ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MADENİ YAĞ FABRİKASINDA RİSK DEĞERLENDİRMESİ

Berda ALTUN

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2019

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Berda ALTUN tarafından hazırlanan **"Madeni Yağ Fabrikasında Risk Değerlendirmesi"** adlı tez çalışması 24/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Zehra ZEYBEK
Ankara Üniversitesi Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri:

Başkan: Prof. Dr. Ayla ALTINTEN
Gazi Üniversitesi Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye: Prof. Dr. Bülent AKAY
Ankara Üniversitesi Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye: Prof. Dr. Zehra ZEYBEK
Ankara Üniversitesi Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Özlem YILDIRIM
Enstitü Müdür Vekili

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

24.05.2019

Berda ALTUN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MADENİ YAĞ FABRİKASINDA RİSK DEĞERLENDİRMESİ

Berda ALTUN

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Zehra ZEYBEK

Riskleri değerlendirmek ve riskleri uygun ölçüde en aza indirgemek için tasarlanmış düzenleyici belgelerden birisi olan Seveso Direktifi kapsamında, risk değerlendirme çalışmalarında yaşanan belirsizlikleri gidermek ve risk değerlendirmesi yapanlara yol gösterici olmak amacıyla ARAMIS Metodolojisi (Endüstriler İçin Kaza Risk Değerlendirme Metodolojisi) geliştirilmiştir. Bu çalışmada, Kırşehir ilinde faaliyetini sürdüren bir madeni yağ fabrikasının proses ekipmanları üzerinde ARAMIS metodolojisi ve metodolojinin iki alt yöntemi çalışılmıştır. İlk yöntem olan MIMAH (Büyük Kaza Tehlikelerinin Belirlenmesi Metodolojisi) ile tesiste meydana gelebilecek olası tüm büyük kaza senaryoları ve tehlikeleri tanımlanarak kritik olaylar tespit edilmiştir. Hata ağacının solda ve olay ağacının sağda olduğu papyon yönteminin kullanımına dayanan bu adımda, güvenlik bariyerlerinin olmadığı kabul edilmiştir. ARAMIS'in ikinci alt yöntemi olan MIRAS (Referans Kaza Senaryolarının Belirlenmesi Metodolojisi) ile referans kaza senaryoları tespit edilmiştir. Referans kaza senaryoları, tehlikeli olayların sonuçlarının seviyesi ve yıllık sıklık oranını içeren bir risk matrisi baz alınarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre tesiste tehlikeli olayların büyük çoğunluğunun orta etki bölgesi ve ihmal edilebilir etki bölgesinde olduğu belirlenmiştir. Yüksek etki bölgesinde 12 adet tehlikeli olay tespit edilmiştir. Bu tehlikeli olaylar kompresör ve pompa ekipmanlarındaki kritik olaylar sonucu gerçekleşmektedir. Yüksek etki bölgesindeki bu tehlikeli olayların ihmal edilebilir bölgeye çekilebilmesi için önerilerde bulunulmuştur. Bu çalışma, ARAMIS metodolojisini kullanarak bir madeni yağ tesisindeki muhtemel kaza senaryolarının analizine ve tesisteki mevcut risklerin değerlendirilmesine dayanarak, proses ekipmanlarında oluşabilecek kaza ve tehlikeli olayların önlenmesine katkıda bulunmasının yanı sıra çalışmanın analistlere, sanayicilere ve ilgili kuruluşlara yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

Mayıs 2019, 134 Sayfa

Anahtar kelimeler: Risk değerlendirmesi, Madeni yağ fabrikası, ARAMIS

ABSTRACT

Master Thesis

RISK ASSESSTMENT IN A LUBRICANT OIL PLANT

Berda ALTUN

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Science
Department of Chemical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Zehra ZEYBEK

One of the regulatory documents designed to assess risks and minimize risks is the Seveso Directive. Within the content of that, ARAMIS Methodology (Accidental Risk Assessment Methodology for IndustrieS) has been developed in order to eliminate the uncertainties in risk assessment studies and to guide the risk assessors. In this study, ARAMIS methodology and two sub-methods of methodology were studied on the process equipment of a lubricant oil plant operating in Kırşehir province. With the first method MIMAH (Methodology for the Identification of the Major Accident Hazards), all major accident scenarios and hazards that may occur in the plant and critical events have been identified. In this step, which is based on the use of the bow tie method on which the fault tree is on the left and the event tree to the right, it is assumed that there are no safety barriers. Reference accident scenarios have been identified with MIRAS (Methodology for the Identification of Reference Accident Scenarios), the second sub-method of ARAMIS. Reference accident scenarios are based on a risk matrix that includes the level of the results of the dangerous phenomena and the frequency. According to the results, it was determined that the majority of the dangerous phenomena in the plant were in the middle and negligible effect zone. 12 hazardous events were detected in the high effect zone. These dangerous phenomena are the result of critical events in the compressor and pump equipment. Suggestions have been made to go through these dangerous phenomena in the high impact zone to the negligible zone. This study, based on the analysis of possible accident scenarios in a mineral oil plant using the ARAMIS methodology and the assessment of existing risks in the plant, contributes to the prevention of accidents and dangerous phenomena in the process equipment. In addition, it is thought that the study will guide the analysts, industrialists, and related organizations.

May 2019, 134 pages

Key words: Risk Assessment, Lubricant Oil Plant, ARAMIS

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tez çalışmasında madeni yağ üretimi gerçekleştiren SFS Petrokimya Ürünleri San. ve Tic. Ltd. Şti. firmasında ARAMIS metodolojisini kullanarak risk değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. ARAMIS metodolojisinin büyük endüstriyel kazaların gerçekleştiği sanayiler dışında uygulanabilirliği de gösterilmiştir.

Yüksek lisans çalışmamı hazırlarken geçirdiğim sürecin her aşamasında yardımını, desteğini, bilgisini, tecrübesini ve değerli zamanını esirgemeyen ve bana olan inancını kaybetmeyen saygıdeğer Ankara Sanayi Odası Genel Sekreteri Doç. Dr. Yavuz CABBAR'a sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans eğitimime devam edip tamamlamamda büyük desteği olan çok kıymetli danışmanım Prof. Dr. Zehra ZEYBEK'e değerli bilgi ve zamanını benden esirgemediği için teşekkür ve minnetlerimi belirtmek isterim.

Beni bugünlere sevgi ve saygı ile yetiştirerek getiren ve benden hiçbir zaman desteğini esirgemeyen bu hayattaki en büyük şansım olan biricik aileme ve manevi destekleri ile beni yalnız bırakmayan dosttan öte kardeşlerime teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarımın her noktasında destek ve yardımlarını aldığım, her fırsatta çalışmamla yakından ilgilenen çok değerli SFS Petrokimya Şirketi yönetimine ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2019

Berda ALTUN

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK..... i

ÖZET..... ii

ABSTRACT..... iii

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR..... iv

İÇİNDEKİLER..... v

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ..... x

ŞEKİLLER DİZİNİ..... xiii

ÇİZELGELER DİZİNİ..... xiv

1. GİRİŞ..... 1

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI..... 3

2.1. Risk Değerlendirme Metotları..... 3

2.1.1. L tipi matris metodu..... 3

2.1.2. X tipi matris metodu..... 4

2.1.3. Hata ağacı analizi (FTA)..... 5

2.1.4. Olay ağacı analizi (ETA)..... 5

2.1.5. Tehlike ve işletebilme analizi (HAZOP)..... 6

2.1.6. ARAMIS metodolojisi..... 6

2.2. Kaynak Araştırması..... 7

3. MATERYAL VE YÖNTEM..... 18

3.1. Madeni Yağ Tesisi..... 18

3.2. ARAMIS - Endüstrilerde Kaza Riski Değerlendirme Metodolojisi..... 19

3.3. MIMAH - Büyük Kaza Tehlikesinin Belirlenmesi Metodolojisi (Güvenlik bariyeri olmayan papyon diyagramlarının oluşturulması)..... 21

3.3.1. Papyon diyagramı yaklaşımı..... 21

3.3.2. MIMAH'ın ana basamakları..... 22

3.3.3. Basamak 1: Gerekli olan bilgilerin toplanması..... 23

3.3.4. Basamak 2: Tesisteki potansiyel olarak tehlikeli ekipmanları tanımlanması……..…… 24

3.3.5. Basamak 3: Uygun tehlikeli ekipmanın seçilmesi..... 27

3.3.6. Basamak 4: Seçilen her tehlikeli ekipman için kritik olayların belirlenmesi……..……...…… 30
3.3.7. Basamak 5: Her bir kritik olay için hata ağacı oluşturulması..... 31
3.3.8. Basamak 6: Her bir kritik olay için olay ağacı oluşturulması..... 33
3.3.9. Basamak 7: Seçilen her ekipman için papyon diyagramlarının oluşturulması.…… 33
3.4. MIRAS - Referans Kaza Senaryolarının Belirlenmesi Metodolojisi..... 33
3.4.1. Basamak 1: Gerekli olan verilerin toplanması..... 35
3.4.2. Basamak 2: Basamak 3 ve Basamak 4 arasında seçim yapılması..... 36
3.4.3. Basamak 3: Hata ağacı analizi sonuçları ile kritik olayın frekansının tahmin edilmesi..... 36
3.4.3.1. Basamak 3.A: Başlangıç olayının frekansının (olasılığının) belirlenmesi..... 37
3.4.3.2. Basamak 3.B: Hata ağacındaki güvenlik fonksiyonları ya da güvenlik bariyerlerinin belirlenmesi..... 37
3.4.3.3. Basamak 3.C: Güvenlik bariyerinin performansının değerlendirilmesi..... 38
3.4.3.4. Basamak 3.D: Kritik olayın frekansının hesaplanması..... 38
3.4.4. Basamak 4: Genel kritik olayların frekansları aracılığıyla kritik olayın frekansının tahmin edilmesi..... 39
3.4.5. Basamak 5: Tehlikeli Olayların frekansının hesaplanması..... 39
3.4.6. Basamak 6: Tehlikeli Olayların sonuç sınıflarının tahmin edilmesi..... 40
3.4.7. Basamak 7: Referans Kaza Senaryolarını seçmek için risk matrisinin kullanılması..... 41
3.4.8. Basamak 8: Şiddetin hesaplanması için bilgi toplanması..... 42
4. ARAŞTIRMA BULGULARI..... 45
4.1. MIMAH - Büyük Kaza Tehlikesinin Belirlenmesi Metodolojisi İle Yapılan Çalışmalar..... 45
4.1.1. Basamak 1: Gerekli olan bilgilerin toplanması..... 45
4.1.2. Basamak 2: Tesisteki potansiyel olarak tehlikeli ekipmanları tanımlanması……..…… 46
4.1.3. Basamak 3: Uygun tehlikeli ekipmanın seçilmesi..... 47

