA Yanıcılık Sınıflaması 3 veya 4	EVET			0,85
1C-Kimyasal Transferi ve İşleme Evet İse; (Ambar ve Depo gibi yerlerde) raflar için sabit sprinkler sistemi mevcut mu?		HAYIR			0,20
1C – Bölümden Alınan Toplam Değer			0,25	1,05	1,05
1D – Açık Proses/Kapalı Proses	Açık Proses Sahası	EVET			0,00
4.535 kg'dan (3.783m^3) Fazla Sıvı Miktarı mevcut mu?		HAYIR			
Yeterli Mekanik Havalandırma mevcut mu?		U/D			

Tablo 4.3 DT-03 tag numaralı depolama tankı değerlendirmesi (Devamı)

1D – Bölümden Alınan Toplam Değer			0,25	0,90	0,00
1E – En az 2 Yönden erişim (en az bir tanesi yol)		EVET	0,20	0,35	0,20
1F – Drenaj ve Döküntü Kontrolü		EVET	0,25	0,50	0,00
Genel Proses Faktörü (F_1)					**2,25**
2. Özel Proses Tehlikeleri		**E/H**	**Penaltı Faktörü Aralığı**		**Kullanılan Penaltı Faktörü**
Temel Faktör			1,00	1,00	1,00
2A – Toksik Kimyasal	NFPA – Sağlık Değeri 2	E	0,00	0,80	0,40
2B – Vakum Durumu		U/D	0,00	0,50	0,00

Tablo 4.3 DT-03 tag numaralı depolama tankı değerlendirmesi (Devamı)

2C – Alevlenme Aralığı veya Limitlere Yakın İşletme				
NFPA Yanıcılık Değeri 3 veya 4 olan kimyasal depolayan tanklar	EVET	0,5	0,80	0,80
İnert gaz kullanımı olan tanklar	HAYIR	0,5		0,00
Sürekli alevlenme aralığında, gaz tahliyesi yapılamayan proses	HAYIR	0,80		0,00
İşletme veya ekipman hatası ile yanıcı ortam oluşması	EVET	0,30		0,30
2C – Bölümden Alınan Toplam Değer				0,80
2D – Toz Patlaması	HAYIR	0,25	2,00	0,00

Tablo 4.3 DT-03 tag numaralı depolama tankı değerlendirmesi (Devamı)

2E – Basınç				EVET			0,12
İşletme Basıncı (kg/cm^{2}g)		1,02					0,18
Tahliye Basıncı (kg/cm^{2}g)		6,12					0,29
2F – Düşük Sıcaklık				HAYIR	0,20	0,30	0,00
2G – İşletmede veya Tankta Yanıcı/Reaktif Sıvı/Gaz Miktarı		Depo tankında yanıcı sıvılar (Flaş noktası ≥ 37,8 ^{O}C, < 60 ^{O}C)		EVET			0,11
Kimyasal (kg)	28.800,00	63.504,00	lb	DT-03 tag numaralı depolama tankı hacmi 40 m^3'tür. Çözücü Kimyasal yoğunluğu 720 kg/m^3 olarak alınmıştır.			
Kimyasal için (kcal/kg)	10.300,00	0,0000409	MMBtu (10^{-9})				
Toplam Enerji	296640000 kcal Total		1,1776608 MMBtu (10^{-9})				

Tablo 4.3 DT-03 tag numaralı depolama tankı değerlendirmesi (Devamı)

2H – Korozyon ve Erozyon	< 0,0127 mm/yıl korozyon hızı	EVET	0,10	0,70	0,10
2I – Sızıntı ve Bağlantı Yerleri	Ekipmanlara bağlı vanaların ve bağlantıların küçük çaplı kaçak yapma ihtimali	EVET	0,10	1,50	0,10
2J – Ateşli Ekipman Mevcudiyeti		HAYIR	1,00		0,00
2K – Sıcak Yağlı Sistem	Isı değiştirici mevcut değildir.	HAYIR	0,15	1,15	0,00
2L – Döner ekipmanlar	456 kW üzerinde kompresör veya 46 kW üzerinde pompa mevcudiyeti yoktur.	HAYIR	0,50		0,00
Özel Proses Faktörü (F_2)					**3,70**

Tablo 4.3 DT-03 tag numaralı depolama tankı değerlendirmesi (Devamı)

TEHLİKELİ EKİPMAN DEĞERLENDİRME	
Genel Proses Faktörü (F_1)	2,25
Özel Proses Faktörü (F_2)	3,70
Proses Birimi Tehlikeleri Faktörü (F)	8,38
Kullanılan Proses Birimi Tehlikeleri Faktörü (F) (Max = 8)	8,00
Yangın ve Patlama İndeksi (DOW F&EI) (F&EI =MFxF)	128,00
Toksisite Faktörü (T_h)	125,00
MAC Değeri için Penaltı (T_s)	75,00
Toksikoloji İndeksi (ICI MOND) [$T_h + T_s(1+F_1+F_2)$]/100	6,46

Tablo 4.3 DT-03 tag numaralı depolama tankı değerlendirmesi (Devamı)

DEĞERLENDİRME ÖZETİ	
DOW F&EI Yangın ve Patlama İndeksi	Yüksek Risk
ICI MOND Toksikoloji İndeksi	Düşük – Orta Risk

Tablo 4.4 P-0301 tag numaralı pompa değerlendirmesi

ARAMIS Metodolojisi – DOW Yangın ve Patlama İndeksi – ICI MOND İndeksi **Tehlikeli Ekipman Gruplandırma**									
Fabrika	Merkez	**Proses**	Çözücü Hammadde Depolama Sahası			**Tarih**	05.05.2024		
Ekipman	Pompa	**Açıklama**	P-0301 nolu pompa			**Tag No.**	P-0301		
Ekipmanın Bulundurduğu Kimyasal Bilgisi									
Kimyasal Türü/Adı	**Flaş Noktası (°C)**	**Kaynama Noktası (°C)**	**Kimyasalın Fazı**	**Hc (kg/kcal)**	**TLV/TWA (ppm)**	**Sağlık (NFPA)**	**Yanıcılık (NFPA)**	**Reaktivite (NFPA)**	**Malzeme Faktörü (MF)**
Çözücü Kimyasal	41	150	Sıvı	10.300,00	100,00	2,00	3,00	0,00	16,00

Tablo 4.4 P-0301 tag numaralı pompa değerlendirmesi (Devamı)

ARAMIS Metodolojisine göre Sınıflandırma							
Ekipman Tipi	Basınçlı Taşıma Ekipmanı/Aracı			**Tip Kodu**	EQ8		
M_a	**Kütle (kg) ya da (kg/10 dk)**	**Karışımdaki Oranı (%)**	**M (Ekipmandaki kütle (kg))**	**Hacim (m^3) ya da Debi (m^3/10 dk)**	**Karışımdaki Oranı (%)**	**(Ekipmandaki debi (m^3/10 dk))**	
10.000,00	960,00	100	960,00	1,33	1000	1,33	
Çözücü Kimyasal	S_1	S_2	M_b	Sonuç	S_3	M_c	Sonuç	Ekipman
	0,05	0,00	100.000,00	M<Mb	0,10	10.000,00	M<M_c	**Büyük Kaza Ekipmanı Değildir**
Domino Etkisinin Değerlendirilmesi	En Yakın Seçilen Ekipman	DT-03 Dolum Tankı	En Yakın Büyük Kaza Ekipmanına Uzaklık(m)	2			

Tablo 4.4 P-0301 tag numaralı pompa değerlendirmesi (Devamı)

Proses İşletme Bilgisi					
Proses Sıcaklığı (°C)	22	**Proses Basıncı (kg/cm^2g)**	1,02	**Tahliye Basıncı (kg/cm^2g)**	0,00

Genel ve Özel Proses Tehlikeleri				
1- Genel Proses Tehlikeleri	**E/H**	**Penaltı Faktörü Aralığı**		**Kullanılan Penaltı Faktörü**
Temel Faktör		1,00	1,00	1,00
1A – Ekzotermik Reaksiyonlar	U/D	0,30	1,25	0,00
1B – Endotermik Reaksiyonlar	U/D	0,20	0,40	0,00

Tablo 4.4 P-0301 tag numaralı pompa değerlendirmesi (Devamı)

1C – Kimyasal Transferi ve İşleme	Yanıcı Sıvı/Gazlar NFPA Yanıcılık Sınıflaması 3 veya 4	EVET			0,85
1C-Kimyasal Transferi ve İşleme Evet İse; (Ambar ve Depo gibi yerlerde) raflar için sabit sprinkler sistemi mevcut mu?		HAYIR			0,20
1C – Bölümden Alınan Toplam Değer			0,25	1,05	1,05
1D – Açık Proses/Kapalı Proses	Açık Proses Sahası	EVET			0,00
4.535 kg'dan (3.783m^3) Fazla Sıvı Miktarı mevcut mu?		HAYIR			
Yeterli Mekanik Havalandırma mevcut mu?		HAYIR			
1D – Bölümden Alınan Toplam Değer			0,25	0,90	0,00

Tablo 4.4 P-0301 tag numaralı pompa değerlendirmesi (Devamı)

1E – En az 2 Yönden erişim (en az bir tanesi yol)		EVET	0,20	0,35	0,20
1F – Drenaj ve Döküntü Kontrolü		EVET	0,25	0,50	0,00
Genel Proses Faktörü (F_1)					**2,25**
2. Özel Proses Tehlikeleri		**E/H**	**Penaltı Faktörü Aralığı**		**Kullanılan Penaltı Faktörü**
Temel Faktör			1,00	1,00	1,00
2A – Toksik Kimyasal	NFPA – Sağlık Değeri 2	E	0,00	0,80	0,40
2B – Vakum Durumu		U/D	0,00	0,50	0,00

Tablo 4.4 P-0301 tag numaralı pompa değerlendirmesi (Devamı)

2C – Alevlenme Aralığı veya Limitlere Yakın İşletme				
NFPA Yanıcılık Değeri 3 veya 4 olan kimyasal depolayan tanklar	HAYIR	0,5	0,80	0,00
İnert gaz kullanımı olan tanklar	HAYIR	0,5		0,00
Sürekli alevlenme aralığında, gaz tahliyesi yapılamayan proses	EVET	0,80		0,80
İşletme veya ekipman hatası ile yanıcı ortam oluşması	EVET	0,30		0,30
2C – Bölümden Alınan Toplam Değer				0,80
2D – Toz Patlaması	HAYIR	0,25	2,00	0,00

Tablo 4.4 P-0301 tag numaralı pompa değerlendirmesi (Devamı)

2E – Basınç				EVET			0,21
İşletme Basıncı (kg/cm^{2}g)		1,02					0,18
Tahliye Basıncı (kg/cm^{2}g)		0,00					0,16
2F – Düşük Sıcaklık				HAYIR	0,20	0,30	0,00
2G – İşletmede veya Tankta Yanıcı/Reaktif Sıvı/Gaz Miktarı		Proses içerisinde sıvı veya gaz		EVET			0,15
Kimyasal (kg)	960,00	2.116,80	lb	P-0301 pompası debisi 1,33 m3/10 dk'dır. Çözücü kimyasal yoğunluğu 720 kg/m^3 olarak alınmıştır.			
Kimyasal için (kcal/kg)	10.300,00	0,0000409	MMBtu (10^{-9})				
Toplam Enerji	9888000 kcal Total		0,03925536 MMBtu (10^{-9})				

Tablo 4.4 P-0301 tag numaralı pompa değerlendirmesi (Devamı)

2H – Korozyon ve Erozyon	< 0,0127 mm/yıl korozyon hızı	EVET	0,10	0,70	0,10
2I – Sızıntı ve Bağlantı Yerleri	Hat üzerindeki ekipmanlara bağlı pompaların ve bağlantıların küçük çaplı kaçak yapma ihtimali	EVET	0,10	1,50	0,10
2J – Ateşli Ekipman Mevcudiyeti		HAYIR	1,00		0,00
2K – Sıcak Yağlı Sistem	Isı değiştirici mevcut değildir.	HAYIR	0,15	1,15	0,00
2L – Döner ekipmanlar	456 kW üzerinde kompresör veya pompa mevcudiyeti yoktur.	HAYIR	0,50		0,00
Özel Proses Faktörü (F_2)					**3,86**

Tablo 4.4 P-0301 tag numaralı pompa değerlendirmesi (Devamı)