4.1.4. Basamak 4: Seçilen her tehlikeli ekipman için kritik olayların belirlenmesi…….. 48
4.1.5. Basamak 5: Her bir kritik olay için hata ağacı oluşturulması..... 52
4.1.6. Basamak 6: Her bir kritik olay için olay ağacı oluşturulması..... 53
4.1.7. Basamak 7: Seçilen her ekipman için papyon diyagramlarının oluşturulması……. 53
4.2. MIRAS - Referans Kaza Senaryolarının Belirlenmesi Metodolojisi İle Yapılan Çalışmalar..... 55
4.2.1. Basamak 1: Gerekli olan verilerin toplanması..... 55
4.2.2. Basamak 2: Basamak 3 ve Basamak 4 arasında seçim yapılması..... 56
4.2.3. Basamak 4: Genel kritik olayların frekansları aracılığıyla kritik olayın frekansının tahmin edilmesi..... 56
4.2.4. Basamak 5: Tehlikeli Olayların frekansının hesaplanması..... 58
4.2.5. Basamak 6: Tehlikeli Olayların sonuç sınıflarının tahmin edilmesi..... 66
4.2.6. Basamak 7: Referans Kaza Senaryolarını seçmek için risk matrisinin kullanılması..... 67
4.2.7. Basamak 8: Şiddetin hesaplanması için bilgi toplanması..... 79
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR..... 80
KAYNAKLAR..... 83
EKLER..... 90
EK 1 Risk değerlendirmesi yapılan tesiste bulunan ekipmanlar için çeşitli veri bankalarından bulunan kaza/arıza frekans verileri..... 93
EK 2 Tesisin yerleşim planı..... 101
EK 3 Stok tankı EQ6 ekipmanı CE5 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması..... 102
EK 4 Stok tankı EQ6 ekipmanı CE7 (küçük) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması..... 103
EK 5 Stok tankı EQ6 ekipmanı CE7 (orta) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması..... 104
EK 6 Stok tankı EQ6 ekipmanı CE8 (küçük) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması..... 105

EK 7 Stok tankı EQ6 ekipmanı CE8 (orta) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması..... 106
EK 8 Stok tankı EQ6 ekipmanı CE10 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması..... 107
EK 9 Boru hattı EQ10 ekipmanı harmanlama tankı çıkışı CE5 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması..... 108
EK 10 Boru hattı EQ10 ekipmanı harmanlama tankı çıkışı CE8 (küçük) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması..... 109
EK 11 Boru hattı EQ10 ekipmanı stok tankı çıkışı CE5 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması..... 110
EK 12 Boru hattı EQ10 ekipmanı stok tankı çıkışı CE8 (küçük) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması..... 111
EK 13 Dolum makinesi EQ6 ekipmanı yağ tankı CE5 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması..... 112
EK 14 Dolum makinesi EQ6 ekipmanı yağ tankı CE7 (küçük) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması..... 113
EK 15 Dolum makinesi EQ6 ekipmanı yağ tankı CE8 (küçük) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması..... 114
EK 16 Dolum makinesi EQ6 ekipmanı yağ tankı CE10 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması..... 115
EK 17 Dolum makinesi EQ8 ekipmanı hava nozulu CE10 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması..... 116
EK 18 Dolum makinesi EQ10 ekipmanı yağ dolum nozulu CE5 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması..... 117
EK 19 Dolum makinesi EQ10 ekipmanı yağ dolum nozulu CE8 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması..... 118
EK 20 Harmanlama tankı EQ6 ekipmanı CE5 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması..... 119
EK 21 Harmanlama tankı EQ6 ekipmanı CE7 (küçük) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması..... 120
EK 22 Harmanlama tankı EQ6 ekipmanı CE7 (orta) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması..... 121

EK 23 Harmanlama tankı EQ6 ekipmanı CE8 (küçük) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması..... 122
EK 24 Harmanlama tankı EQ6 ekipmanı CE8 (orta) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması..... 123
EK 25 Harmanlama tankı EQ6 ekipmanı CE10 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması..... 124
EK 26 Kompresör EQ4 ekipmanı CE10 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması..... 125
EK 27 Palet sarma makinesi EQ15 ekipmanı CE5 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması..... 126
EK 28 Palet sarma makinesi EQ15 ekipmanı CE8 (küçük) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması..... 127
EK 29 Pompa EQ8 ekipmanı CE5 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması..... 128
EK 30 Pompa EQ8 ekipmanı CE7 (küçük) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması..... 129
EK 31 Pompa EQ8 ekipmanı CE8 (küçük) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması..... 130
EK 32 Pompa EQ8 ekipmanı CE10 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması..... 131
EK 33 Kompresör EQ4 ekipmanı CE10 kritik olayı için bariyer uygulanmış papyon diyagramı ve frekans hesaplaması..... 132
EK 34 Pompa EQ8 ekipmanı CE8 (küçük) kritik olayı için bariyer uygulanmış papyon diyagramı ve frekans hesaplaması..... 133
ÖZGEÇMİŞ..... 134

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AEGL	Akut Maruz Kalma Kılavuz Seviyeleri (Acute Exposure Guideline Levels)
AHP	Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process)
ALOHA	Tehlikeli Atmosferlerin Bölgesel Konumları
ARAMIS	Endüstriler İçin Kaza Risk Değerlendirme Metodolojisi (Accidental Risk Assessment Methodology for IndustrieS)
ASSURANCE	Kimyasal Kuruluşlarına ait Risk Analizinin Tutarsızlıklarının Değerlendirilmesi
BLEVE	Kaynayan Sıvı - Genleşen Buhar Patlaması (Boiling Liquid Expounding Vapor Explosion)
CE	Kritik Olay (Critical Event)
CEPPO	Kimyasal Acil Durum Hazırlık ve Önleme Ofisi (The Chemical Emergency Preparedness and Prevention Office)
DM	Dolum makinesi
DP	Tehlikeli Olay (Dangerous Phenomena)
E	Verimlilik (Efficiency)
EFFECTS	Kaza Öncesi Modelleme Yazılımı
EPA	Çevre Koruma Ajansı (Environmental Protection Agency)
EQ	Ekipman (Equipment)
ERPG	Acil Müdahale Planlama Kuralları (Emergency Response Planning Guidelines)
ETA	Olay Ağacı Analizi (Event Tree Analysis)

FMEA	Hata Türleri ve Etki Analizi (Failure Mode and Effects Analysis)
FTA	Hata Ağacı Analizi (Fault Tree Analysis)
GMS	Yeraltı Suyu Modelleme Sistemi (Groundwater Modeling System)
HAZOP	Tehlike ve İşletebilme Analizi (Hazard and Operability)
HES	Sert Çevresel Puan (Harsh Environments Score)
HSE	Sağlık ve Güvenlik Yöneticisi (Health and Safety Executive)
HT	Harmanlama tankı
HY	Hafif yaralanma
İGK	İş günü kaybı, uzun süreli tedavi gerektiren iş kazası veya meslek hastalığı
KM	Kompresör
KRK	Kazaya ramak kalma, tehlikeli durum
LC	Güven Seviyesi (Level of Confidence)
LOC	Sınırlama kaybı (Loss of Containment)
LPG	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (Liquefied Petroleum Gas)
LPI	Fiziksel bütünlük kaybı (Loss of Physical Integrity)
MIMAH	Büyük Kaza Tehlikelerinin Belirlenmesi Metodolojisi (Methodology for the Identification of the Major Accident Hazards)
MIRAS	Referans Kaza Senaryolarının Belirlenmesi Metodolojisi (Methodology for the Identification of Reference Accident Scenarios)
MODFLOW	Yeraltı Suyu Modelleme Yazılımı

NOAA	Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (The National Oceanic and Atmospheric Administration)
NRC	Ulusal Müdahale Merkezi (National Response Center)
Ö	Ölümlü kaza
PFD	Talepte başarısızlık olasılığı (The Probability of Failure on Demand)
PHAST	Proses Tehlike Analiz Yazılımı (Process Hazard Analysis Software)
PM	Pompa
PS	Palet sarma makinesi
QRA	Kantitatif risk değerlendirmesi (Quantitative Risk Analysis)
RAS	Referans Kaza Senaryoları (Reference Accident Scenarios)
RT	Tepki süresi (Response Time)
SCE	İkincil kritik olay (Second Critical Event)
ST	Stok tankı
STAT	Maddenin Fiziksel Hali (Substance Physical State)
TCE	Üçüncül kritik olay (Tertiary Critical Event)
UK	Uzuv kayıplı hayati tehlike yaratabilecek kaza, hayati tehlike yaratacak meslek hastalığı
USGS	Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu (The United States Geological Survey)
VCE	Buhar Bulutu Patlaması (Vapor Cloud Explosion)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Risk Skor (Derecelendirme) Matrisi (L Tipi Matris) (Özkılıç 2005)..... 3
Şekil 2.2 X Tipi Risk Derecelendirme Matrisi (Özkılıç 2005)..... 4
Şekil 3.1 Papyon diyagramının genel şeması..... 22
Şekil 3.2 MIMAH basamaklarına genel bakış..... 23
Şekil 3.3 MIRAS basamaklarına genel bakış..... 34
Şekil 3.4 "VE" geçidi..... 39
Şekil 3.5 "VEYA" geçidi..... 40
Şekil 3.6 Risk matrisi..... 41
Şekil 4.1 Harmanlama tankı CE7(küçük) kritik olayı için hata ağacı..... 54
Şekil 4.2 Harmanlama tankı CE7(küçük) kritik olayı için olay ağacı..... 55

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Önceki kazaların sonucu (Özkılıç 2005)..... 4
Çizelge 3.1 Tehlikeli madde tipolojisi..... 24
Çizelge 3.2 Ekipman tipolojisi..... 26
Çizelge 3.3 Referans kütleler..... 28
Çizelge 3.4 Kritik olaylar listesi..... 30
Çizelge 3.5 Maddenin durumu (STAT) ve kritik olay (CE) matrisi..... 31
Çizelge 3.6 Ekipman tipi (EQ) ve kritik olay (CE) matrisi..... 31
Çizelge 3.7 Her bir kritik olay için genel hata ağacı listesi..... 32
Çizelge 3.8 MIRAS için gerekli bilgiler..... 35
Çizelge 3.9 Başlatıcı olayların nitel tanımları..... 37
Çizelge 3.10 Sonuç sınıfları..... 40
Çizelge 4.1 Tesiste bulunan ekipmanlar ve içerdikleri maddeler..... 45
Çizelge 4.2 Potansiyel tehlikeli ekipman listesi..... 46
Çizelge 4.3 Her bir ekipmanın içerdiği maddenin fiziksel hali matrisi..... 49
Çizelge 4.4 Ekipman tipi x kritik olay matrisi..... 50
Çizelge 4.5 Maddenin fiziksel hali x kritik olay matrisi..... 51
Çizelge 4.6 Tesisteki ekipmanların kritik olayları..... 52
Çizelge 4.7 Tesiste bulunan ekipmanların kritik olay frekansları..... 57
Çizelge 4.8 Olay ağaçlarında kullanılan iletim olasılıkları değerleri..... 59
Çizelge 4.9 Tüm ekipmanların tehlikeli olaylarının hesaplanan frekans değerleri)..... 60
Çizelge 4.10 Kompresör ve pompanın bariyer uygulanmış tehlikeli olaylarının hesaplanan frekans değerleri..... 66
Çizelge 4.11 Tüm ekipmanlar için RAS seçimi..... 68

1. GİRİŞ

İşveren, kabul tarihi 20.06.2012 olan 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği kanunu kapsamında madde 10'a göre, iş sağlığı ve güvenliği bakımından risk değerlendirmesi yaptırmakla veyahut yapmak mükelleftir. İşyerine dışarıdan gelmesi muhtemel ya da işyerinde var olan tehlikelerin tayin edilmesi, bu tehlikelerin riske dönüşmesine sebep olan etkenler ile tehlikelerden kaynaklanan risklerin analizini yaparak sınıflandırılması ve kontrol önlemlerinin tayin edilmesi niyetiyle gerçekleştirilmesi gerekli olan çalışmaların bütünü risk değerlendirmesidir (Anonim 2012). Risk değerlendirmesi ile işletmelerde meydana gelebilecek iş kazası ve meslek hastalıklarına sebebiyet veren tehlikelerin önceden tespit edilerek gereken önlemlerin alınması açısından risk değerlendirmesinin önemi büyüktür. Risk değerlendirmesi X tipi matris metodu, L tipi matris analiz metodu, olay ağacı analizi (ETA), hata türleri ve etki analizi (FMEA), Fine-Kinley metodu, hata ağacı analizi (FTA), neden-sonuç analizi, tehlike ve işletebilme analizi (HAZOP), olursa ne olur (what if…) ve kontrol listesi gibi farklı yöntemler ile yapılabilir (Seber 2012).

1976 yılından İtalya'nın Seveso kasabasında bir kaza meydana gelmiştir. Bu kazada dioksin gazı sızıntısı oluşmuştur ve dioksin gazı şimdiye kadar bilinen en zehirli gazlardan biridir. Bu kazanın sonrasında endüstriyel kazaların meydana gelmesinin engellenmesi ve ihtiyaç olan tedbirlerin alınmasına yönelik hazırlanmış olan Seveso Direktifi kabul edilmiştir. Seveso II Direktifi çerçevesinde ve Avrupa Komisyonu'nun beşinci çerçeve programında uygulanabilecek risk değerlendirmesi için ARAMIS (Accidental Risk Assessment Methodolgy for IndustrieS) projesi geliştirilmiştir (Delvosalle vd. 2006).

02.03.2019 tarihli ve 30702 sayılı Resmi gazetede yayınlanan Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi Ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik: Yönetmelikte konu alınan tehlikeli maddeleri bulunduran, bulundurması muhtemel olan veya içerisindeki endüstriyel bir kimyasal prosesin kontrol kaybı esnasında bu tehlikeli maddelerden oluşması beklenen, alt ve üst seviyeli kuruluşların, büyük endüstriyel kazaların önlenmesi ve muhtemel kazaların insanlara ve çevreye olan zararlarının en aza indirilmesi amacıyla, yüksek seviyede etkili ve sürekli korumayı sağlamak için alması gerekli usul ve esasları belirlemektedir (Anonim 2019).

Süreç endüstrilerinde, olası kaza senaryolarının belirlenmesi risk değerlendirmesinde kilit noktalardır. Ancak, özellikle deterministik bir yaklaşımda, çoğunlukla kullanılan güvenlik cihazları ve güvenlik politikası dikkate alınmadan, en kötü senaryolar dikkate alınmaktadır. Bu yaklaşım, risk seviyesinin aşırı tahmin edilmesine yol açabilir ve güvenlik düzenlerinin uygulanmasına destek vermez. ARAMIS projesinin amaçlarından biri, bu problemle yüzleşebilen bir metodoloji geliştirmektir (Delvosalle vd. 2006).

Madeni yağ fabrikaları "İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği "ne göre çok tehlikeli sınıfta yer almaktadır (Anonim 2012). Bu sebeple madeni yağ fabrikalarında uygulanacak olan risk değerlendirme metodu, fabrikada oluşması mümkün bütün tehlike ve riskleri tespit ederek, insan hayatı ve çevre güvenliği ile ilgili bu risklerin değerlendirilmesini, iş kazası ya da meslek hastalıklarının sebepleri ile birlikte bunları etkileyen etmenlerle ilgili veriyi toplayıp, tehlikelerin meydana gelmesini önlemek için tesirli güvenlik ağını oluşturabilmelidir (Özkılıç 2005).

Madeni yağlar, kabaca ham petrolden elde edilmiş olan baz yağların içerisine çeşitli katıkların eklenip harmanlanması ve muhtelif ambalajlara doldurulması ile üretilir. Baz yağlar değişik viskozitelerde olabilir ve eklenen katıklar bu yağlara viskozite ayarlama, paslanmayı, aşınmayı, köpürmeyi ve oksitlenmeyi önleme gibi fiziksel ve kimyasal özellikler kazandır. (Gönenli 2015).

Bu çalışmada, ARAMIS metodolojisi kullanılarak bir madeni yağ tesisindeki referans kaza senaryolarını tanımlayabilmek için güvenlik sistemlerini göz önünde bulundurmadan büyük kazaları tanımlayan yöntemler ve araçların, kazaların nedenleri ve kalitatif olasılarının incelenmesi amaçlanmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Risk Değerlendirme Metotları

2.1.1. L tipi matris metodu

Bu metot genel olarak 5x5 Matris diyagramı olarak adlandırılır. Sebep-sonuç ilişkilerinin değerlendirilmesinde kullanılan L tipi matris metodu basit olan bir yöntemdir. Dolayısıyla tek başına risk değerlendirmesi yapması gereken analistler için ideal bir yöntemdir. Ancak farklı süreçler içeren veya birbirinden çok farklı akım şemasına sahip işlerin her biri için bu metot yalnız başına yeterli değildir. Yöntemin başarı oranı analistin bilgi birikimine göre değişir. Bu tür işyerlerinde özellikle ivedilik gerektiren ve biran önce tedbir alınması gereken tehlikelerin belirlenebilmesi amacıyla kullanılmalıdır. Bu metot ile bir olayın meydana gelme olasılığı, olayın gerçekleşmesi durumunda sonucunun sınıflandırılması ve ölçümü yapılır (Özkılıç 2005).

	ŞİDDET				
İHTİMAL	1 (Çok Hafif)	2 (Hafif)	3 (Orta Hafif)	4 (Ciddi)	5 (Çok Ciddi)
1 (Çok Küçük)	Anlamsız 1	Düşük 2	Düşük 3	Düşük 4	Düşük 5
2 (Küçük)	Düşük 2	Düşük 4	Düşük 6	Orta 8	Orta 10
3 (Orta)	Düşük 3	Düşük 6	Orta 9	Orta 12	Yüksek 15
4 (Yüksek)	Düşük 4	Orta 8	Orta 12	Yüksek 16	Yüksek 20
5 (Çok Yüksek)	Düşük 5	Orta 10	Yüksek 15	Yüksek 20	Tolere Edilmez 25

Şekil 2.1 Risk Skor (Derecelendirme) Matrisi (L Tipi Matris) (Özkılıç 2005)

Şekil 2.1'dan elde edilen sonuçlara göre en yüksek değerden başlayarak, riskler için gerekli tedbirler alınmalıdır. Tedbirlerin gerçekleştirilmesinden sonra tespit edilen risk için yeni bir risk sayısı belirlenmesi gerekir (Özkılıç 2005).

2.1.2. X tipi matris metodu

Bilgi birikimi gerektiren bu metot analistin yalnız başına yapabilmesine elverişli değildir. Tesisteki geçmiş kazaların 5 yıllık araştırmasına gereksinim duyar. Önderliğini deneyimli bir takım liderinin yaptığı disiplinli bir grup çalışması gerektirir. Geçmişte gerçekleşmiş bir kazanın veya buna bağlı bir olayın yinelenme olasılığı da değerlendirilir. Değerlendirme sonucunda riskin ortadan kaldırılması için alınacak tedbirlerin maliyet değerlendirilmesi yapılır. Eğer riski uzaklaştırma imkanı var ise bunun maliyeti de değerlendirilir. Son olarak bu iki maliyet kıyaslanır (Özkılıç 2005). Çizelge 2.1'de bu metot için önceki kazaların sonuçları ve şekil 2.2'de risk değerlendirme matrisi verilmiştir.