TEHLİKELİ EKİPMAN DEĞERLENDİRME	
Genel Proses Faktörü (F_1)	2,25
Özel Proses Faktörü (F_2)	3,86
Proses Birimi Tehlikeleri Faktörü (F)	8,69
Kullanılan Proses Birimi Tehlikeleri Faktörü (F) (Max = 8)	8,00
Yangın ve Patlama İndeksi (DOW F&EI) (F&EI =MFxF)	128,00
Toksisite Faktörü (T_h)	125,00
MAC Değeri için Penaltı (T_s)	75,00
Toksikoloji İndeksi (ICI MOND) [$T_h + T_s(1+F_1+F_2)$]/100	6,58

Tablo 4.4 P-0301 tag numaralı pompa değerlendirmesi (Devamı)

DEĞERLENDİRME ÖZETİ	
DOW F&EI Yangın ve Patlama İndeksi	Yüksek Risk
ICI MOND Toksikoloji İndeksi	Düşük – Orta Risk

Tablo 4.5 P-0302 tag numaralı pompa değerlendirmesi

ARAMIS Metodolojisi – DOW Yangın ve Patlama İndeksi – ICI MOND İndeksi **Tehlikeli Ekipman Gruplandırma**									
Fabrika	Merkez	**Proses**	Çözücü Hammadde Depolama Sahası				**Tarih**	05.05.2024	
Ekipman	Pompa	**Açıklama**	P-0302 nolu pompa				**Tag No.**	P-0302	
Ekipmanın Bulundurduğu Kimyasal Bilgisi									
Kimyasal Türü/Adı	**Flaş Noktası (°C)**	**Kaynama Noktası (°C)**	**Kimyasalın Fazı**	**Hc (kg/kcal)**	**TLV/TWA (ppm)**	**Sağlık (NFPA)**	**Yanıcılık (NFPA)**	**Reaktivite (NFPA)**	**Malzeme Faktörü (MF)**
Çözücü Kimyasal	41	150	Sıvı	10.300,00	100,00	2,00	3,00	0,00	16,00

Tablo 4.5 P-0302 tag numaralı pompa değerlendirmesi (Devamı)

ARAMIS Metodolojisine göre Sınıflandırma							
Ekipman Tipi	Basınçlı Taşıma Ekipmanı/Aracı			**Tip Kodu**	EQ8		
M_a	**Kütle (kg) ya da (kg/10 dk)**	**Karışımdaki Oranı (%)**	**M (Ekipmandaki kütle (kg))**	**Hacim (m^3) ya da Debi (m^3/10 dk)**	**Karışımdaki Oranı (%)**	**(Ekipmandaki debi (m^3/10 dk))**	
10.000,00	960,00	100	960,00	1,33	1000	1,33	
Çözücü Kimyasal	S_1	S_2	M_b	Sonuç	S_3	M_c	Sonuç	Ekipman
	0,05	0,00	100.000,00	M<Mb	0,10	10.000,00	M<M_c	**Büyük Kaza Ekipmanı Değildir**
Domino Etkisinin Değerlendirilmesi	En Yakın Seçilen Ekipman	DT-03 dolum tankı	En Yakın Büyük Kaza Ekipmanına Uzaklık(m)	5			

Tablo 4.5 P-0302 tag numaralı pompa değerlendirmesi (Devamı)

Proses İşletme Bilgisi					
Proses Sıcaklığı (°C)	22	**Proses Basıncı (kg/cm^2g)**	1,02	**Tahliye Basıncı (kg/cm^2g)**	0,00

Genel ve Özel Proses Tehlikeleri				
1- Genel Proses Tehlikeleri	**E/H**	**Penaltı Faktörü Aralığı**		**Kullanılan Penaltı Faktörü**
Temel Faktör		1,00	1,00	1,00
1A – Ekzotermik Reaksiyonlar	U/D	0,30	1,25	0,00
1B – Endotermik Reaksiyonlar	U/D	0,20	0,40	0,00

Tablo 4.5 P-0302 tag numaralı pompa değerlendirmesi (Devamı)

1C – Kimyasal Transferi ve İşleme	Yanıcı Sıvı/Gazlar - NFPA Yanıcılık Sınıflaması 3 veya 4	EVET			0,85
1C-Kimyasal Transferi ve İşleme Evet İse; (Ambar ve Depo gibi yerlerde) raflar için sabit sprinkler sistemi mevcut mu?		HAYIR			0,20
1C – Bölümden Alınan Toplam Değer			0,25	1,05	1,05
1D – Açık Proses/Kapalı Proses	Açık Proses Sahası	EVET			0,00
4.535 kg'dan (3.783m^3) Fazla Sıvı Miktarı mevcut mu?		HAYIR			
Yeterli Mekanik Havalandırma mevcut mu?		HAYIR			
1D – Bölümden Alınan Toplam Değer			0,25	0,90	0,00

Tablo 4.5 P-0302 tag numaralı pompa değerlendirmesi (Devamı)

1E – En az 2 Yönden erişim (en az bir tanesi yol)		EVET	0,20	0,35	0,20
1F – Drenaj ve Döküntü Kontrolü		EVET	0,25	0,50	0,00
Genel Proses Faktörü (F_1)					**2,25**
2. Özel Proses Tehlikeleri		**E/H**	**Penaltı Faktörü Aralığı**		**Kullanılan Penaltı Faktörü**
Temel Faktör			1,00	1,00	1,00
2A – Toksik Kimyasal	NFPA – Sağlık Değeri 2	E	0,00	0,80	0,40
2B – Vakum Durumu		U/D	0,00	0,50	0,00

Tablo 4.5 P-0302 tag numaralı pompa değerlendirmesi (Devamı)

2C – Alevlenme Aralığı veya Limitlere Yakın İşletme				
NFPA Yanıcılık Değeri 3 veya 4 olan kimyasal depolayan tanklar	HAYIR	0,5	0,80	0,00
İnert gaz kullanımı olan tanklar	HAYIR	0,5		0,00
Sürekli alevlenme aralığında, gaz tahliyesi yapılamayan proses	EVET	0,80		0,80
İşletme veya ekipman hatası ile yanıcı ortam oluşması	EVET	0,30		0,30
2C – Bölümden Alınan Toplam Değer				0,80
2D – Toz Patlaması	HAYIR	0,25	2,00	0,00

Tablo 4.5 P-0302 tag numaralı pompa değerlendirmesi (Devamı)

2E – Basınç				EVET			0,21
İşletme Basıncı (kg/cm^{2}g)		1,02					0,18
Tahliye Basıncı (kg/cm^{2}g)		0,00					0,16
2F – Düşük Sıcaklık				HAYIR	0,20	0,30	0,00
2G – İşletmede veya Tankta Yanıcı/Reaktif Sıvı/Gaz Miktarı		Proses içerisinde sıvı veya gaz		EVET			0,15
Kimyasal (kg)	960,00	2.116,80	lb	P-0301 pompası debisi 1,33 m3/10 dk'dır. Çözücü kimyasal yoğunluğu 720 kg/m^3 olarak alınmıştır.			
Kimyasal için (kcal/kg)	10.300,00	0,0000409	MMBtu (10^{-9})				
Toplam Enerji	9888000 kcal Total		0,03925536 MMBtu (10^{-9})				

Tablo 4.5 P-0302 tag numaralı pompa değerlendirmesi (Devamı)

2H – Korozyon ve Erozyon	< 0,0127 mm/yıl korozyon hızı	EVET	0,10	0,70	0,10
2I – Sızıntı ve Bağlantı Yerleri	Hat üzerindeki ekipmanlara bağlı pompaların ve bağlantıların küçük çaplı kaçak yapma ihtimali	EVET	0,10	1,50	0,10
2J – Ateşli Ekipman Mevcudiyeti		HAYIR	1,00		0,00
2K – Sıcak Yağlı Sistem	Isı değiştirici mevcut değildir.	HAYIR	0,15	1,15	0,00
2L – Döner ekipmanlar	456 kW üzerinde kompresör veya pompa mevcudiyeti yoktur.	HAYIR	0,50		0,00
Özel Proses Faktörü (F_2)					**3,86**

Tablo 4.5 P-0302 tag numaralı pompa değerlendirmesi (Devamı)

TEHLİKELİ EKİPMAN DEĞERLENDİRME	
Genel Proses Faktörü (F_1)	2,25
Özel Proses Faktörü (F_2)	3,86
Proses Birimi Tehlikeleri Faktörü (F)	8,69
Kullanılan Proses Birimi Tehlikeleri Faktörü (F) (Max = 8)	8,00
Yangın ve Patlama İndeksi (DOW F&EI) (F&EI =MFxF)	128,00
Toksisite Faktörü (T_h)	125,00
MAC Değeri için Penaltı (T_s)	75,00
Toksikoloji İndeksi (ICI MOND) [$T_h + T_s(1+F_1+F_2)$]/100	6,58

Tablo 4.5 P-0302 tag numaralı pompa değerlendirmesi (Devamı)

DEĞERLENDİRME ÖZETİ	
DOW F&EI Yangın ve Patlama İndeksi	Yüksek Risk
ICI MOND Toksikoloji İndeksi	Düşük – Orta Risk

Tablo 4.6 L-0102 line numaralı boru hattı değerlendirmesi

ARAMIS Metodolojisi – DOW Yangın ve Patlama İndeksi – ICI MOND İndeksi **Tehlikeli Ekipman Gruplandırma**									
Fabrika	Merkez	**Proses**	Çözücü Hammadde Depolama Sahası			**Tarih**	05.05.2024		
Ekipman	Boru İletim Ağı	**Açıklama**	P-0302 Pompası Çıkışı			**Tag No.**	L-0102		
Ekipmanın Bulundurduğu Kimyasal Bilgisi									
Kimyasal Türü/Adı	**Flaş Noktası (°C)**	**Kaynama Noktası (°C)**	**Kimyasalın Fazı**	**Hc (kg/kcal)**	**TLV/TWA (ppm)**	**Sağlık (NFPA)**	**Yanıcılık (NFPA)**	**Reaktivite (NFPA)**	**Malzeme Faktörü (MF)**
Çözücü Kimyasal	41	150	Sıvı	10.300,00	100,00	2,00	3,00	0,00	16,00

Tablo 4.6 L-0102 line numaralı boru hattı değerlendirmesi (Devamı)

ARAMIS Metodolojisine göre Sınıflandırma							
Ekipman Tipi	Boru İletim Ağı			**Tip Kodu**	EQ10		
M_a	**Kütle (kg) ya da (kg/10 dk)**	**Karışımdaki Oranı (%)**	**M (Ekipmandaki kütle (kg))**	**Hacim (m^3) ya da Debi (m^3/10 dk)**	**Karışımdaki Oranı (%)**	**(Ekipmandaki debi (m^3/10 dk))**	
10.000,00	960,00	100	960,00	1,33	1000	1,33	
Çözücü Kimyasal	S_1	S_2	M_b	Sonuç	S_3	M_c	Sonuç	Ekipman
	0,05	0,00	100.000,00	M<Mb	0,10	10.000,00	M<M_c	**Büyük Kaza Ekipmanı Değildir**
Domino Etkisinin Değerlendirilmesi	En Yakın Seçilen Ekipman	-	En Yakın Büyük Kaza Ekipmanına Uzaklık(m)	-			

Tablo 4.6 L-0102 line numaralı boru hattı değerlendirmesi (Devamı)

Proses İşletme Bilgisi					
Proses Sıcaklığı (°C)	22	**Proses Basıncı (kg/cm^2g)**	1,02	**Tahliye Basıncı (kg/cm^2g)**	0,00

Genel ve Özel Proses Tehlikeleri				
1- Genel Proses Tehlikeleri	**E/H**	**Penaltı Faktörü Aralığı**		**Kullanılan Penaltı Faktörü**
Temel Faktör		1,00	1,00	1,00
1A – Ekzotermik Reaksiyonlar	U/D	0,30	1,25	0,00
1B – Endotermik Reaksiyonlar	U/D	0,20	0,40	0,00

Tablo 4.6 L-0102 line numaralı boru hattı değerlendirmesi (Devamı)

1C – Kimyasal Transferi ve İşleme	Yanıcı Sıvı/Gazlar - NFPA Yanıcılık Sınıflaması 3 veya 4	EVET			0,85
1C-Kimyasal Transferi ve İşleme Evet İse; (Ambar ve Depo gibi yerlerde) raflar için sabit sprinkler sistemi mevcut mu?		HAYIR			0,20
1C – Bölümden Alınan Toplam Değer			0,25	1,05	1,05
1D – Açık Proses/Kapalı Proses	Açık Proses Sahası	EVET			0,00
4.535 kg'dan (3.783m^3) Fazla Sıvı Miktarı mevcut mu?		HAYIR			
Yeterli Mekanik Havalandırma mevcut mu?		HAYIR			
1D – Bölümden Alınan Toplam Değer			0,25	0,90	0,00
1E – En az 2 Yönden erişim (en az bir tanesi yol)		EVET	0,20	0,35	0,20