Çizelge 2.1 Önceki kazaların sonucu (Özkılıç 2005)

Sonuç	Önceki Kazalar
Ö	Ölümlü kaza
UK	Uzuv kayıplı hayati tehlike yaratabilecek kaza, hayati tehlike yaratacak meslek hastalığı
İGK	İş günü kaybı, uzun süreli tedavi gerektiren iş kazası veya meslek hastalığı
HY	Hafif Yaralanma
KRK	Kazaya ramak kalma, tehlikeli durum

Ö	5	10	15	20	25	ÖNCEKİ BENZER KAZALAR	5	10	15	20	25
UK	4	8	12	16	20		4	8	12	16	20
IGK	3	6	9	12	15		3	6	9	12	15
HY	2	4	6	8	10		2	4	6	8	10
KRK	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
	OLASILIK						PERSONEL SAYISI				
Çok Ciddi	5	10	15	20	25	ŞİDDET	5	10	15	20	25
Ciddi	4	8	12	16	20		4	8	12	16	20
Orta	3	6	9	12	15		3	6	9	12	15
Hafif	2	4	6	8	10		2	4	6	8	10
Çok Hafif	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
	Çok Küçük	Küçük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek		1 Kişi	1-3 Kişi	5 Kişi	5-10 Kişi	10 Kişiden Fazla

Şekil 2.2 X Tipi Risk Derecelendirme Matrisi (Özkılıç 2005)

2.1.3. Hata ağacı analizi (FTA)

1950'lerin ortalarında Bell Telefon Laboratuvarları, istenmeyen sonuçlara neden olan farklı olayların sayısını ifade etmek için bir mantık diyagramı kurarak hata ağacı konseptini geliştirmeye başlamıştır. 1962'de bu laboratuvar, hata ağacı analizini kullanarak Minuteman Fırlatma Kontrol Sistemi Güvenliği hakkında bir rapor yayınlamıştır ve bu zamandan beri, arıza ağaçları basit veya çok karmaşık olan sistemlerin hem güvenliğini hem de güvenilirliğini analiz etmek için kullanılmıştır. Bir hata ağacı, doğru veya yanlış, açık veya kapalı, iyi veya kötü, mevcut veya yok gibi ifadelere dayanan mantıksal bir diyagramdır.

Hata ağacı analizine başlamadan önce, analiz edilecek sitemin tam olarak anlaşılması esastır. Sistemin işleyişini anlamanın en iyi yolu, işleyişi kronolojik olarak listelemektir. Bu liste işletmede bulunan hiç bir parçayı atlamadan tamamlanmış olmalıdır (Larsen 1974).

Hata ağacı analizi, basitçe istenmeyen bir olayın belirlendiği (genellikle emniyet açısından kritik bir durum) analitik bir teknik olarak tanımlanabilir. Hata ağacı analizinde, istenmeyen olayın meydana gelebileceği tüm yolları bulmak için işletmenin çevresi ve çalışması bağlamında analiz edilir. Hata ağacının kendisi, önceden tanımlanmış istenmeyen olayların ortaya çıkmasına neden olacak çeşitli paralel ve ardışık hataların grafiksel bir modelidir. Hatalar, ekipman arızaları, insan hataları ya da istenmeyen olaya neden olabilecek diğer ilgili olaylarla alakalı olaylar olabilir. Bu nedenle hata ağacı, istenmeyen olaylara yol açan en tepedeki temel olayların mantıksal ilişkilerini gösterir.

Bir hata ağacı, belirli bir sistem arızası moduna karşılık gelen tepedeki olaya uyarlanır ve bu nedenle, yalnızca bu üst olaya katkıda bulunan hataları içerir. Hata ağacı nicel bir model değildir. Çoğu kez nicel olarak da değerlendirilebilen niteliksel bir modeldir (Vesely vd. 1981).

2.1.4. Olay ağacı analizi (ETA)

Olay ağacı analizi, sonuçlarını azaltmak için tasarlanan çeşitli sistemlerin çalışmasına/ çalışmamasına bağlı olarak, bir başlatıcı olayın sonrasında, birbirini izleyen olay

silsilesini temsil eden bir grafik tekniğidir. Hem niteliksel hem de niceliksel olarak uygulanabilir. Olay ağacı, başlatıcı olayın ardından farklı kaza senaryolarını modellemek, hesaplamak ve risk açısından derecelendirmek için kullanılabilirken, bir ürünün veya sürecin yaşam döngüsünün herhangi bir aşamasında kullanılabilir. Başlatıcı olaydan sonraki potansiyel senaryoların ve olaylar silsilesinin çıkarımına ve istenmeyen sonuçları azaltmaya yönelik çeşitli işlemlerin, bariyerlerin ve kontrollerin sonuçları nasıl etkilediğine yardımcı olmak için niteliksel olarak da uygulanabilir (Valis ve Koucky 2009).

2.1.5. Tehlike ve işletebilme analizi (HAZOP)

Planlanan veya hazır olan bir ürünün, prosesin, prosedürün ya da düzenin sistematik ve yapısal olarak incelenmesidir. İnsanlara, ekipmana, çevreye veya kuruluşa ait amaçlara yönelik riskleri tanımlamak için kullanılan bir yöntemdir. Çalışma ekibi, mümkünse, riske müdahale etmek için bir çözüm sunması gerekmektedir. HAZOP süreci tasarım, proses, prosedür veya sistemdeki her adımda gerçekleştirilemeyen, tasarım amacının veya çalışma şartlarının nasıl olduğunu sorgulayan kılavuz kelimelerin kullanımına dayanan kalitatif bir yöntemdir. Genellikle multidisipliner bir ekip tarafından bir dizi toplantı ile yürütülür. HAZOP, bir sürecin, sistemin veya prosedürün başarısızlık modlarını, bunların nedenlerini ve sonuçlarını tanımlar. Bu multidisipliner ekip istenmeyen sonuç ve sapmaları istenilen sonuç ve koşullarla değerlendirir ve olası neden ve başarısızlık modlarına geri döner. HAZOP tekniği ilk zamanlar kimyasal proses sistemlerini değerlendirmek için geliştirilmiştir, ancak diğer sistem ve karmaşık işletme türlerine genişletilmiştir (Valis ve Koucky 2009).

2.1.6. ARAMIS metodolojisi

Dünyada 1959-1996 seneleri arasında gerçekleşen sayısız büyük endüstriyel kaza, bu kazaların önüne geçilmesi için yasal yaptırım gerekliliğine sebep olmuştur. 1976 senesinde İtalya'nın Seveso kasabasında şimdiye kadar bilinen en zehirli gazlardan biri olan dioksin gazı sızıntısı meydana gelmiştir. Oluşan bu büyük kaza ve sonrasında, endüstriyel kazaların meydana gelmesini önlemek ve gerekli tedbirlerin alınması adına hazırlanmış olan Seveso Direktifi (82/501/EEC) kabul edilmiştir.

Seveso Direktifi, riskleri değerlendirmek ve riskleri uygun ölçüde en aza indirgemek için tasarlanmış düzenleyici belgelerden birisidir. Bu direktif kapsamında risk analizi çalışmalarına nereden ve nasıl başlaması gerektiği ile muhtemel kaza senaryolarını nasıl belirleyeceği konularına ilişkin bir takım belirsizliklerin olması nedeniyle hem bu belirsizlikleri ortadan kaldırmak hem de ilgili taraflara yol gösterici olmak amacıyla ARAMIS Metodolojisi geliştirilmiştir.

ARAMIS'in genel hedefi; hem risk bazlı hem de deterministik yaklaşımların gücünü birleştiren, endüstri için yeni kaza risk analiz metodolojisini oluşturmaktır. Böylece;

- Yönetim sisteminin faaliyetini hesaba katarak, tehlikelerin tanımlandığını ve riskin doğru bir şekilde yönetildiği gösterilecek,
- Arazi kullanım planı ve acil durum planlaması ile ilgili karar verme sürecine bilgi sağlayacak,
- Halk tarafından anlaşılabilir açık bir yaklaşım ortaya konulabilecektir (Anonim 2012a).

2.2. Kaynak Araştırması

Salvi ve Debray (2005), çalışmalarında ARAMIS yönteminin uygulanabilirliği hakkında faydalı bilgiler sağlayan ve yöntemin en hassas bölümlerini tanımlayarak gelişmiş endüstriyel güvenlik için yeni araştırma faaliyetlerine yol açan, beş farklı olay üzerine çalışarak metodolojiyi test etmişlerdir.

Çalışmada ARAMIS metodolojisinin uygulamasının nasıl olduğu ve aşamaları anlatılmış ve bu olayların çıkan sonuçlarına yer verilmiştir.

Bu beş olay için Avrupa'nın farklı ülkelerinde farklı endüstriler seçilmiştir. Seçilen endüstriler şöyledir:

- A Bölgesi: Fransa da bulunan patlama ve toksin madde tehlikelerine sahip bir kağıt hamuru ve kağıt üretim tesisi,
- B Bölgesi: Danimarka da bulunan yangın ve patlama tehlikesinin olduğu petrol ve gaz rafinerisi,
- C Bölgesi: Hollanda da bulunan tehlikeli reaksiyonların olduğu ve klor ve fosgen (barbonil diklorür) depolaması yapan bir kimyasal tesisi,

- D Bölgesi: Çek Cumhuriyeti de bulunan yangın ve VCE tehlikesi olan petrol, gaz ve fuel-oil depolama tesisi,
- E Bölgesi: Slovenya da bulunan polimerizasyon ve yangın tehlikesi olan etilen işleyen bir kimyasal tesis,

Çalışmanın sonucunda, ARAMIS'in bütünleşik bir metodolojide çok pratik araçlar sunarak, geleneksel yaklaşımlarla karşılaşılan bazı zorlukları çözme eğilimine sahip olduğunu görmüşlerdir. Kaza olasılıklarının hesaplanması için güvenilir veriler bulmakta zorlanmış olsalar da, ARAMIS'te önerilen bariyer yaklaşımı çözümü bu eksikliğin sonuçlarını azaltmıştır.

Beş farklı Avrupa sanayi sitesinde gerçekleştirilen örnek çalışmalar, ARAMIS'in hedeflerini gerçekleştirdiğini göstermiştir. Bu hedefler şunlardır:

- ARAMIS metodolojisi bir dizi birleşik araç sunarak risk analizi için geleneksel metodolojilere alternatif bir yol sunmaktadır.
- ARAMIS yönteminin potansiyel kullanıcıları olan sanayiciler, yetkili makamlar ve yerel yetkililerin özel ihtiyaçlarına cevap vermektedir.
- Bariyer yaklaşımını teşvik ederek, çalışılan tesis için geçerli olan güvenlik gereksinimlerinin tanımlamasına yardımcı olmaktadır.
- Aynı zamanda referans kaza senaryolarının kolay ve açık bir şekilde tanımlanmasını sağlamaktadır.

Landucci vd. (2017), çalışmalarında, sert çevre koşullarının, acil durum müdahalesine ve güvenlik bariyerlerinin performansına etkisinin hesaba katılmasıyla, yangın ile tetiklenen olayların kantitatif değerlendirilmesi için bir yaklaşım tanımlamayı amaçlamışlardır. Varsayımsal bir petrol terminalinin depolama alanı dikkate alınmıştır. Terminal bir denizaltı boru hattından açık deniz hidrokarbon üretim tesisine bağlanır.

Yaklaşım uygulanırken Adım 0, Adım 1, Adım 2 ve Adım 3 olmak üzere toplam dört aşama çalışılmıştır.

- Adım 0: Metodolojinin başlangıç aşamasında yangınla tetiklenen ardışık olayların önlenmesine ve hafifletilmesine yönelik güvenlik bariyerlerinin performansı karakterize edilmiştir.

- Adım 1: Sıcaklık, rüzgâr, kar ve dalgalar gibi sert çevre koşullarının etkilerini sistematik bir şekilde hesaba katmak için "Sert Çevresel Puan" (Harsh Environments Score, HES) tanımlanmıştır.
- Adım 2: HES'in tahmini değerinden başlayarak, literatürde mevcut olan çeşitli modellerin ve yaklaşımların uyarlanmasına dayalı bariyerlerin kullanabilirliğinin ve etkinliğinin modifikasyonu gerçekleştirilmiştir.
- Adım 3: Son olarak, metodolojinin, eskalasyon sıklığı ve olasılık değerleri, modifiye edilmiş bir olay ağacı analizine göre değerlendirilmiştir.

Çalışma sonuçlarına göre, geliştirilen prosedür ile birlikte domino ve basamaklı etkilere neden olan eskalasyon senaryolarına daha kapsamlı bir değerlendirilme yapılabilecektir. Ayrıca yazarlar çalışmalarında, zorlu ortamlarda faaliyet gösteren endüstriyel tesislerin risk profilini iyileştirmek için acil durum tedbirlerinin ve acil durum eğitiminin etkin ve zamanında yapılması gerektiğini vurgulamışlardır.

Bernatik ve Bartlova (2014), LPG depolama tanklarının olası kaza senaryolarının analizine ve risklerin değerlendirilmesine dayalı olarak, LPG proses ekipmanlarının kaza ve olaylarının önlenmesine katkıda bulunmak amacı ile bir çalışma yapmışlardır. Risk analizi ve değerlendirmesi, forklifti çalıştırmak için LPG kullanan ve bünyesinde yerleşik bir LPG dolum istasyonuna sahip olan endüstriyel bir tesiste gerçekleştirilmiştir.

LPG dolum istasyonu ile ilgili risklerin analizi ve değerlendirilmesi ile kaza senaryolarının hazırlanması için hata ağaçları ve olay ağaçları kullanan ARAMIS metodolojisi seçilmiştir. Risk kaynağı tanımlaması amacıyla, metodolojide 16 tip ekipman tanımlanmıştır. Bu örnek olay da, LPG depolama tankının ekipman türü EQ4-Basınçlı depolama ekipmanıdır. Seçilen her bir risk kaynağına, kritik bir olay atanmalıdır. Yöntem 12 kritik olay varsaymaktadır. Bu çalışma için kritik olay CE10-Felakete neden olacak ani yırtılma/kopma seçilmiştir. Daha sonra hata ağacı ve olay ağacı oluşturularak, bu ikisinin bağlanmasıyla papyon diyagramı oluşturulmuştur. Bulunan tehlikeli olayların sıklığını hesapladıktan sonra referans kaza senaryolarını belirlemişlerdir.

Çalışmada, ARAMIS metodolojisinin uygulanabilirliğini bu tür risk kaynaklarında test etmişlerdir. ARAMIS, LPG içeren risk kaynaklarının değerlendirilmesini sağlamıştır. Birkaç adım uygulanması ile daha önceden tanımlanmış olan verilerin detaylı risk değerlendirmesini kolaylaştırdığını görmüşlerdir. Bununla birlikte, risk değerlendirmesi yapan kişinin bakış açısına göre analiz yapmanın zorluk derecesinin değiştiğini görmüşlerdir. ARAMIS metodolojisinin yüksek profesyonellik ve zamana ihtiyaç duymasına rağmen niceliksel risk analizine uygun bir yaklaşım olarak önermişlerdir.

Kontić vd. (2006), ARAMIS metodolojisinin Slovenya'daki bir Seveso II tesisinde risk değerlendirmesine ve buna bağlı güvenlik yönetim sistemine karşı güven oluşturmaya nasıl katkıda bulunduğunu göstermeyi amaçlamışlardır. Bu tesis ruhsatlandırma sürecindedir. Bu süreç içerisinde Slovenya düzenlemelerine göre, ruhsatlandırma için risk değerlendirmesi içeren çevre etki değerlendirme raporu ile güvenlik ve çevresel uygunluklarını göstermeleri gerekmektedir. Bu amaçla tesise HAZOP, "What-if" ve Hata/Olay Ağacı Analizi tehlikeleri tanımlamak, kaza senaryolarını geliştirmek, oluşma olasılıklarını ve kaza çıktılarını hesaplamak ve sonuçların ciddiyetini değerlendirmek için kullanılmıştır. Ayrıca kaza senaryolarının çıktılarını değerlendirmek için PHAST 6.1, hata ve olay ağacı analizi için "FaultTree+" yazılımı ve "Red Book", yeni tesisin çevresinde ki potansiyel sonuçları değerlendirmek için Risk*Assistant kullanmışlardır. Çalışmalarının sonucunda ARAMIS metodolojisinin uygulanan diğer yöntemlere kıyasla daha şeffaf ve güvenilir olduğunu görmüşlerdir. Ayrıca ARAMIS metodolojisi risk değerlendirme konularının çözümünde destek olma potansiyeline sahiptir.

Bragatto vd. (2015), çalışmalarında küçük ve orta ölçekli işletmeler için 2012/18/EU direktifi ile verilen Güvenlik Yönetim Sistemini oluşturmak amacıyla papyon modeline dayanan yeni bir yöntemi ele almışlardır. Bu yöntemin özünde, ekipmanlar, işletme talimatları ve prosedürlerini içeren somut ve soyut bütün ağların birleştirilmesine olanak sağlayan bir "güvenlik ağı modeli" vardır. Yöntem uygulayıcılara adım adım Güvenlik Yönetim Sistemini oluşturmalarını sağlar. Ayrıca yazarlar yöntemi iki farklı Seveso tesisinde test etmişlerdir. Bunlardan bir tanesi galvanik tesisi, diğeri ise küçük bir yapıştırıcı üreticisidir. Çalışmayı bazı sınırlamalar dahilinde yeterli bulmuşlardır ve benzer sektörlerde uygulanabilirliği konusunda oldukça emin olduklarını belirtmişlerdir.

Babaarslan vd. (2014), çalışmalarında TÜPRAŞ Kırıkkale petrol rafinerisinin atmosferik distilasyon ünitesinde yer alan atmosferik damıtma kolunu ve kolon giriş çıkış hatlarına ARAMIS metodolojisini HAZOP ile birlikte uygulamışlardır. Çalışma boyunca ARAMIS'in iki alt yöntemi olan MIMAH ve MIRAS çalışmışlardır ve MIMAH adımından sonra hata ağacının kök nedenlerini güçlendirmek için HAZOP uygulamışlardır. Tehlikeli ekipman seçiminde kullanılan korelasyonun, sabit bir kaynama noktası olmayan maddeleri içeren ekipmanlara uygulaması için ilave araştırmalar yapılması gerektiği sonucuna varmışlardır. Çalışma alanında, olayların çoğunluğunu orta etki (sarı) ya da ihmal edilebilir etki (yeşil) bölgede tespit etmişlerdir. Bunun yanı sıra iki adet olayın yüksek etki bölgesinde olduğunu tespit etmişlerdir.

Delvosalle vd. (2005), ARAMIS projesi kapsamında, kaza senaryolarının tanımlanması için yürütülen çalışmaları sunmayı amaçlamışlardır. Bu amaçla birbirini tamamlayan ARAMIS projesi içinde yer alan MIMAH ve MIRAS metodolojilerinin bir etilen oksit deposu üzerindeki uygulamasını açıklamışlardır. Bu uygulama sonucunda ARAMIS metodolojisinin tutarlı ve uygulanabilir olduğunu görmüşlerdir.

Moreno ve Cozzani (2018), üretim sanayisinin köşe taşı haline gelen biyoproses, büyük önemine rağmen, bu tür işlemlerin güvenliği henüz sistematik olarak analiz edilmemiş ve incelenmemiştir. Biyoteknolojik süreçlerin tehlikeleri, hem mikroorganizmaların varlığı ile ilgi tehlikeleri, hem geleneksel kimyasal süreç tehlikelerini hem de biyolojik tehlikeleri içerir. Yazarlar bu çalışmalarında, endüstriyel ölçekte geleneksel tehlikelerin ve biyolojik tehlikelerin entegre değerlendirilmesini amaçlayan biyoteknolojik süreçlerde tehlike tanımlanması için özel bir metodoloji geliştirmişlerdir.

Baybutt (2014), güvenlik enstrümanlı sistemleri oluşturan fonksiyonlar için güvenlik bütünlüğü seviyelerinin standartlara göre belirlenmesi gerekmektedir. Bu işlem için risk/güvenlik matrisi, risk grafiği, koruma analizi katmanları ve daha birçok nicel yöntem standartta kabul edilen yaklaşımlar olarak tanımlanmaktadır. Risk matrisi ve risk grafikleri en basit yöntemlerdir ve bu nedenle daha çok tercih edilirler. Ancak bu yöntemlerin koruma analizi katmanları ve diğer birçok nicel analiz ile üstesinden gelinebilecek zorlukları vardır. Yazar çalışmasında, bu zorlukları açıklayarak, güvenlik bütünlüğü seviyeleri tespitinde risk matrisleri ve risk grafiklerinin etkilerini incelemiştir.