Tablo 4.6 L-0102 line numaralı boru hattı değerlendirmesi (Devamı)

1F – Drenaj ve Döküntü Kontrolü		EVET	0,25	0,50	0,00
Genel Proses Faktörü (F_1)					**2,25**
2. Özel Proses Tehlikeleri		**E/H**	**Penaltı Faktörü Aralığı**		**Kullanılan Penaltı Faktörü**
Temel Faktör			1,00	1,00	1,00
2A – Toksik Kimyasal	NFPA – Sağlık Değeri 2	E	0,00	0,80	0,40
2B – Vakum Durumu		U/D	0,00	0,50	0,00

Tablo 4.6 L-0102 line numaralı boru hattı değerlendirmesi (Devamı)

2C – Alevlenme Aralığı veya Limitlere Yakın İşletme				
NFPA Yanıcılık Değeri 3 veya 4 olan kimyasal depolayan tanklar	HAYIR	0,5		0,00
İnert gaz kullanımı olan tanklar	HAYIR	0,5		0,00
Sürekli alevlenme aralığında, gaz tahliyesi yapılamayan proses	EVET	0,80		0,80
İşletme veya ekipman hatası ile yanıcı ortam oluşması	EVET	0,30		0,30
2C – Bölümden Alınan Toplam Değer				0,80
2D – Toz Patlaması	HAYIR	0,25	2,00	0,00

Tablo 4.6 L-0102 line numaralı boru hattı değerlendirmesi (Devamı)

2E – Basınç				EVET			0,21
İşletme Basıncı (kg/cm2g)		1,02					0,18
Tahliye Basıncı (kg/cm^{2}g)		0,00					0,16
2F – Düşük Sıcaklık				HAYIR	0,20	0,30	0,00
2G – İşletmede veya Tankta Yanıcı/Reaktif Sıvı/Gaz Miktarı		Proses içerisinde sıvı veya gaz		EVET			0,15
Kimyasal (kg)	960,00	2.116,80	lb	P-0302 tag numaralı pompa çıkış debisi 1,33 m3/10 dk'dır. Çözücü kimyasal yoğunluğu 720 kg/m^3 olarak alınmıştır.			
Kimyasal için (kcal/kg)	10.300,00	0,0000409	MMBtu (10^{-9})				
Toplam Enerji	9888000 kcal Total		0,03925536 MMBtu (10^{-9})				

Tablo 4.6 L-0102 line numaralı boru hattı değerlendirmesi (Devamı)

2H – Korozyon ve Erozyon	< 0,0127 mm/yıl korozyon hızı	EVET	0,10	0,70	0,10
2I – Sızıntı ve Bağlantı Yerleri	Hat üzerindeki ekipmanlara bağlı pompaların ve bağlantıların küçük çaplı kaçak yapma ihtimali	EVET	0,10	1,50	0,10
2J – Ateşli Ekipman Mevcudiyeti		HAYIR	1,00		0,00
2K – Sıcak Yağlı Sistem	Isı değiştirici mevcut değildir.	HAYIR	0,15	1,15	0,00
2L – Döner ekipmanlar	456 kW üzerinde kompresör veya pompa mevcudiyeti yoktur.	HAYIR	0,50		0,00
Özel Proses Faktörü (F_2)					**3,86**

Tablo 4.6 L-0102 line numaralı boru hattı değerlendirmesi (Devamı)

TEHLİKELİ EKİPMAN DEĞERLENDİRME	
Genel Proses Faktörü (F_1)	2,25
Özel Proses Faktörü (F_2)	3,86
Proses Birimi Tehlikeleri Faktörü (F)	8,69
Kullanılan Proses Birimi Tehlikeleri Faktörü (F) (Max = 8)	8,00
Yangın ve Patlama İndeksi (DOW F&EI) (F&EI =MFxF)	128,00
Toksisite Faktörü (T_h)	125,00
MAC Değeri için Penaltı (T_s)	75,00
Toksikoloji İndeksi (ICI MOND) [$T_h + T_s(1+F_1+F_2)$]/100	6,58

Tablo 4.6 L-0102 line numaralı boru hattı değerlendirmesi (Devamı)

DEĞERLENDİRME ÖZETİ	
DOW F&EI Yangın ve Patlama İndeksi	Yüksek Risk
ICI MOND Toksikoloji İndeksi	Düşük – Orta Risk

Genel ve özel proses tehlikeleri değerlendirilirken, Temel Faktör 1 olarak alınır.

Uygulanabilir olmayan durumlarda penaltı faktörü 0 olarak uygulanır.

İşletme esnasında, herhangi bir ekzotermik ya da endotermik reaksiyon olmadığından, 1A – Ekzotermik Reaksiyonlar ve 1B – Endotermik Reaksiyonlar tehlikeleri için penaltı faktörü 0 olarak uygulanmıştır.

1C – Kimyasal transferi ve İşletme için, çözücü kimyasal yanıcılık sınıfı 3 olduğu için 0,85 penaltı faktörü uygulanmış, buna ek olarak, sprinkler sistemi mevcut olmadığından 0,20 daha penaltı faktörü göz önünde bulundurulmuş ve toplam penaltı faktörü 1,05 olmuştur.

1D – Açık Proses/Kapalı Proses için, açık proses alanlarında penaltı faktörü 0 olarak uygulanmaktadır.

1E – En az 2 Yönden erişim (en az bir tanesi yol) tehlikesi için, yeterli olmayan erişim yüzünden yangın tehlikesi göz önünde bulundurularak penaltı faktörü 0,20 olarak uygulanmıştır.

1F – Drenaj ve Döküntü Kontrolü tehlikesi için, yeterli drenaj mevcut olduğundan penaltı faktörü 0 alınmıştır.

2A – Toksik Kimyasal tehlikesinde penaltı faktörü hesaplanırken, NFPA Sağlık değeri 0,2 ile çarpılarak, penaltı faktörü 0,40 alınmıştır.

2B – Vakum Durumu tehlikesinde, ekipman 500 mmHg altında çalışıyorsa penaltı faktörü 0,5 olarak alınır, vakum olmadığından penaltı faktörü 0 alınmıştır.

2C – Alevlenme Aralığı veya Limitlere Yakın İşletme durumunda, en yüksek penaltı faktörü değerlendirmeye alınır. DT-03 tag numaralı depolama tankı için, NFPA yanıcılık değeri 3 olan kimyasal depolandığından penaltı faktörü 0,80; diğer ekipmanların değerlendirmesinde de, depolama mevcut olmayıp ancak gaz tahliyesi yapılamadığından penaltı faktörü 0,80 alınmıştır.

2D – Toz Patlaması için, proseste toz bulunmadığından penaltı faktörü 0 alınmıştır.

2E – Basınç tehlikesi için, DT-03 tag numaralı depolama tankı hariç penaltı faktörü 0,21 alınmıştır. DT-03 tag numaralı depolama tankı için, tahliye sistemi mevcut olduğundan 0,12 penaltı faktörü kullanılmıştır.

2F – Düşük Sıcaklık için, ekipmanlar tasarım değerlerinde çalıştığı için, penaltı faktörü 0 alınmıştır.

2G – İşletmede veya Tankta Yanıcı/Reaktif Sıvı/Gaz Miktarı tehlikesinde, kimyasalın proses içerisinde sıvı veya gaz bulunan miktarına göre penaltı faktörü 0,15'tir.

2H- Korozyon ve Erozyon için, işletmede kullanılan çeliğin korozyon hızı < 0,0127 mm/yıl olduğundan penaltı faktörü 0,10 alınmıştır.

2I – Sızıntı ve Bağlantı Yerleri için, hat üzerindeki ekipmanlara bağlı pompaların ve bağlantıların küçük çaplı kaçak yapma ihtimali olduğundan penaltı faktörü 0,10 alınmıştır.

2J – Ateşli Ekipman mevcudiyeti olmadığından, penaltı faktörü 0 alınmıştır.

2K – Sıcak Yağ Sürkülasyonu için, ısı değiştirici mevcut olmadığından, penaltı faktörü 0 alınmıştır.

2L – Rotatif ekipmanlar için, 456 kW üzerinde kompresör veya 46 kW üzerinde pompa mevcudiyeti olmadığından penaltı faktörü 0'dır.

Proses Birimi Tehlikeleri Faktörü (F) azami 8,00 olabileceğinden 8,69 değeri değil 8,00 değeri kullanılmıştır.

Toksisite Faktörü (T_h), NFPA sağlık değerine göre belirlenmektedir. Proseste değerlendirmeye alınan kimyasalın NFPA sağlık değeri 2 olduğundan, T_h değeri 125 olarak kullanılmıştır. MAC Değeri için Penaltı Değeri (T_s) 75 olarak kullanılmaktadır.

Yukarıda görüldüğü gibi, ARAMIS Vade Mecum metoduyla ekipmanlar büyük kaza ekipmanı olmayıp, yalnızca DT-03 tag numaralı dolum tankı değerlendirilmesinde, domino etkisi nedeniyle büyük kaza ekipmanı olduğu görülmüştür. Ancak, DOW FE&I tekniğine bakıldığında ekipmanların riski "Yüksek" olarak görülmektedir. ICI MOND indeksine göre bakıldığında ise, ekipmanların "Orta – Düşük Risk" grubuna ait olduğu görülmektedir. Tesisin, tehlikeli ekipman gruplandırmasına ait sonuçlar Tablo 4.7 üzerinde verilmiştir.

Tablo 4.7 Tehlikeli ekipman gruplandırmasına ait sonuçlar

Ekipman Bilgisi	DOW FE&I Değerlendirme Sonucu	ICI MOND Değerlendirme Sonucu
L-0101 line numaralı boru hattı	128 (Yüksek Risk)	6,58 (Orta – Düşük Risk)
DT-03 tag numaralı depolama tankı	128 (Yüksek Risk)	6,46 (Orta – Düşük Risk)
P-0301 tag numaralı pompa	128 (Yüksek Risk)	6,58 (Orta – Düşük Risk)
L-0101 line numaralı boru hattı	128 (Yüksek Risk)	6,58 (Orta – Düşük Risk)
P-0302 tag numaralı pompa	128 (Yüksek Risk)	6,58 (Orta – Düşük Risk)

Risk değerlendirmelerinde, kabul edilebilir ve güvenli alanda kalmak için risklerin Düşük Risk olarak nitelendirilmesi gerektiğinden, HAZOP ve LOPA tekniği ile proses riskleri üzerinden çalışılarak risk azaltımına gidilmesi gerekmektedir.

4.3.2 Proses Risk Değerlendirme

HAZOP ve LOPA tekniği kullanarak risk değerlendirme gerçekleştirilirken, şiddet, riskin meydana gelmesi senaryosunda oluşabilecekleri ifade ederken, olasılık tehlikenin bağlı olduğu ekipmanın PFD (Talep anında hata yapma olasılığı) değerini ifade eder. OREDA 2015 veri tabanından [43] bu değerler elde edilmiş ve Tablo 4.8 üzerinde verilmiştir. Yalnızca filtre için bu değer EIReDA [44] üzerinden

elde edilmiştir. Bu değerler, gerçekleştirilen risk değerlendirmesi çalışması üzerinde de verilmelidir [5].

Tablo 4.8 Ekipmanların PFD değerleri

Ekipman	**PFD Değeri (Hata Oranı)**	**Yılda Gerçekleşme Olasılık Değeri**
Proses sensörü (Genel)	0,0874248	10^{-2}
Proses sensörü – Seviye	0,4444824	10^{-1}
Proses sensörü – Sıcaklık	0,0317988	10^{-2}
Proses sensörü – Basınç	0,0466032	10^{-2}
Proses sensörü – Akış	0,0317988	10^{-2}
PSV	0,0309228	10^{-2}
Proses Kontrol Vanaları (Genel)	0,3331428	10^{-1}
Vanalar (Manuel)	0,1522488	10^{-1}
Pompa (Genel)	1,0384104	1
Shut-Off Valve	0,1842228	10^{-1}
Relief PSV	0,0519468	10^{-2}
Filtre	0,14892	10^{-1}
Load Cell	0,0416976	10^{-2}

HAZOP tekniğinde, kılavuz kelimeler ile proses parametreleri üzerinde çalışmalar yapılır ve böylelikle oluşabilecek sapmalar belirlenmiş olur. Sapmalar sonucu tanımlanan risklerin olasılık ve şiddeti değerlendirilerek Risk Öncelik Sayısı (RÖS) hesaplanır. Mevcut güvenlik önlemleri kuruluşun risk analizi ekibi ile birlikte belirlenir ve ne kadar azaltılacağına LOPA tekniği ile karar verilir. HAZOP risk matrisinde yeşil bölgeye geçilmediyse, yani riskin meydana gelme olasılığı $1x10^{-4}$/yıl veya altına düşmediyse, aksiyon önerileri ile yeniden RÖS değeri hesaplanır ve bu işlem yeterli güvenlik önlemleri tanımlanana ve yeşil bölgeye geçilene kadar devam eder.

Çözücü hammadde depolama sahasında, HAZOP kılavuz kelimeleri ve akış, sıcaklık, basınç, seviye, insan faktörü, statik elektrik gibi proses parametreleri kullanılarak risk analizi çalışması gerçekleştirilmiştir. Kılavuz kelime ve proses öğeleri kullanılarak belirlenen sapma ve olası nedenleri Tablo 4.9 üzerinde verilmiştir. Tablo 4.10'da ise, ilgili hatanın neden olabileceği sonuçlar, önlemler ve gerekli aksiyonlar tanımlanmıştır.

Tablo 4.9 Proses ve tesise ait sapma ve hatalar

No	Kılavuz Kelime	Öğe	Sapma	Olası Neden
1	Fazla (more)	Sıcaklık	Yüksek sıcaklık	TT-0302 tag numaralı sıcaklık transmitterinin sensör hatası
2	Fazla (more)	Basınç	Yüksek basınç	PT-0301 tag numaralı basınç transmitterinin sensör hatası
3	Hiç (none)	Akış	Akış Yok	V-0301 tag numaralı vananın kapalı durumda kalması
4	Hiç (none)	Akış	Akış Yok	V-0301 tag numaralı manuel vananın operatör tarafından kapalı konumda bırakılma hatası

Tablo 4.9 Proses ve tesise ait sapma ve hatalar (Devamı)

No	Kılavuz Kelime	Öğe	Sapma	Olası Neden
5	Hiç (none)	Akış	Akış Yok	V-0303 tag numaralı vananın kapalı durumda kalması
6	Hiç (none)	Akış	Akış Yok	V-0306 tag numaralı vananın kapalı durumda kalması
7	Fazla (more)	Seviye	Yüksek seviye	LS-0301 tag numaralı seviye transmitteri hatası
8	Parçası (part of)	Akış	Kısmi Akış	F-0301 tag numaralı pompa giriş filtresinin tıkanması
9	Fazla (more)	Seviye	Yüksek seviye	WT-0301 ağırlık transmitteri hatası

Tablo 4.9 Proses ve tesise ait sapma ve hatalar (Devamı)

No	Kılavuz Kelime	Öğe	Sapma	Olası Neden
10	Fazla (more)	Basınç	Yüksek basınç	PT-0302 tag numaralı basınç transmitteri hatası
11	Fazla (more)	Seviye	Yüksek seviye	XV-0303 tag numaralı otomatik vananın kapalı konumda kalması
12	Hiç (none)	Akış	Akış Yok	XV-0303 tag numaralı otomatik vananın kapalı konumda kalması
13	Fazla (more)	Sıcaklık	Yüksek sıcaklık	XV-0302 tag numaralı otomatik vananın kapalı konumda kalması
14	Dan başka (other than)	Seviye	Deprem	Deprem oluşumu

Tablo 4.9 Proses ve tesise ait sapma ve hatalar (Devamı)

No	Kılavuz Kelime	Öğe	Sapma	Olası Neden
15	Dan başka (other than)	Seviye	Sel	Sel oluşumu
16	Dan başka (other than)	Seviye	Yıldırım	Yıldırım düşmesi
17	Dan başka (other than)	Seviye	Sabotaj	Sabotaj yapılması
18	Fazla (more)	Sıcaklık	Yüksek sıcaklık	TT-0303 tag numaralı sıcaklık transmitterinin sensör hatası
19	Fazla (more)	Sıcaklık	Yüksek sıcaklık	TT-0301 tag numaralı sıcaklık transmitterinin sensör hatası
20	Fazla (more)	Statik Elektrik	Yüksek statik elektrik	L-0101 line numaralı boru hattında statik elektrik oluşumu hatası

Tablo 4.10 Proses ve tesise ait risk değerlendirmesi

No	Olası Neden	Olası Sonuçlar	Önlemsiz RÖS Değeri	Mevcut Önlemler	Önlem Sonrası RÖS Değeri	Gerekli Aksiyonlar	Aksiyon Sonrası RÖS Değeri
1	TT-0302 tag numaralı sıcaklık transmitterinin sensör hatası	TT-0302 tag numaralı sıcaklık transmitterinin sensör hatası nedeniyle sıcaklığın kontrol edilememesi sonucu P-0301 tag numaralı pompada yangın ve patlama riski.	Şiddet: F Olasılık: IV RÖS:IVF (OREDA 2015 Sayfa: 398)	P-0301 tag numaralı pompa exproof özelliktedir. (1 IPL) XM-0301 tag numaralı pompanın motor sıcaklık sensörü sayesinde set edilen nominal değerlerinin dışında çalışması durumunda P-0301 tag numaralı pompa kendini durdurmaktadır. (4 IPL)	Şiddet: E Olasılık: II RÖS:IIE	P-0301 tag numaralı pompa girişine akış transmitteri eklenerek akışın gelmediği durumlarda pompanın çalışması engellenir. (2.1 IPL)	Şiddet: E Olasılık: I RÖS:IE

Tablo 4.10 Proses ve tesise ait risk değerlendirmesi (Devamı)

No	Olası Neden	Olası Sonuçlar	Önlemsiz RÖS Değeri	Mevcut Önlemler	Önlem Sonrası RÖS Değeri	Gerekli Aksiyonlar	Aksiyon Sonrası RÖS Değeri
2	PT-0301 tag numaralı basınç transmitterinin sensör hatası	DT-03 tankının basınçlanmasıyla sızıntı, yangın ve patlama riski.	Şiddet: F Olasılık: IV RÖS: IVF (OREDA 2015 Sayfa: 394)	XV-0301 tag numaralı otomatik vana, tankın 7mbara ulaştığında gelen sinyal ile kendiliğinden kapanmaktadır. (2.1 IPL) PRV-0301 nolu Basınç Tahliye Valfi 6 bara set edilmiştir, basınç 6 bara ulaştığında valf devreye girmektedir. (4 IPL) Alev alma durumunda FA-0301 ve FA-0302 alev tutucuları sayesinde alev tutulmaktadır. (4 IPL)	Şiddet: E Olasılık: I RÖS:IE	Mevcut önlemler yeterlidir ve aksiyona gerek yoktur.	-

Tablo 4.10 Proses ve tesise ait risk değerlendirmesi (Devamı)

No	Olası Neden	Olası Sonuçlar	Önlemsiz RÖS Değeri	Mevcut Önlemler	Önlem Sonrası RÖS Değeri	Gerekli Aksiyonlar	Aksiyon Sonrası RÖS Değeri
3	V-0301 tag numaralı vananın kapalı durumda kalması	P-0301 tag numaralı pompanın kuru çalışması sonucu yangın ve patlama riski.	Şiddet: F Olasılık: V RÖS: VF (OREDA 2015 Sayfa: 422)	P-0301 tag numaralı pompa exproof özelliktedir. (1 IPL) TT-0302 tag numaralı sıcaklık transmitterinden sinyal alınarak pompa durdurulmaktadır. (2.1 IPL) TT-0302 tag numaralı sıcaklık transmitterinden gelen sinyal ile operatör V-0301 tag numaralı vanayı açmaktadır. (2.2 IPL) XM-0301 tag numaralı pompanın motor sıcaklık sensörü sayesinde set edilen nominal değerlerinin dışında çalışması durumunda P-0301 tag numaralı pompa trip atarak durur. (4 IPL)	Şiddet: E Olasılık: I RÖS:IE	Mevcut önlemler yeterlidir ve aksiyona gerek yoktur.	-

Tablo 4.10 Proses ve tesise ait risk değerlendirmesi (Devamı)

No	Olası Neden	Olası Sonuçlar	Önlemsiz RÖS Değeri	Mevcut Önlemler	Önlem Sonrası RÖS Değeri	Gerekli Aksiyonlar	Aksiyon Sonrası RÖS Değeri
4	V-0301 tag numaralı manuel vananın operatör tarafından kapalı konumda bırakılma hatası	P-0301 tag numaralı pompanın kuru çalışması sonucu yangın ve patlama riski.	Şiddet: F Olasılık: IV RÖS: IVF (BKSD Tebliği Ek-1 8.Madde 8.3.a bendi)	P-0301 tag numaralı pompa exproof özelliktedir. (1 IPL) TT-0302 tag numaralı sıcaklık transmitterinden gelen sinyalle pompa durmaktadır. (2.1 IPL) TT-0302 tag numaralı sıcaklık transmitterinden gelen sinyal ile operatör V-0301 tag numaralı vanayı açmaktadır. (2.2 IPL) XM-0301 tag numaralı pompanın motor sıcaklık sensörü sayesinde set edilen nominal değerlerinin dışında çalışması durumunda P-0301 tag numaralı pompa kendini durdurmaktadır. (4 IPL)	Şiddet: E Olasılık: I RÖS:IE	Mevcut önlemler yeterlidir ve aksiyona gerek yoktur.	-

Tablo 4.10 Proses ve tesise ait risk değerlendirmesi (Devamı)

No	Olası Neden	Olası Sonuçlar	Önlemsiz RÖS Değeri	Mevcut Önlemler	Önlem Sonrası RÖS Değeri	Gerekli Aksiyonlar	Aksiyon Sonrası RÖS Değeri
5	V-0303 tag numaralı vananın kapalı durumda kalması	L-0101 line numaralı boru hattının basınçlanmasıyla sızıntı, yangın ve patlama riski.	Şiddet: F Olasılık: V RÖS: VF (OREDA 2015 Sayfa: 422)	Boru hattının dayanım basıncı 10 bardır. (1 IPL) Basınç artmasıyla P-0301 nolu pompanın frekans konvertörünün nominal değerlerin dışına çıkması sonucu pompa trip atacaktır. (4 IPL)	Şiddet: E Olasılık: III RÖS: IIIE	L-0101 line numaralı hat üzeine basınç transmitteri koyulması ile XV-0301 tag numaralı vananın otomatik kapatılması sağlanır. (2.1 IPL) L-0101 line numaralı hat üzerine basınç transmitteri koyulması ile operatör tarafından yüksek basınç sinyali ile acil durdurma sisteminin devreye alınması sağlanır. (2.2 IPL)	Şiddet: E Olasılık: I RÖS: IE

Tablo 4.10 Proses ve tesise ait risk değerlendirmesi (Devamı)

No	Olası Neden	Olası Sonuçlar	Önlemsiz RÖS Değeri	Mevcut Önlemler	Önlem Sonrası RÖS Değeri	Gerekli Aksiyonlar	Aksiyon Sonrası RÖS Değeri
6	V-0306 tag numaralı vananın kapalı durumda kalması	L-0101 line numaralı hattın basınçlanması sonucu sızıntı, yangın ve patlama riski.	Şiddet: F Olasılık: V RÖS: VF (OREDA 2015 Sayfa: 422)	Boru hattının dayanım basıncı 10 bardır. (1 IPL)	Şiddet: F Olasılık: IV RÖS: IVF	L-0101 line numaralı hat üzerine basınç transmitteri koyularak, nominal değerler dışına çıktığında, XV-0301 tag numaralı vana kendiliğinden kapanır. (2.1 IPL) L-0101 line numaralı hat üzerine basınç transmitteri koyularak, nominal değerlerin dışına çıktığında, verdiği ışıklı ve sesli uyarı ile, operatörün XV-0301 tag numaralı vananın kapatması sağlanır. (2.2 IPL) V-0306 tag numaralı vananın önüne basınç tahliye vanası koyularak hattaki basınç tahliye edilir. (IPL 4)	Şiddet: E Olasılık: I RÖS: IE

Tablo 4.10 Proses ve tesise ait risk değerlendirmesi (Devamı)

No	Olası Neden	Olası Sonuçlar	Önlemsiz RÖS Değeri	Mevcut Önlemler	Önlem Sonrası RÖS Değeri	Gerekli Aksiyonlar	Aksiyon Sonrası RÖS Değeri
7	LS-0301 tag numaralı seviye transmitteri hatası	DT-03 tag numaralı tankın basınçlanması sonucu sızıntı, yangın ve patlama riski.	Şiddet: F Olasılık: V RÖS: VF (OREDA 2015 Sayfa: 391)	XV-0301 tag numaralı otomatik vana, tankın 7mbara ulaştığında gelen sinyal ile kendiliğinden kapanmaktadır. (2.1 IPL) XV-0301 tag numaralı otomatik vana, PT-0301 tag numaralı basınç transmitterinin 7 mbara ulaştığında verdiği sesli ve ışıklı alarmla, operatör tarafından kapatılmaktadır. (2.2 IPL) WT-0301 tag numaralı ağırlık transmitteri ile içindeki kimyasal miktarı takip edilmekte, set edilen değere ulaştığında P-0301 tag numaralı pompa kapanmaktadır. (2.1 IPL) PRV-0301 nolu Basınç Tahliye Valfi 6 bara set edilmiştir, basınç 6 bara ulaştığında valf devreye girmektedir. (4 IPL)	Şiddet: E Olasılık: I RÖS:IE	Mevcut önlemler yeterlidir ve aksiyona gerek yoktur.	-