Scarponi vd. (2016), biyogaz üretiminde yaşanan kazaların artmasına rağmen, biyogaz tehlikelerinin kontrolü ve hafifletilmesi için yapılanlar çok azdır. Bu çalışmada yazarlar, biyogaz teknolojilerinin iç güvenliğini ele almışlardır. Tesis tasarımının ilk aşamalarında daha güvenli alternatiflerin seçimini sağlayan bir yöntem geliştirmişlerdir. Geliştirilen metodoloji, tasarım aşamasında bile kritik güvenlik sorunlarının ve daha güvenli çözümlerin tanımlanmasına olanak sağlamasının yanı sıra yenilenebilir enerjinin biyogazdan güvenli ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılması için teknoloji gelişimini yönlendirebilecek faydalı bir araç sağladığı sonucuna varmışlardır.

Delvosalle vd. (2017), çalışmalarında Belçika'nın Valon bölgesinde kullanılan risk ölçümü yöntemini açıklamışlar ve su, elektrik, doğal gaz, telekomünikasyon ve ulaştırma gibi kritik altyapıların dikkate alınması için yaklaşımın uyarlanmasını göstermişlerdir. Valon belgesindeki yöntem için iki adım izlemişlerdir. Bunlardan ilki, Seveso tesisleri etrafındaki riskin ölçülmesi ve ikinci olarak yüksek riskli bölgelerin çevresindeki arazilerin yönetilmesidir. Bireysel risk hesaplaması için Phast Risk QRA yazılımını kullanmışlardır. Sonuçlar bir izo-risk eğrisi (yıllık frekans) olarak sunulmuştur. Ayrıca patlama gibi büyük bir kazadan kaynaklan kritik altyapı hata sorunun vurgulanması için Montreal limanında kimyasal madde taşıyan bir geminin patlama simülasyonunu yapmışlardır. Simülasyon sonucunda böyle bir patlamanın sonuçlarının sadece karayolu, elektrik ve telekomünikasyon altyapılarını değil, etki yarıçapı içerisinde yer alan bazı itfaiye ve karakolu da etkileyebileceğini görmüşlerdir. Bu da yardımın daha uzak mesafeden geleceği ve tepki sürelerinin uzayacağı anlamına gelmektedir. Bir Seveso tesisinde olası bir kaza olması durumunda kritik altyapıların hata sonuçları olarak; (1) elektrik kesintisi gibi hizmet kaybı, (2) soğutma suyu eksikliği nedeniyle reaktörün veya tankın aşırı ısınma ile tahrip olmasına neden olacak yakındaki bir tesisin hizmet kaybı ve (3) tesise giden yolun kapanması ile acil servislerin müdahalesinin gecikmesi sunulmuştur. Son olarak ise kritik altyapıların arazi kullanım planlamasında dikkate alınması gereken konuları açıklamışlardır.

Wincek (2014), proses tesisleri, tanklar, pompalar ve borulardan sensörler, akümülatörler ve vanalara kadar sayısız ekipmandan oluşur. Felaketle sonuçlanan bir olaya neden olan sınırlama kaybını önlemek için kimyasal içeren ekipmanın korunması gereklidir. Bu ekipman da güvenlik açısından kritik olarak tanımlanabilir. Bunun yanı

sıra çalıştırıldığında açılmayan veya kapanmayan bir valf, sınırlama kaybına ve bununla birlikte felakete neden olan olaylar zincirini başlatabilir. Benzer şekilde, kalibrasyonu doğru ya da hiç yapılamamış bir proses sensörü yetersiz soğutmaya ve kaçak bir reaksiyona yol açabilir. Bunlar gibi ekipmanlarda felaket ile sonuçlanacak bir olaya neden olacak olaylar zincirini başlatabileceğinden dolayı güvenlik açısından kritik kabul edilebilir. Bu sebeple potansiyel kritik güvenlik ekipmanları listesi sonsuz gibi gözükebilir. Yazar da bu çalışmasında, sonsuz gibi görünen bu listeden güvenlik için en kritik olan ekipmanların, işletmede çalışma olmaksızın tanımlanması için bir yöntem çalışmıştır.

Selvan ve Siddiqui (2015), çalışmalarında sanayi sitesinde yer alan bir ısıl işlem proses tesisinin LPG depolama tankının risk değerlendirmesini gerçekleştirmişlerdir. Tehlike tanımlamasını belirli bir sisteme bağlı olarak gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca tesis dışında da sonuçlar doğurabilecek çeşitli kaza senaryoları tanımlamışlardır. Bu senaryoları gelişmiş risk değerlendirme yazılımları ile modellemiş ve sonuçlarını kabul görmüş uluslararası kriterler ile karşılaştırmışlardır.

Kumar vd. (2016), çalışmalarında kullanma, depolama ve dağıtım/taşıma sırasında, petrol yağları ve madeni yağlar ambarlarının farklı bölümlerdeki riski Phast Risk Micro Version 6.7 yazılımı yardımı ile analiz etmeyi ve uygun çalışma ortamı oluşturmak için tehlikeyi en aza indirmeyi amaçlamışlardır. Kaza sonuçlarının olası büyüklüğünü ve kazadan etkilenebilecek mesafeyi belirlemek için çeşitli kaza senaryoları yardımı ile tehlikenin nicel araştırmasını yapmışlardır.

Ferdous vd. (2011), kantitatif risk analizi olay ağacını ve hata ağacını esas alan bir risk değerlendirme yöntemidir. Ancak olasılıkların tanımlanmasındaki belirsizlik ve olayların ilişkileri kantitatif risk analizi için şüpheli sonuçlara neden olabilir. Yazarlar çalışmalarında, hata ağacı ve olay ağacındaki bu belirsizliklerin üstesinden gelmek için iki farklı yaklaşımı birleştirmişlerdir. Bu yaklaşımlardan biri bulanık küme teorisi diğeri ise kanıt teorisidir. Bu yaklaşımları iki farklı durum çalışmasına uygulamışlar ve önerilen yaklaşımların kantitatif risk analizindeki belirsizlikleri ele almak için güçlü yaklaşımlar olduğunu görmüşlerdir.

Salvi ve Debray (2007), SEVESO II direktifinde, risk değerlendirmesi için dikkate alınması gereken senaryoların uyumlu bir tanımı yoktur. Tipik olarak, seçilen senaryolar (toplam sınırlama kaybı, en büyük tanktaki yangın, en büyük kütlenin patlaması, BLEVE vb.) belirli risk analistlerine göre ve yönergeyi uygulayan ülkenin deterministik veya risk temelli yaklaşımına göre farklı olabilir. Bu durum, 6 Avrupa kuruluşunun belirli bir tesisin risk analizi için kriter çalışması gerçekleştirdiği, Avrupa Birliği projesi olan ASSURANCE sonuçlarıyla doğrulanmıştır. ARAMIS metodolojisi, ASSURANCE projesinin sonuçları ile ilgili daha fazla bilgi vermektedir ve risk değerlendirmesindeki tutarsızlıkları azaltan, yapılandırılmış bir yaklaşım önermektedir. Bir kuruluşun risk seviyesi, 3 bağımsız parametrenin ölçüldüğü entegre bir yaklaşımla karakterize edilir: 1) Senaryoların sonuç şiddeti tahmini, 2) Önleme yönetimi verimliliği ve 3) Çevre hassasiyeti. ASSURANCE projesi, kullanıcılar tarafından uygulanan, önleyici tedbirleri birleştirerek bir kuruluşun risk seviyesini değerlendirebilen bir yöntem kurma ihtiyacını karşılamak için gerekli unsurları sağlamıştır. Bu yöntemin uygulanması, tüm Avrupa ülkelerinde daha tutarlı bir risk değerlendirme ve güvenlik yönetimi stratejisi sağlamıştır. Yazarların bu çalışması, ASSURANCE projesinin ana sonuçlarını sunmaktadır ve ARAMIS yönteminin risk değerlendirmesini nasıl geliştirdiğini ve özellikle dikkate alınacak senaryoların belirlenmesini açıklamışlardır. Bu yaklaşımın, Seveso tesisleri kullanıcılarına, risklerin doğru bir şekilde tanımlandığını ve kontrol altında olduğunu göstermek için nasıl yardımcı olduğu açıklamışlardır.

Hourtolou ve Salvi (2004), çalışmalarında ARAMIS metodolojisini kısaca açıklamışlardır. ARAMIS bir dizi birleştirilmiş araç sunarak, risk analizi için geleneksel risk tabanlı ve sonuç temelli metodolojilere alternatif bir yol sunmayı amaçlamaktadır. ARAMIS kullanıcılarının özel ihtiyaçlarını göre tasarlanmıştır. Ayrıca verilerin eksikliği ile ortaya çıkan kaza sıklığı problemini çözmek için hazırlanmıştır. Aynı zamanda bu yaklaşım referans kaza senaryolarının kolay ve açık bir şekilde tanımlanmasını sağlamaktadır.

Khakzad vd. (2012), çalışmalarında, papyon yaklaşımının, kaza sonuçlarının meydana gelme olasılığının değiştiği, dinamik bir ortamda kullanılmasına odaklanmışlardır. Bu yöntemde, bir yandan, üst olaya yol açan papyonun birincil olaylarının başarısızlık

olasılığı, fiziksel güvenilirlik modelleri kullanılarak geliştirilmiş ve fiziksel parametreler değiştikçe sürekli revize edilmiştir. Öte yandan, papyonun güvenlik bariyerlerinin hata olasılığı yeni bilgiler zamanla kullanılabilir hale geldiği için Bayes teoremi kullanılarak periyodik olarak güncellenmiştir. Son olarak, ortaya çıkan, güncellenmiş papyon, sonuçların sonraki olasılığını tahmin etmek için kullanılmış ve sonuçta güncel bir risk profili ortaya çıkartılmıştır. Sonuç olarak, dinamik risk değerlendirmesinde papyon güncellemesinin rolü ortaya konulmuştur. Fiziksel modeller, deneysel ve saha verilerinin oluşturulmasını gerektirse de, yazarların yaptığı bu araştırma, analistin gerçek zamanlı olasılık tahmini için hızlı ve pratik bir yöntem sağlayabileceğini göstermiştir. Genel olarak, uygulanan güncelleme metodolojisinin, papyon güncellemesinde etkili bir teknik olduğu gösterilmiş ve bu da gerçek zamanlı ve dinamik risk analiziyle sonuçlanmıştır. Ayrıca, fiziksel olarak güncellenmiş bir risk tahmini elde etmek için ekipmanın sürekli izlenmesiyle sağlanan fiziksel parametrelerin, zaman içinde kazaların meydana gelmesinden kaynaklanan ilk tahminlerin değişmesinde nasıl rol aldığı gösterilmiştir.