Tablo 4.10 Proses ve tesise ait risk değerlendirmesi (Devamı)

No	Olası Neden	Olası Sonuçlar	Önlemsiz RÖS Değeri	Mevcut Önlemler	Önlem Sonrası RÖS Değeri	Gerekli Aksiyonlar	Aksiyon Sonrası RÖS Değeri
8	F-0301 tag numaralı pompa giriş filtresinin tıkanması	L-0101 line numaralı boru hattının basınçlanmasıyla sızıntı, yangın ve patlama riski.	Şiddet: F Olasılık: V RÖS: VF (EIReDA Sayfa: 32)	Drenaj havuzu mevcuttur. (4 IPL) Boru hattı dayanımı 10 bardır. (1 IPL)	Şiddet: E Olasılık: III RÖS: IIIE	L-0101 line numaralı hat üzerinde, F-0301 tag numaralı pompa giriş filtresinin önüne basınç transmitteri koyularak, hattın olması gerekenden yüksek basınca ulaştığında uyarı vererek, operatörün V-0301 tag numaralı vanayı kapatması sağlanır. (IPL 2.2) L-0101 line numaralı hat üzerinde, F-0301 tag numaralı pompa giriş filtresinin çıkışına basınç transmitteri koyularak, hattın olması gerekenden yüksek basınca ulaştığında, transmitterin tüm sistemi kapatması sağlanır. (IPL 2.1)	Şiddet: E Olasılık: I RÖS: IE

Tablo 4.10 Proses ve tesise ait risk değerlendirmesi (Devamı)

No	Olası Neden	Olası Sonuçlar	Önlemsiz RÖS Değeri	Mevcut Önlemler	Önlem Sonrası RÖS Değeri	Gerekli Aksiyonlar	Aksiyon Sonrası RÖS Değeri
9	WT-0301 ağırlık transmitteri hatası	Yanlış sinyal ile malzeme gönderilmeye devam edilmesi sonucu tankta taşma, yangın ve patlama riski.	Şiddet: F Olasılık: V RÖS: VF (OREDA 2015 Sayfa: 387)	Tank içerisindeki kimyasal madde miktarı LS-0301 tag numaralı seviye transmitteri ile de takip edilmektedir, yüksek seviyeye ulaştığında PLC üzerinden P-0301 tag numaralı pompa kapatılmaktadır. (2.1 IPL) PRV-0301 nolu Basınç Tahliye Valfi 6 bara set edilmiştir, basınç 6 bara ulaştığında valf devreye girmektedir. (4 IPL) PT-0301 tag numaralı basınç transmitteri nominal değerin dışına çıktığında XV-0301 tag numaralı vana röle üzerinden kapanmaktadır. (2.1 IPL) Tank içerisindeki kimyasal madde miktarı LS-0301 tag numaralı seviye transmitteri ile de takip edilmektedir, yüksek seviyeye ulaştığında operatöre ulaşan ışıklı ve sesli uyarı sonrasında operatör sistemi tamamen kapatmaktadır. (2.2 IPL)	Şiddet: E Olasılık: I RÖS: IE	Mevcut önlemler yeterlidir ve aksiyona gerek yoktur.	-

Tablo 4.10 Proses ve tesise ait risk değerlendirmesi (Devamı)

No	Olası Neden	Olası Sonuçlar	Önlemsiz RÖS Değeri	Mevcut Önlemler	Önlem Sonrası RÖS Değeri	Gerekli Aksiyonlar	Aksiyon Sonrası RÖS Değeri
10	PT-0302 tag numaralı basınç transmitteri hatası	L-0102 line numaralı boru hattının basınçlanmasıyla sızıntı, yangın ve patlama riski.	Şiddet: F Olasılık: IV RÖS: IVF (OREDA 2015 Sayfa: 394)	Boru hattının dayanım basıncı 10 bardır. (1 IPL) Sızıntıya karşı taşma havuzu mevcuttur. (4 IPL)	Şiddet: E Olasılık: II RÖS: IE	L-0102 line numaralı boru hattı üzerine basınç rahatlatma ventili koyulur. (4 IPL)	Şiddet: E Olasılık: II RÖS: IE

Tablo 4.10 Proses ve tesise ait risk değerlendirmesi (Devamı)

No	Olası Neden	Olası Sonuçlar	Önlemsiz RÖS Değeri	Mevcut Önlemler	Önlem Sonrası RÖS Değeri	Gerekli Aksiyonlar	Aksiyon Sonrası RÖS Değeri
11	XV-0303 tag numaralı otomatik vananın kapalı konumda kalması	DT-03 tag numaralı tankın basınçlanması sonucu sızıntı, yangın ve patlama riski.	Şiddet: F Olasılık: V RÖS: VF (OREDA 2015 Sayfa: 422)	PT-0301 tag numaralı basınç transmitteri sinyal ile XV-0301 tag numaralı tank besleme vanasını otomatik kapatmaktadır. (2.1 IPL) LS-0301 tag numaralı seviye transmitteri sinyal ile XV-0301 tag numaralı tank besleme vanasını otomatik kapatmaktadır. (2.1 IPL) PVRV-0301 tag numaralı basınç/vakum tahliye menfezi devreye girmektedir. (4 IPL) PRV-0301 nolu Basınç Tahliye Valfi 6 bara set edilmiştir, basınç 6 bara ulaştığında valf devreye girmektedir. (4 IPL)	Şiddet: E Olasılık: I RÖS: IE	Mevcut önlemler yeterlidir ve aksiyona gerek yoktur.	-

Tablo 4.10 Proses ve tesise ait risk değerlendirmesi (Devamı)

No	Olası Neden	Olası Sonuçlar	Önlemsiz RÖS Değeri	Mevcut Önlemler	Önlem Sonrası RÖS Değeri	Gerekli Aksiyonlar	Aksiyon Sonrası RÖS Değeri
12	XV-0303 tag numaralı otomatik vananın kapalı konumda kalması	P-0302 tag numaralı pompanın kuru çalışması sonucu yangın ve patlama riski.	Şiddet: F Olasılık: V RÖS: VF (OREDA 2015 Sayfa: 422)	P-0302 tag numaralı pompa exproof özelliktedir. (1 IPL) XM-0302 tag numaralı pompanın motoru yüksek sıcaklıkla trip atar. (4 IPL) TT-0303 tag numaralı sıcaklık transmitteri set edilen nominal değerlerinin dışına çıkılması durumunda, gönderdiği sinyal ile P-0302 tag numaralı pompayı durdurmaktadır. (2.1 IPL) TT-0303 tag numaralı sıcaklık transmitteri set edilen nominal değerlerinin dışına çıkılması durumunda operatöre gönderilen sesli ışıklı uyarı ile operatör tarafından sistem kapatılmaktadır. (2.2 IPL)	Şiddet: E Olasılık: I RÖS: IE	Mevcut önlemler yeterlidir ve aksiyona gerek yoktur.	-

Tablo 4.10 Proses ve tesise ait risk değerlendirmesi (Devamı)

No	Olası Neden	Olası Sonuçlar	Önlemsiz RÖS Değeri	Mevcut Önlemler	Önlem Sonrası RÖS Değeri	Gerekli Aksiyonlar	Aksiyon Sonrası RÖS Değeri
13	XV-0302 tag numaralı otomatik vananın kapalı konumda kalması	DT-03 tag numaralı tankın soğutması yapılamadığından ısınma sonucu patlama riski.	Şiddet: F Olasılık: V RÖS: VF (OREDA 2015 Sayfa: 422)	TT-0301 tag numaralı sıcaklık transmitterinden alınan sinyalle sistem kendini kapatır. (2.1 IPL) Alev alma durumunda FA-0301 ve FA-0302 alev tutucuları sayesinde tutulmaktadır. (4 IPL) Sıcaklıkla birlikte basıncın artmasıyla, PRV-0301 tag numaralı basınç tahliye valfi devreye girmektedir. (4 IPL) Operatör PT-0301 basınç transmitterinden gelen sesli ve ışıklı uyarı ile sistemi kapatır.(2.2 IPL)	Şiddet: E Olasılık: I RÖS: IE	Mevcut önlemler yeterlidir ve aksiyona gerek yoktur.	-

Tablo 4.10 Proses ve tesise ait risk değerlendirmesi (Devamı)

No	Olası Neden	Olası Sonuçlar	Önlemsiz RÖS Değeri	Mevcut Önlemler	Önlem Sonrası RÖS Değeri	Gerekli Aksiyonlar	Aksiyon Sonrası RÖS Değeri
14	Deprem oluşumu	Deprem oluşumu sebebiyle ekipmanların yıkılması ya da devrilmesi sonucu kimyasal sızıntısı, yangın ve patlama riski.	Şiddet: F Olasılık: III RÖS: IIIF	Mevcut saha yapı denetim firmaları tarafından onaylanıp projelendirilmiş ve deprem yönetmeliği dikkate alınarak tasarlanmıştır.(1 IPL) Ekipmanlar çelik konstrüksiyon ile çevrilidir.(4 IPL) Drenaj sistemi mevcuttur. (4 IPL)	Şiddet: E Olasılık: I RÖS: IE	Mevcut önlemler yeterlidir ve aksiyona gerek yoktur.	-

Tablo 4.10 Proses ve tesise ait risk değerlendirmesi (Devamı)

No	Olası Neden	Olası Sonuçlar	Önlemsiz RÖS Değeri	Mevcut Önlemler	Önlem Sonrası RÖS Değeri	Gerekli Aksiyonlar	Aksiyon Sonrası RÖS Değeri
15	Sel oluşumu	Sel oluşumu sebebiyle ekipmanların yıkılması ya da devrilmesi sonucu kimyasal sızıntısı, yangın ve patlama riski.	Şiddet: F Olasılık: III RÖS: IIIF	Tesis yükseltilmiş kot üzerine kurulmuştur.(4 IPL) Tesiste drenaj kanalları ve tahliye kanalları mevcuttur. (4 IPL)	Şiddet: E Olasılık: I RÖS: IE	Mevcut önlemler yeterlidir ve aksiyona gerek yoktur.	-

Tablo 4.10 Proses ve tesise ait risk değerlendirmesi (Devamı)

No	Olası Neden	Olası Sonuçlar	Önlemsiz RÖS Değeri	Mevcut Önlemler	Önlem Sonrası RÖS Değeri	Gerekli Aksiyonlar	Aksiyon Sonrası RÖS Değeri
16	Yıldırım düşmesi	Yıldırım düşmesi sonucu yangın ve patlama riski.	Şiddet: F Olasılık: III RÖS: IIIF	Tesiste paratoner mevcuttur. (4 IPL) Eş potansiyel bara topraklama mevcuttur. (4 IPL)	Şiddet: E Olasılık: I RÖS: IE	Mevcut önlemler yeterlidir ve aksiyona gerek yoktur.	-
17	Sabotaj yapılması	Sabotaj sonucu tesiste yangın çıkma riski.	Şiddet: F Olasılık: III RÖS: IIIF	Tüm tesis güvenlik ekiplerince 7/24 izlenmektedir.(4 IPL) Güvenli tesis belgesi ve uygulamaları mevcuttur. (4 IPL)	Şiddet: E Olasılık: I RÖS: IE	Mevcut önlemler yeterlidir ve aksiyona gerek yoktur.	-

Tablo 4.10 Proses ve tesise ait risk değerlendirmesi (Devamı)

No	Olası Neden	Olası Sonuçlar	Önlemsiz RÖS Değeri	Mevcut Önlemler	Önlem Sonrası RÖS Değeri	Gerekli Aksiyonlar	Aksiyon Sonrası RÖS Değeri
18	TT-0303 tag numaralı sıcaklık transmitterinin sensör hatası	TT-0303 tag numaralı sıcaklık transmitterinin sensör hatası nedeniyle sıcaklığın kontrol edilememesi sonucu P-0302 tag numaralı pompada yangın ve patlama riski.	Şiddet: F Olasılık: IV RÖS:IVF (OREDA 2015 Sayfa: 398)	P-0302 tag numaralı pompa exproof özelliktedir. (1 IPL) XM-0302 tag numaralı pompanın motoru yüksek sıcaklıkla trip atarak durur. (4 IPL)	Şiddet: E Olasılık: II RÖS:IIE	P-0302 tag numaralı pompa girişine akış transmitteri eklenerek akışın gelmediği durumlarda pompanın çalışması engellenir. (2.1 IPL)	Şiddet: E Olasılık: I RÖS:IE

Tablo 4.10 Proses ve tesise ait risk değerlendirmesi (Devamı)

No	Olası Neden	Olası Sonuçlar	Önlemsiz RÖS Değeri	Mevcut Önlemler	Önlem Sonrası RÖS Değeri	Gerekli Aksiyonlar	Aksiyon Sonrası RÖS Değeri
19	TT-0301 tag numaralı sıcaklık transmitterinin sensör hatası	TT-0301 tag numaralı sıcaklık transmitterinin sensör hatası nedeniyle sıcaklığın kontrol edilememesi sonucu DT-03 tag numaralı depolama tankının sızıntı, yangın ve patlama riski.	Şiddet: F Olasılık: IV RÖS:IVF (OREDA 2015 Sayfa: 398)	XV-0301 tag numaralı otomatik vana, sıcaklıkla birlikte basıncın artması sonucu tankın 7mbara ulaşmasıyla gelen sinyal ile kendiliğinden kapanmaktadır. (2.1 IPL) PRV-0301 nolu Basınç Tahliye Valfi 6 bara set edilmiştir, basınç 6 bara ulaştığında valf devreye girmektedir. (4 IPL) Alev alma durumunda FA-0301 ve FA-0302 alev tutucuları sayesinde tutulmaktadır. (4 IPL)	Şiddet: E Olasılık: I RÖS:IE	Mevcut önlemler yeterlidir ve aksiyona gerek yoktur.	-

Tablo 4.10 Proses ve tesise ait risk değerlendirmesi (Devamı)

No	Olası Neden	Olası Sonuçlar	Önlemsiz RÖS Değeri	Mevcut Önlemler	Önlem Sonrası RÖS Değeri	Gerekli Aksiyonlar	Aksiyon Sonrası RÖS Değeri
20	L-0101 line numaralı boru hattında statik elektrik oluşumu hatası	L-0101 line numaralı boru hattında statik elektrik oluşumu hatası sebebiyle yangın ve patlama riski.	Şiddet: F Olasılık: IV RÖS: IVF	Eş potansiyel bara topraklama mevcuttur. (4 IPL) Parafudr mevcuttur. (4 IPL) Alanda bulunan tüm ekipmanlar exproof özelliktedir. (1 IPL)	Şiddet: E Olasılık: I RÖS: IE	Mevcut önlemler yeterlidir ve aksiyona gerek yoktur.	-

5
SONUÇ

Yürütülen çalışmada, uluslararası geçerliliği olan Seveso III Direktifi'nin, ülkemizde yürütülen BEKRA mevzuatı olarak bilinen Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik ile olan ilişkisinden bahsedilmiştir. BEKRA mevzuatına göre bir kuruluşun genel sorumlulukları tanımlanmış, alevlenir sıvı olan çözücü hammaddenin depolama sahasında risk değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Tesiste, Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi (HAZOP), Koruma Katmanları Analizi (LOPA) ile birlikte yürütülmüştür. Analizler gerçekleştirilirken, temel proses kontrol sistemine ait iyileştirmeler ve mevcut uygulamalar dikkate alınmıştır. Proses değerlendirme sırasında bilgiler, firmadan temin edilmiş, firma beyanına göre çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma ile alevlenir sıvı bulunduran bir tesisin, risk analizinin HAZOP ve LOPA teknikleri ile gerçekleştirilerek, büyük kaza gerçekleşme frekansının, mevzuat sınırları içerisinde olup olmadığının değerlendirilebileceği gösterilmiştir.

Gerçekleştirilen çalışmada, proseste yer alan kimyasalın, P5c Alevlenir Sıvılar kategorisinde yer almasıyla, BEKRA mevzuatına göre kuruluşun risk değerlendirmesini gerçekleştirme gerekliliği doğmuştur. ARAMIS Vade Mecum metodu ile yalnızca DT-03 tag numaralı depolama tankının domino etkisi ile büyük kaza ekipmanı olduğu, DOW Yangın ve Patlama İndeksi'ne göre ekipmanların riskinin "Yüksek" olduğu ve ICI MOND Yangın, Patlama ve Toksisite İndeksi'ne göre ekipmanların riskinin "Düşük – Orta" olarak belirlendiği görülmüştür. Ekipmanların düşük risk olarak nitelendirilmemesi nedeniyle, HAZOP ve LOPA teknikleri ile çalışmalar gerçekleştirilmiş ve tesisin mevcut koruma sistemleri ve ek önlemler ile büyük kaza frekansının $1x10^{-4}$/yıl değerinden düşük olduğu görülmüştür. HAZOP çalışması sonucu belirlenen sapmalar, teknik arızalar, personel hataları, doğal afetler kaynaklı olup, meydana gelmesi durumunda, insan ve canlı sağlığına zarar verebilecek, ciddi boyutlarda maddi kayıplara neden olabilecek büyük kazalara yol açabilecek tehlikelerdir. Tanımlanan önlemlerle, risklerin etkisinin azalmış olması beklenmektedir. HAZOP tekniği, bir prosesteki sapmaların etkilerinin tespit edilmesini ve normal koşullar altındaki prosesle karşılaştırma yapılma imkanı sağlaması ve temelinde kimya endüstrisi için

oluşturulmuş olması ve ekiple birlikte uygulama kolaylığı içermesi açısından tercih edilmiştir. LOPA tekniği sayesinde de mevcut önlemlerin ve ek önlemlerin büyük kaza frekansına etkileri görülebilmektedir.

Yapılan çalışmanın sonucunda, alevlenir sıvı bulunduran kimyasal bir tesis için, HAZOP ve LOPA teknikleri ile elde edilen sonuçlarda, en yüksek Önlemsiz RÖS Değeri, olası nedenin vana ekipmanı kaynaklı olduğu senaryolarda elde edilmiş olup, bu değer, VF'dir. Ekipmanlar özelinde, en yüksek kaza olasılığın yine vana grubuna ait olduğu görülmüştür.

Toplam 20 adet olası hata sonuçlarına bağlı senaryo çalışılmıştır. Kuruluşun tanımladığı mevcut önlemler kimi senaryolar için yeterli gelse de, bazı senaryolar için yetersiz kalmış, bu senaryoların RÖS değerinin düşürülmesi için ek aksiyonlar çalışma içerisinde detaylandırılmıştır. Ek aksiyonların tanımlanmaması durumunda, risk azaltımı yeterli olmayacak, kuruluşta olası sapmalara bağlı sonuçların etkileri verebileceği zarar nedeniyle yüksek olacak ve mevzuat gerekleri karşılanmayacaktır. Çalışılan 20 senaryonun, 8 adedi transmitterlere, 7 adedi vana ekipmanlarına, 4 adedi doğal afet ve sabotaj ihtimaline ve 1 adedi filtre tıkanmasına bağlıdır. Kuruluşta mevcut olan önlemler, ekipmanların exproof yapıda olması, ekipmanın set edilen değerler dışına çıkması durumunda sinyal göndererek ekipmanın çalışmasının durdurulması ya da operatörün uyarılması ile harekete geçilmesi, basınç rahatlatma ventilleri ve alev tutucuların bulunması, tesisatın mevzuata uygun tesis edilmesi ve kuruluşun yönetmeliklere uygun inşa edilmiş olmasıdır. 14 adet senaryoda mevcut önlemler yeterli iken, 6 adet senaryoda ek aksiyon tanımlanması gerekmiştir. Ek aksiyon tanımlanması gereken senaryolarda;

- Sıcaklık transmitterleri hatası sebebiyle, pompaların yangın ve patlama riskine sahip olması
- Vanaların kapalı durumda kalması nedeniyle, boru hattının basınçlanarak sızıntı, yangın ve patlama riski oluşması,
- Pompa giriş filtresinin tıkanması nedeniyle, boru hattının basınçlanarak sızıntı yangın ve patlama riski oluşması,
- Basınç transmitteri hatasıyla, boru hattının basınçlanarak sızıntı, yangın ve patlama riski oluşması durumlarının mevcut olduğu görülmüştür.

Gerçekleştirilen çalışmada, mevcut önlemlerin yeterli olmadığı senaryolar için aşağıdaki ek aksiyonlar tanımlanmıştır;

- Sıcaklık transmitterleri kaynaklı olarak pompaların yangın ve patlama riski içerdiği senaryolarda, akış transmitteri eklenerek pompanın çalışmasının engellenmesi
- Vanalar kapalı konumda kalmasından kaynaklı, boru hatlarının basınçlanmasıyla sızıntı, yangın ve patlama riski içeren senaryolarda, basınç transmitteri ve basınç tahliye vanasının hat üzerine eklenmesi
- Pompa giriş filtresinin tıkanması kaynaklı, boru hatlarının basınçlanmasıyla sızıntı, yangın ve patlama riski içeren senaryolarda, hat üzerine basınç transmitteri eklenmesi
- Basınç transmitteri kaynaklı, boru hatlarının basınçlanmasıyla sızıntı, yangın ve patlama riski içeren senaryolarda basınç rahatlatma ventili koyulması

Bu aksiyonlar ile RÖS değerlerinde düşüm sağlanabileceği ve ilgili mevzuat gereği büyük kaza frekansının 1 $x10^{-4}$/yıl değerinin altında kaldığı görülmüştür.

Genel olarak, koruma katmanları göz önünde bulundurularak, riskin düşürülmesi için, boru hatları üzerine yerleştirilecek basınç transmitterlerinin olması ve otomatik sisteme bağlanması, prosesin güvenliğini artıracaktır. Otomatik sistemlerin kullanılmasıyla, insana bağlı hata riski de azalacaktır.

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde HAZOP ve LOPA teknikleri kullanılmış olmakla birlikte, BEKRA mevzuatına tabi kuruluşlar, risk değerlendirme için; aşağıdaki metotları da kullanabilmektedir.

- Ön tehlike Analizi (PHA)
- Olursa Ne Olur? (What if?)
- Birincil Risk Analizi – (Preliminary Risk Analysis) (PRA)
- Risk Puanlama Metodu
- SWOT Analizi
- İş Güvenliği Analizi (Job Safety Analysis - JSA)
- Hata Türleri ve Etkileri Analizi (Failure Mode and Effects Analysis - FMEA)
- Hata Ağacı Analizi (Fault Tree Analysis - FTA)

- Olay Ağacı Analizi (Event Tree Analysis - ETA)
- Balık Kılçığı (Fish bone)
- Fine-kinney Yöntemi
- Ridley Yöntemi

Bu çalışmada, risk değerlendirmesi için uygulanacak metoda karar verilirken, kimya endüstrisinde sık kullanılan HAZOP ve LOPA tekniklerinin öne çıkmasındaki en önemli etken, risklerin sistematik olarak tanımlanabilmesini ve önlemlerin etkinliğinin objektif olarak değerlendirilebilmesini sağlamalarıdır. LOPA ile önlemlerin birbirinden bağımsızlığı ve etkileri de tayin edilebilmektedir.

HAZOP tekniğinde, süreçler detaylı olarak gözden geçirilir. Bu esnada, proseste yer alan boru hattı dahil tüm ekipmanların ve ekipmanların bulundurduğu kimyasalların etkilerinin birer birer gözden geçirilmesiyle, sapmaların, kılavuz sözcükler ve proses parametreleri kullanılarak belirlenmesiyle, olası tehlikeler tespit edilir. Bu gözden geçirme, multidisipliner ekip çalışmasıyla, farklı uzmanlık alanlarının bir araya gelmesi ile gerçekleştirildiğinden, oldukça kapsamlı bir sonuç vermektedir. Daha sonrasında senaryolar ile tehlikelerin yol açacağı riskler belirlenirken, her bir ekipmanın ve operatörün, literatürde PFD olarak tanımlanan Talep Anında Hata Yapma Olasılığı kullanılır. Bu değerler ile, ekipmanın dahil olduğu riskin olasılığı objektif bir şekilde belirlenmiş olur, Risk Öncelik Sayısı (RÖS) gerçekçi olarak belirlenir ve her bir risk için kabul edilebilir seviyeye indirgeme çalışmaları LOPA tekniği yardımıyla yürütülür.