Bruin ve Swuste (2008), çalışmalarında petrol ve gaz arama ve üretiminde uzmanlaşmış uluslararası bir şirketin araştırma sahasında HSE tehlike senaryolarını analiz etmişlerdir. Amaçlarından ilki, yeni araştırma alanındaki deney tesisleri için HSE tehlike senaryolarını analiz etmektir. İkinci amaçları ise, ideal tasarım sayesinde bu tehlikeleri en düşük seviyeye indirebilmek ve sonuncu olarak, gelecekteki araştırmalarla ilgili olayların miktarını ve şiddetini azaltabilmektir. On temel tehlike senaryosunu analiz etmek için Tripod ß tekniğinden yararlanmışlardır. Ayrıca bu teknikle, büyük tehlike senaryoları ve genel hata tiplerini belirlemişlerdir.

Landucci vd. (2008), hidrojen depolama teknolojilerinin temel güvenlik performansını araştırmışlardır. Hidrojen depolama için önerilen alternatif prosesler için referans şemalarını tanımlamışlar ve birkaç depolama olasılıklarını göz önüne almışlardır. Temel performans göstergelerinin tahmin edilmesi için sonuç değerlendirmesine dayanarak alternatif proses teknolojilerinin beklenen güvenlik performansını araştırmışlardır. Sonuçlar, hidrojen depolama için önerilen yenilikçi teknolojiler için potansiyel tehlikenin her zaman daha düşük olduğunu göstermiştir. Ancak sonuçlar, bu

teknolojilerin endüstriyel uygulama perspektifinde yardımcı ekipmanın güvenilirliğinin ele alınması gereken kritik bir konu olacağını da ortaya koymuştur.

Meel vd. (2007), çalışmalarında belirli bazı kimyasal tesislerde olay frekanslarını, ilgili nedenleri, ekipmanları ve sonuçlarını Bayes teorisini kullanarak tahmin etmeye çalışmışlardır. Çalışma NRC veri tabanındaki olayların dinamik analizini sunmaktadır. NRC veri tabanı, Bayes teorisini kullanarak çeşitli kimyasal ve petrokimyasal şirketlerde meydana gelen olayların meydana gelme oranını modellemek için kullanılmaktadır. Sonuç olarak, NRC veritabanında kaza öncülerini analiz etmek için istatistiksel modeller geliştirmişlerdir. Bunlar; (1) şirketin spesifik tahminlerini iyileştiren Bayes modelleri sağlamak, (2) olayların daha yüksek varyasyonlarının gözlemlendiği haftanın günlerinin tanımlanması, (3) operatör hatası/ekipman arıza oranının petrokimya için özel kimyasal şirketlerden daha düşük olduğunun gösterilmesidir.

Kalantarnia vd. (2008), bir süreç sisteminin güvenliğini sağlamak için kullanılan en popüler yöntemlerden biri, belirli bir işlem etkinliği ile ilişkili riski ölçen nicel risk değerlendirmesidir. Nicel risk değerlendirmesinin başlıca dezavantajlarından biri, bir prosesin ömrü boyunca riskin güncellenememesidir. Proses devam ederken, olağandışı olaylar kazalara ve kayıplara yol açacaktır. Geleneksel bir nicel risk değerlendirmesi işlemi, risk profilini revize etmek için kaza habercisi bilgilerini kullanamaz. Bunu aşmak için yazarlar bir metodoloji önermişlerdir. Makalelerinde, önerilen metodoloji özetlenmiş ve basit örnek bir olay incelemesi yaparak metodolojinin uygulanmasını göstermişlerdir. İlk olarak, potansiyel kaza senaryoları, bir olay ağacıda tanımlanmış ve temsil edilmiştir, daha sonra, olay ağacının kullanılması ve mevcut hata olasılıkları tahmin edilmiştir. Ardından, mevcut kaza öncüsü verileri kullanılarak, güvenlik sistemi kaza olasılığı ve olay ağacı olasılıkları gözden geçirilmiştir. Bu metodoloji, oldukça tehlikeli kimyasallar içeren bir depolama tankını gösteren bir olay çalışmasında uygulanmıştır.

Akyuz (2015), çalışmasında, gemideki en kritik süreçlerden birisi olan ham petrol tankerlerinin gaz inertleme işleminde insan hatası olasılığını ölçmek için bir yaklaşım araştırmıştır. Gaz inertleme işlemi, kargo tanklarında yangın ve kimyasal reaksiyonu önler. İşlevsel faydalarına rağmen, tankların içinde oksijen eksikliğine neden olabilir ve

deniz çevresinin yanı sıra insan sağlığına da zarar verebilir. Bu nedenle, gaz inertleme işlemi sırasında insan hatası olasılığının tahmin edilmesi oldukça önemlidir. Yazar bu çalışmasında, belirlenen görevler için insan hatasını sistematik olarak tahmin etmek ve ham petrol tankeri gemilerinde istenen güvenlik kontrol seviyesini belirlemek için nicel bir yaklaşım sunmaktadır. Çalışmada her adım için insan hatası olasılığı hesaplanmış ve sonuç şiddeti ile birleştirilmiştir. Daha sonra risk değerlendirmesi yapılmış ve bulgular ışığında insan hatası azaltma tedbirleri önerilmektedir.

Kokangül vd. (2017), çalışmalarında, tehlikelerin deneyime dayalı olarak belirlendiği büyük bir imalat şirketinde bir risk değerlendirme çalışması yapmışlardır. Son 10 yıllık istatistiksel kayıtları kategorize edilmişler ve her bir kategori analitik hiyerarşi süreci (AHP) yöntemi kullanılarak öncelik sırasına koymuşlardır. Çalışma alanında belirlenen tehlikeler ise, Fine Kinney metodu kullanılarak değerlendirilmiştir. Fine Kinney risk değerlendirmesi ve AHP konuları arasındaki ilişki incelenmiş ve AHP için risk sınıfı aralıkları belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada Fine Kinney risk değerlendirme yöntemindeki risk sınıfı ölçümünde AHP yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçların kullanılmasına dayalı bir yöntem geliştirilmiştir.

Aljaroudi vd. (2015), açık denizdeki ham petrol boru hatlarının hata ve hata sonuçlarının risk değerlendirmesini çalışmışlardır. Boru hattı ve boru hattının sızıntı tespit isteminin her ikisinin de hata olasılığı ve hata sonuçlarının belirlenmesinin çok önemli olduğundan bahsetmişlerdir. Sonuçlarından çevresel hasar, petrol sızıntısının temizlenmesi ve üretim kaybı ile ilgili mali kayıpları da değerlendirmişlerdir. Mali olarak da bir risk tahmininde bulunmuşlardır. Ayrıca bu tahmin edilen riskin önceden hedeflenen riski aşıp aşmadığını belirleyerek yapının geleceği hakkında karar vermeyi kolaylaştırdığını görmüşlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Madeni Yağ Tesisi

Madeni yağlar; motor ve otomotiv dişli yağları, endüstriyel yağlar, gresler ve yağlama müstahzarları olarak sınıflandırılmaktadır ve otomotiv, sanayi, maden ve inşaat gibi çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır. Madeni yağın hammaddesi ham petrolün çeşitli özel işlemlerden geçirilmesi ile elde edilen baz yağlardır. Bu baz yağlar viskozitelerine göre sınıflandırılmaktadır. Madeni yağ, bu baz yağlara, nihai mamulden istenen özelliklere göre türlü katkı maddelerinin eklenmesi ile elde edilir. Bu katkı maddeleri baz yağlara; köpürmeyi, paslanmayı, aşınmayı ve oksitlenmeyi önleme ve viskozite ayarlama gibi kimyasal ve fiziksel özellikler kazandırmaktadır.

Risk analizinin yapıldığı tesiste kurulu olan makine tesisat; hammadde stok tankları, ürün stok tankları, harmanlama tankları, yağ dağıtım boru hatları, hava dağıtım boru hatları, pompalar, kompresör, dolum makineleri, palet sarma makinesi ve forklift, transpalet gibi nakil araçlarından oluşur.

Madeni yağ üretim prosesi tankerler ile gelen baz yağın hammadde stok tanklarına pompalar yardımı ile alınmasıyla başlar. Bu sırada gelen baz yağın viskozite tayini, akma noktası tayini, parlama noktası tayini gibi kalite kontrol testleri de yapılır. Hammadde stok tanklarında bekleyen baz yağ pompa vasıtasıyla harmanlama tankına alınır. Bu tankta baz yağa istenilen özellikleri kazandırmak ya da geliştirmek için uygun tür ve miktarda bir ya da birkaç katkı maddesi eklenir ve homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırma ve ısıtma işlemi uygulanır. Karıştırma işlemi hava ile yapılır. Hazırlanan nihai mamul dinlendirilmek üzere boru hatları içinden ürün stok tanklarına alınır. Kalite kontrol testlerinden geçmiş olan dinlenmiş nihai ürün dolum makinesine alınır ve muhtelif ambalajlara doldurulur. Kolay stoklanması veya yükleme kolaylığı sağlanması için paletlere yüklenen ambalajlı mamul palet sarma makinesi ile strençlenir.

Tesisin yerleşim planı EK-2'de verilmiştir.