LOPA tekniği ile, belirlenmiş risklerin önlenmesi için kullanılan koruyucu katmanların etkinliği kantitatif olarak analiz edilebilir. Bu sayede, risklerin kabul edilebilir seviyeye indirgenmesi için yeterli olmayan önlemler ortaya çıkarılmış olur. Belirlenen risklerin kontrol edilmesi ve alınan önlemlerin etkinliğinin ölçülmesi ve proses güvenliğinin sağlanmasında, bağımsız koruma katmanları (IPL); etkili, bağımsız ve denetlenebilir olmasıyla oldukça önemli katkılar sağlamaktadır. Bağımsız çalışması sayesinde, farklı bir koruma katmanın başarısızlığından, diğer koruma katmanının etkilenmeyecek olması ile sistemin genel güvenilirliği artarken, her bir koruma katmanının belirli oranda etkili olarak risk azaltma sağlaması ve etkinliklerinin denetlenebilir olması açısından endüstriyel tesislerde proses güvenliği ve büyük kazaların önlenmesinde büyük rol oynamaktadır.

Sonuç olarak, çalışmada kullanılan metotlar, fikir verici bir ön değerlendirme niteliğindedir. Risk yönetiminde uygulanacak kararlar, kuruluşun sorumluluğundadır. Kuruluşlar mevzuata uyumlu hareket etmekle yükümlüdürler.

KAYNAKÇA

[1] K. Dağ, İ. Özdemir ve R.Ü. Sayman, "Seveso II Direktifinin uygulama kapasitesinin arttırılması için teknik yardım projesi, Büyük Endüstriyel Risklerin Azaltılması (BEKRA) İşletmeciler için rehber, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı – Faaliyet 6: Kamunun Bilgilendirilmesi, 2015.

[2] A. Erdoğan, "Türkiye'de meydana gelen büyük endüstriyel kazaların analizi: Veri tabanı geliştirilmesi", Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2023.

[3] K. Holla, M. Polorecka, J. Kubas ve M. Ballay, "Validity of the Seveso II and III directive in the EU", *Transportation Research Procedia*, Vol. 55, pp. 1506-1513, 2021.

[4] İktisadi Kalkınma Vakfı, "Sanayi – Çevre İlişkisi: AB ve Türkiye'de Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi Yönergesi", İktisadi Kalkınma Vakfı Yayınları, no. 309, 2020.

[5] Büyük Endüstriyel Kazalarla İlgili Hazırlanacak Büyük Kaza Senaryo Dokümanı Tebliği, (30 Haziran 2020). *Resmi Gazete* (Sayı:31171) Erişim adresi: https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2020/06/20200630-10.htm

[6] Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik, (2 Mart 2019). *Resmi Gazete* (Sayı:30702) Erişim adresi: https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=31298&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5

[7] M. Perez-Marin and M.A. Rodriguez-Toral, "HAZOP – Local approach in the mexican oil & gas industry", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 26, pp. 936-940, 2013.

[8] G. Cong, D. Lu, M. Liu, Q. Wang and W. Yu, "A new semi-quantitative process safety assessment method and its application for fluorochemical industry", *Processes*, vol. 9, p.1695, 2021, doi: 10.3390/pr9101695.

[9] R. Wang, Y. Wu, Y. Wang and Z. Feng, "An industrial area layout optimization method based on Dow's Fire & Explosion Index Method", *Chemical Engineering Transactions*, vol. 61, pp. 493-492, 2017, doi: 10.3303/CET1761080.

[10] H. Qilong and Z. Zuoming, "Application of the mond index in the safety assessment of obsolete solid rocket motor pretreatment", *Applied Mechanics and Materials*, vol. 365-366, pp. 557-560, 2013, doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.365-366.557.

[11] Z. B. Mercan, "Seveso II kapsamında kabul edilebilirlik (ALARP) seviyesi değerlendirme metodolojileri", Yüksek Lisans Tezi, Maden Mühendisliği, Çukurova Üniversitesi, Adana, 2013.

[12] H. Gürses, "Türk limanları ve terminallerinde Seveso uygulamalarının incelenmesi: Körfez bölgesi limanları örneği", Yüksek Lisans Tezi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 2020.

[13] M. Bostanoğlu, "AB ve Türkiye'de Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Mevzuatı," İKV Değerlendirme Notu, no. 225, Eylül 2019.

[14] European Parliament and Council, "Directive 2012/18/EU on the control of major-accident hazards involving dangerous substances, amending and subsequently repealing Council Directive 96/82/EC Text with EEA relevance," Official Journal of the European Union, L 197, Jul. 2012.

[15] P. Gün, "An Investigation on Hazard and Operability Study (HAZOP) according to Seveso III Directive and special case studies", Yüksek Lisans Tezi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 2016.

[16] T. Karaburun, "Implementation of safety management system in upper and lower tier establishments according to Seveso III Directive and special audit cases", Yüksek Lisans Tezi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 2023.

[17] K. First, "Scenario identification and evaluation for layers of protection analysis", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries,* Vol. 26, pp. 895-903, 2010, doi:10.1016/j.jlp.2010.07.008

[18] The European Commission Community Research, Energy, Environment and Sustainable Development, Project Under the 5th Framework Programme, *Accidental Risk Assessment Methodology for Industries in the Context of the Seveso II Directive*, Contract Number: EVG1 - CT - 2001 - 00036 User Guide

[19] B. ALTUN, "Madeni yağ fabrikasında risk değerlendirmesi", Yüksek Lisans Tezi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara Üniversitesi, Ankara, 2019.

[20] Z. S. Nezamodini, Z. Rezvani and K. Kian, "Dow's fire and explosion index: a case-study in the process unit of an oil extraction factory", *Electronic Physician*, vol. 9, Issue: 2, pp. 3878-3882, February 2017, doi: 10.19082/3878

[21] American Institute of Chemical Engineers (AIChE), Dow's Fire and Explosion Index Hazard Classification Guide, seventh ed., AIChE, New York, 1994.

[22] NFPA 704, Standart System for the Identification of the Hazards of Materials for Emergency Response, 2012.

[23] E. Danzi, G. Bergamo, L. Fiorentini and L. Marmo, "Development and application of fire & explosion risk index methods to chemical process plants", *The Italian Association of Chemical Engineering*, vol. 67, 2018.

[24] M. E. Kalkan, K. Oktor ve N. Özdemir, "Yangın ve patlama potansiyeli olan tehlikeli ekipmanların belirlenmesi: Dow İndeksi", *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,* vol.5, pp. 1-7, 2017.

[25] F. Lees, "Hazard identification", *Lees' Loss Prevention in the Process Industries*, vol.1 Ed. 4, S. Mannan, USA: Elsevier Inc., 2012., pp. 204-283.

[26] J. O. Ejehh, S. Liu, L. G. Papageorgiou, "Multi-objective optimisation for safe multi-floor process plant layout using the dow's fire & explosion index", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* vol. 76, 2022, doi:10.1016/j.jlp.2021.104722.

[27] C. Kozacı, “Risk Yönetimi”, [Çevrimiçi]. Mevcut: https://www.mess.org.tr/media/filer_public/8f/29/8f2963ff-a0b9-4f98-b4bc-138cf0f8b47d/cemal_kozaci_isg_risk_yonetimi_kozaci.pdf. [Erişim: 02 Mayıs 2024]

[28] T. Güler, "Model olarak alınan bir kimyasal tanker gemisine seveso II direktifinin uygulanması", Yüksek Lisans Tezi, Deniz Ulaştırma Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2019.

[29] J. L. Fuentes-Bargues, C. González-Cruz, C. González-Gaya and P. Baixauli-Pérez, “Risk analysis of a fuel storage terminal using HAZOP and FTA”, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 14(7), 705, 2017, doi:10.3390/ijerph14070705.

[30] N. D. Pratama, A. Musyafa, “Risk Assessment on Sales Gas Distribution of Oil and Gas Company using HAZOP and Risk Matrix”, *International Conference on Advanced Mechatronics,Intelligent Manufacture and Industrial Automation (ICAMIMIA)*, 2023, doi: 10.1109/ICAMIMIA60881.2023.10427914.

[31] Center for Chemical Process Safety (CCPS) American Institute of Chemical Engineers, *Guidelines for Risk Based Process Safety*, First Edition, New Jersey, John Wiley & Sons, Inc., 2007.

[32] P. Baybutt, “A critique of the hazard and operability (HAZOP) study”, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 33, pp. 52-58, 2015.

[33] Hazard and Operability Studies (HAZOP studies) – Application guide, EN 61882:2016, 2016.

[34] J. Qui, M. Zhang, D. Zheng and S. Ning, “HAZOP_LOPA-based operation process risk analysis and management research”, *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1570, 012074, 2020, doi:10.1088/1742-6596/1570/1/012074.

[35] Z. A. Rashid, M. F. I. A. Fuad, M. A. Ahmad, N. A. Azhari, H. N. M. Hazimin, M. A. M. Ariff and A. Buang, “Layer of Protection Analysis (LOPA) as an Effective Tool for Preventing Major Accidents Hazards: A Case Study of Ammonia Storage Tank*”, 2023 IEEE 14th Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC)*, Shah Alam, Selangor, Malaysia, 2023

[36] Center for Chemical Process Safety (CCPS) American Institute of Chemical Engineers, *Introduction to Process Safety for Undergraduates and Engineers*, First Edition, New Jersey, John Wiley & Sons, Inc., 2016.

[37] BP GROUP, “GP 48-03 Engineering Technical Practices, Layer of Protection Analysis (LOPA)”, 2008.

[38] Center for Chemical Process Safety (CCPS) American Institute of Chemical Engineers, *Layer of Protection Analysis: Simplified Process Risk Assessment*, First Edition, New York, John Wiley & Sons, Inc., 2001.

[39] C. Clarin, “Application of layers of protection analysis (LOPA) for subsea production systems – a risk based model for determination of integrity levels in a global perspective”, Yüksek Lisans Tezi, Yangın Güvenliği Mühendisliği Bölümü ve Sistem Güvenliği, Lund Üniversitesi, Lund, İsveç, 2013.

[40] K. Sotoodeh, “A case study demonstrating the use of layers of protection analysis (LOPA) in order to prevent fire and explosion in storage tanks due to

overfilling" Case Study, Safety in Extreme Environments, vol. 6, pp. 161–172, 2024, doi:10.1007/s42797-023-00095-3

[41] C. Chambers, "Comparison of a single initiating event verses a multiple initiating event approach to layer of protection analysis", *Hazards 30 Symposium Series* No. 167, 2020.

[42] P. Sarafraz et al., "Quantitative evaluation by protection layer analysis (LOPA) for equipment in imam khomeini petrochemical aromatic unit", *Journal of Advances in Environmental Health Research*, vol. 11(2), pp. 119-124, 2023.

[43] OREDA Participants, *OREDA: Offshore Reliability Data Handbook*, 6th ed. Høvik, Norway: DNV GL, 2015.

[44] EIReDA, *European Industry Reliability Data Bank*. European Commission, Joint Research Centre, 2015.

A
GENEL PROSES TEHLİKELERİ (F_1)

1A – Ekzotermik Reaksiyonlar

Penaltı faktör aralığı: 0,30 – 1,25

1B – Endotermik Reaksiyonlar

Penaltı faktör aralığı: 0,20 – 0,40

1C – Kimyasal Transferi ve İşletme

Penaltı faktör aralığı: 0,25 – 1,05

1D – Açık Proses/Kapalı Proses

Penaltı faktör aralığı: 0,25 – 0,90

1E – En az 2 Yönden Erişim (en az bir tanesi yol)

Penaltı faktör aralığı: 0,20 – 0,35

1F – Drenaj ve Döküntü Kontrolü

Penaltı faktörü: 0,50

B
ÖZEL PROSES TEHLİKELERİ (F_2)

2A – Toksik Kimyasal

Penaltı faktör aralığı: 0,20 – 0,80

2B – Vakum Durumu

Penaltı faktör aralığı: 0,5

2C – Alevlenme Aralığı veya Limitlere Yakın İşletme

Penaltı faktör aralığı: 0,30 – 0,80

2D – Toz Patlaması

Penaltı faktör aralığı: 0,25 – 2,00

2E – Basınç Tehlikesi

Penaltı faktör aralığı: 1000 PSI üstü basınçlarda 0,86 – 1,5

Daha düşük basınç değerleri için Şekil B.1'deki tablo kullanılır.

2F – Düşük Sıcaklık

Penaltı faktör aralığı: 0,20 – 0,30

2G – İşletmede veya Tankta Yanıcı/Reaktif Sıvı/Gaz Miktarı

Penaltı faktör aralığı: Prosesteki sıvı ve gazlar için Şekil B.2'de verilen tablo kullanılır. Depolamadaki sıvı ve gazlar için Şekil B.3'te verilen tablo kullanılır. Depolamadaki yanıcı katılar ve bir proses ünitesindeki tozlar için Şekil B.4'te verilen tablo kullanılır.

2H – Korozyon ve Erozyon

Penaltı faktör aralığı: 0,10 – 0,75

2I – Sızıntı ve Bağlantı Yerleri

Penaltı faktör aralığı: 0,10 – 1,50

2J – Ateşli Ekipman Mevcudiyeti

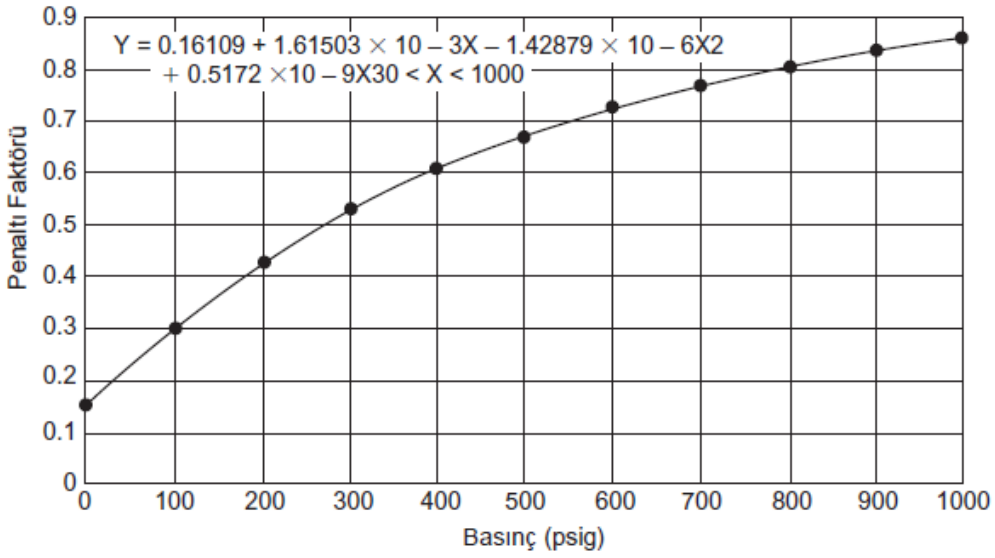
Penaltı faktör aralığı: Şekil B.5'te verilen tablo kullanılır. Malzemenin parlama noktasının üzerinde serbest kalabileceği bir proses ünitesi veya malzemenin yanıcı toz olduğu bir proses ünitesinde A-1 eğrisi kullanılır. Malzemenin kaynama noktasının üzerinde serbest kalabileceği proses ünitesi olması durumunda A-2 eğrisi kullanılır.

2K – Sıcak Yağ Sirkülasyonu

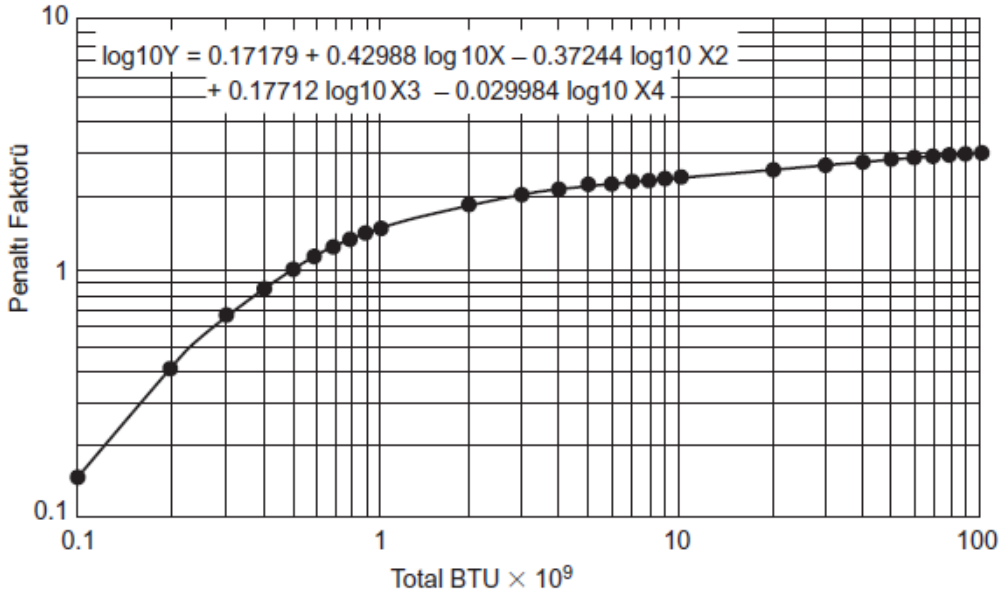
Penaltı faktör aralığı: 0,15 – 1,15

2L – Rotatif Ekipmanlar

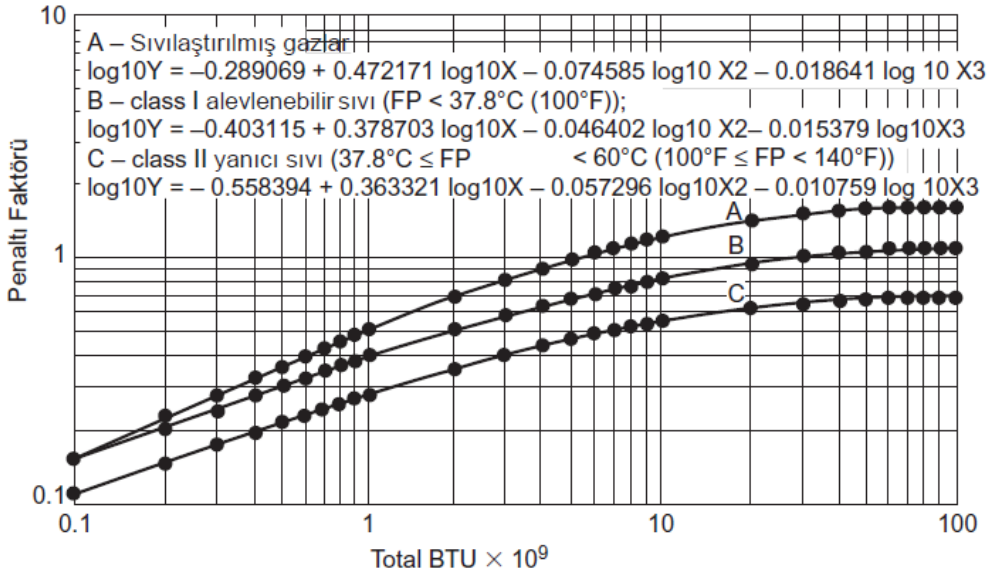
Penaltı faktör aralığı: 0,5



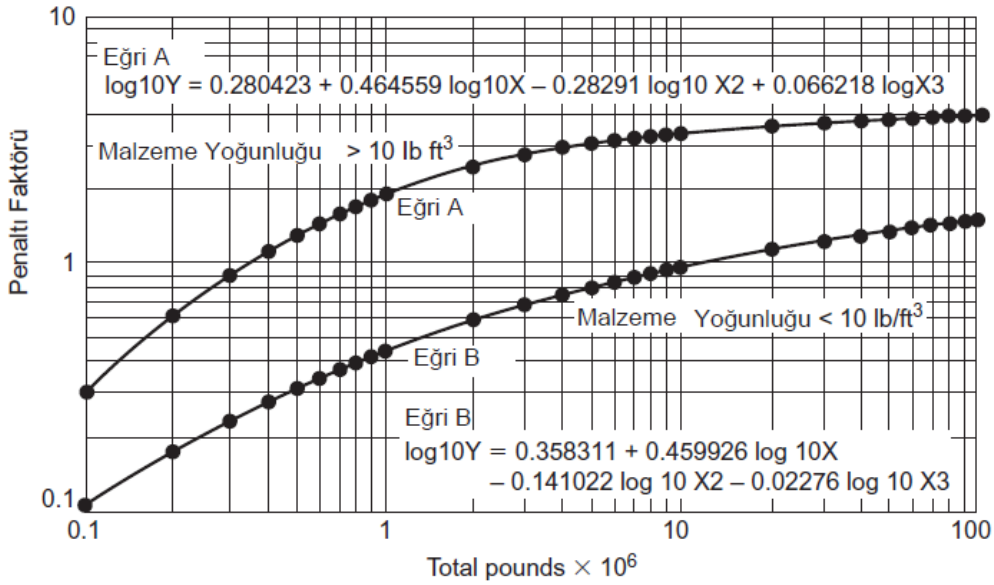
Şekil B.1 Basınç penaltı faktörü



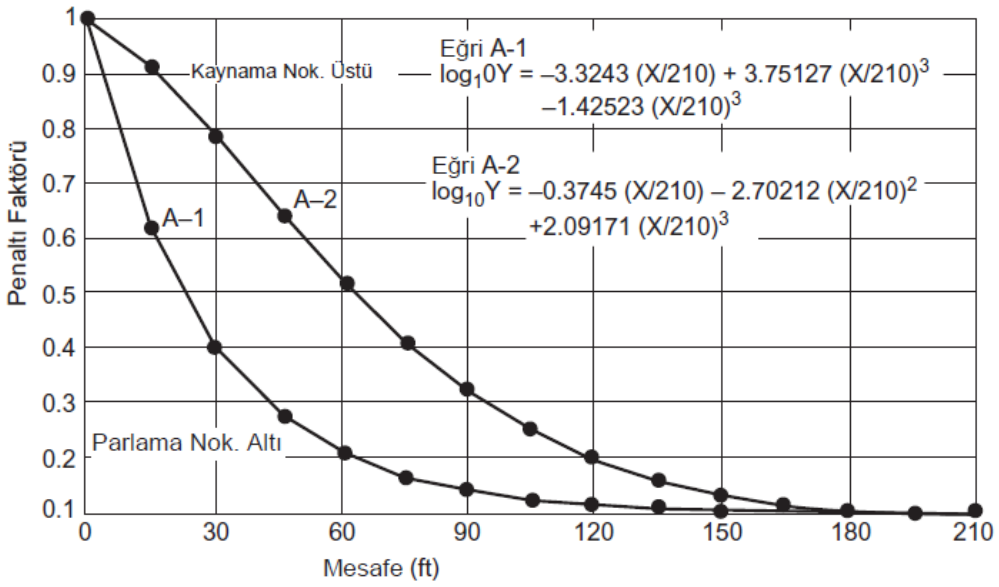
Şekil B.2 İşletmede veya tankta yanıcı/reaktif sıvı/gaz miktarı penaltı faktörü – Prosesteki sıvı ve gazlar için



Şekil B.3 İşletmede veya tankta yanıcı/reaktif sıvı/gaz miktarı penaltı faktörü – Depolamadaki sıvı ve gazlar için



Şekil B.4 İşletmede veya tankta yanıcı/reaktif sıvı/gaz miktarı penaltı faktörü – Depolamadaki yanıcı katılar ve bir proses ünitesindeki tozlar



Şekil B.5 Ateşli ekipman mevcudiyeti durumunda penaltı faktörü

C
MALZEME FAKTÖRÜ (MF)

Tablo C.1 Malzeme faktörü

MALZEME FAKTÖRÜ						
	Yanıcılık Oranı	Reaktiflik Oranı				
		0	1	2	3	4
Yanıcı Sıvı ve Gazlar						
Yanıcı Olmayan	0	1	14	24	29	40
P.N.> 200 ^{O}F (> 93.3 ^{O}C)	1	4	14	24	29	40
P.N.> 100 ^{O}F (> 37.8 ^{O}C) P.N. ≤ 200 ^{O}F (93.3 C)	2	10	14	24	29	40
P.N. ≥ 73 ^{O}F (≥ 22.8 ^{O}C) P.N. ≤ 100 ^{O}F (≤ 37.8 C)	3	16	16	24	29	40
P.N. <73 ^{O}F (<22.8 ^{O}C) & K.N. <100 ^{O}F (37.8 ^{O}C)						
P.N. <73 ^{O}F (<22.8 ^{O}C) & K.N. <100 ^{O}F (<37.8 ^{O}C)	4	21	21	24	29	40
Yanıcı Tozlar						
St-1 (K_{St} < 200 bar m/sec)		16	16	24	29	40
St-2 (K_{St} = 201-300 bar m/sec)		21	21	24	29	40
St-3 (K_{St} > 300 bar m/sec)		24	24	24	29	40
Yanıcı Katılar (Kaba Taneli)						
Kalınlık > 40 mm	1	4	14	24	29	40
Kalınlık < 40 mm	2	10	14	24	29	40
Fiber, pudra, köpük vb.	3	16	16	24	29	40

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. S. Ağar, Y. Kalpaklı, "Proses Güvenliği için Risk Analiz Metotları – Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi (HAZOP) ve Koruma Katmanı Analizi (LOPA)", in 13th International Congress of Academic Research, Ankara, Türkiye, pp. 238-239, May 7-8, 2024.