Bu çalışmanın Materyal ve Yöntem kısmının aşağıda ki anlatımları Anonim (2012a), Andersen vd. (2004), Delvosalle vd. (2004), Delvosalle vd. (2004a), Delvosalle vd. (2004b), Delvosalle vd. (2004c), Delvosalle vd. (2004ç), Delvosalle vd. (2004d), Delvosalle vd. (2004e), Delvosalle vd. (2004f) ve Delvosalle vd. (2004g) kaynaklarından yararlanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.2. ARAMIS - Endüstrilerde Kaza Riski Değerlendirme Metodolojisi

ARAMIS projesinin başladığı sıralarda, Enschede (2000), Toulouse (2001) veya Lagos (2002) gibi bazı yeni teknolojik kazalar toplumu hayrete düşürmüş ve hatta hem sektöre hem de düzenleyici kurulların riskle ilgili kararlarına güvenmemesine neden olmuştur. Gerçekleşen bu kazalar çelişkisiz ve belirgin karar alma süreçlerine olan gereksinimi arttırmıştır.

Risk temelli kararlar, kuşkusuz, risk değerlendirmelerinden elde edilmiş olan güvenilir bilimsel girdiler gerektirmektedir. Lakin, bir risk analistinden bir başkasına, ilgili ve yerel kararları etkileyecek kayda değer farklılıklar vardır. Bu ASSURANCE (Kimya Kuruluşlarına ait Risk Analizinin Tutarsızlıklarının Değerlendirilmesi) projesi tarafından da kanıtlanmıştır. Bu nedenle, kaza senaryolarını seçmek ve risk kontrol gösterimi için güvenlik yönetimi etkinliğini hesaba katan, tutarlı kurallar veren bir metodolojiye duyulan ihtiyaç ortaya çıkmıştır. Ayrıca Seveso II Direktifi bağlamında, Avrupa genelinde risk uzmanları arasında fikir birliğine varabilecek bir yönteme öncelikli olarak gereksinim vardır. ARAMIS'in potansiyel son kullanıcıları çok sayıdadır ama en çok ilgilileri sanayi, yetkili kuruluşlar ve yerel yönetimlerdir. Hepsi aynı risk yönetim prosesi ile alakalı olsa bile, her birinin ihtiyaçları nispeten farklıdır.

Seveso Direktifi madde 9'un gerektirdiği üzere işletmecinin riski tanımlamak, değerlendirme, azaltmak ve gerektiğinde risk azaltımını göstermek için bir yönteme ihtiyacı vardır. Yetkili kuruluşlar bu yöntem ve kanıtı kabul etmeleri gereklidir. Ayrıca yaklaşım, riskleri azaltmanın ve günlük olarak yönetmenin yolları hakkında faydalı bilgiler kazandırmalıdır.

Yetkili makamlar, tesisin güvenlik seviyesini, özellikle de güvenlik raporu aracılığıyla değerlendirebilmelilerdir. Sonuçların modellenebilmesi için hangi senaryoların seçileceğini de bilmeleri gerekmektedir.

Yerel yönetimler ve yetkili makamların her ikisi de yönetimin güvenlik seviyesi üzerindeki etkisini değerlendirmeleri gerekmektedir. Endüstrinin riskleri azaltmak için yönetimini geliştirebilmesi ve yetkili biriminin bu önemli etki faktörünü dikkate alan, gerçek risk düzeyini belirlemelidir. Oluşan büyük kazaların % 50'sinden fazlası aslında insan ve kuruluşa ait faktörlerle ilişkilidir. Bu faktörlerin belirlenmesi bile ARAMIS yöntemini oluşturmak için yeterli ve önemli bir nedendir.

Belediyeler gibi yerel makamlar arazi kullanım planı konuları ile ilgilenmektedir. Toplumun karşı karşıya olduğu riskler hakkında açık bir rapor sunmaları gereklidir. Ayrıca karar vermek için kullanılabilecek bilgilere ihtiyaç duyarlar. Temel olarak yerel yönetimlerin görevi ya riske maruz kalan hedef (insan, altyapı, çevre) sayısını sınırlama ya da kaynak ile bu hedefler arasında engeller oluşturarak savunmasızlığı azaltılma ile ilgilidir. Ayrıca bir kaza senaryosu esaslı bir risk çerçevesi tasarladıklarında sanayiye ve yetkili makamlara güvenmek zorundadırlar.

ARAMIS'in amacı tüm bu gereksinimleri yanıtlamaktır:

- Yönetim sisteminin etkinliğini de göz önünde bulundurarak, tehlikelerin tanımlanması ve riskin gerektiği gibi yönetilmesinin kanıtını sağlar;

- Arazi kullanım planlaması ve acil durum planlaması ile ilgili karar verme süreci hakkında bilgi sağlar;

- Toplum tarafından anlaşılabilecek açık bir yaklaşım ortaya koyar.

Aynı zamanda, bu yöntem, hem sanayinin hem de yetkili makamlar ve yerel yönetimlerin beklentilerini karşılayan bir metotla, deterministik ile olasılıksal yaklaşım arasındaki yakınsamayı sağlar.

ARAMIS genel hedefi, hem deterministik hem de risk temelli yaklaşımların güçlü yönlerini birleştiren, endüstri için yeni bir kaza risk değerlendirmesi metodolojisi oluşturmaktır. 5. AB Çerçeve Programı kapsamında, üç yıllık bu proje Ocak 2002'de başlamıştır.

ARAMIS, aşağıdaki ana aşamalara ayrılmıştır:

- Büyük kaza tehlikelerinin tanımlanması (MIMAH)

- Güvenlik bariyerlerinin belirlenmesi ve performanslarının değerlendirilmesi

- Güvenlik yönetimi verimliliğinin bariyer güvenilirliğine değerlendirilmesi

- Referans Kaza Senaryolarının Tanımlanması (MIRAS)

- Referans senaryoların risk şiddetinin değerlendirilmesi ve haritalanması

ARAMIS metodu hedefine ulaşmak iki ana tamamlayıcı yöntem kullanmaktadır.

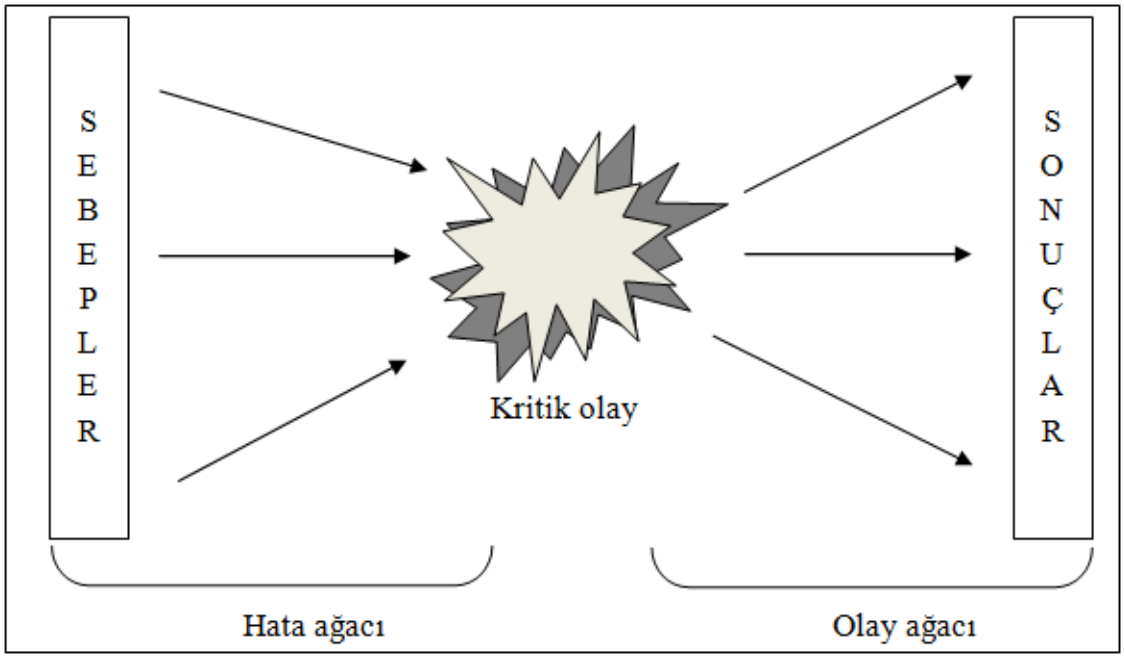
Bunlardan ilki, Büyük Kaza Tehlikelerinin Belirlenmesi Metodolojisidir (MIMAH). MIMAH metodolojisi, bir tesisin maksimum potansiyelini tanımlar. "Büyük Kaza Tehlikeleri" terimi, emniyet sistemlerinin (emniyet yönetim sistemleri dahil) kurulmadığı veya etkisiz kaldığı varsayımıyla, bu kurulumda meydana gelebilecek en kötü kazalar olarak anlaşılmalıdır. Belirlenen en büyük kaza tehlikeleri, sadece incelenen ekipmanın türü ve kullanılan kimyasalların özellikleri ile bağlantılıdır.

İkinci yönteme MIRAS (Referans Kaza Senaryolarının Tanımlanması için Metodoloji) denir. Bu yöntem, MIMAH metodolojisi ile tanımlanan senaryolar üzerindeki güvenlik aygıtları ve tedbirlerinin etkisini inceler. Kaza nedenlerinin derinlemesine incelenmesi, güvenlik sistemlerinin olasılık seviyesinin Büyük Kaza Tehlikelerinden daha gerçekçi senaryolar ile tanımlanmasını sağlar. Bu Referans Kaza Senaryoları (RAS), güvenlik sistemlerini (güvenlik yönetim sistemi dahil) dikkate alarak, ekipmanın gerçek tehlikeli potansiyelini temsil eder.

3.3. MIMAH - Büyük Kaza Tehlikesinin Belirlenmesi Metodolojisi (Güvenlik bariyeri olmayan papyon diyagramlarının oluşturulması)

3.3.1. Papyon diyagramı yaklaşımı

MIMAH "Büyük Kaza Tehlikesinin Belirlenmesi Metodolojisi" anlamına gelmektedir. MIMAH'ın amacı bir süreç sanayisinde oluşabilecek bütün muhtemel büyük kaza senaryolarını tanımlamaktır. MIMAH metodolojisinin temel aldığı esas araç, papyon diyagramıdır.



Şekil 3.1 Papyon diyagramının genel şeması

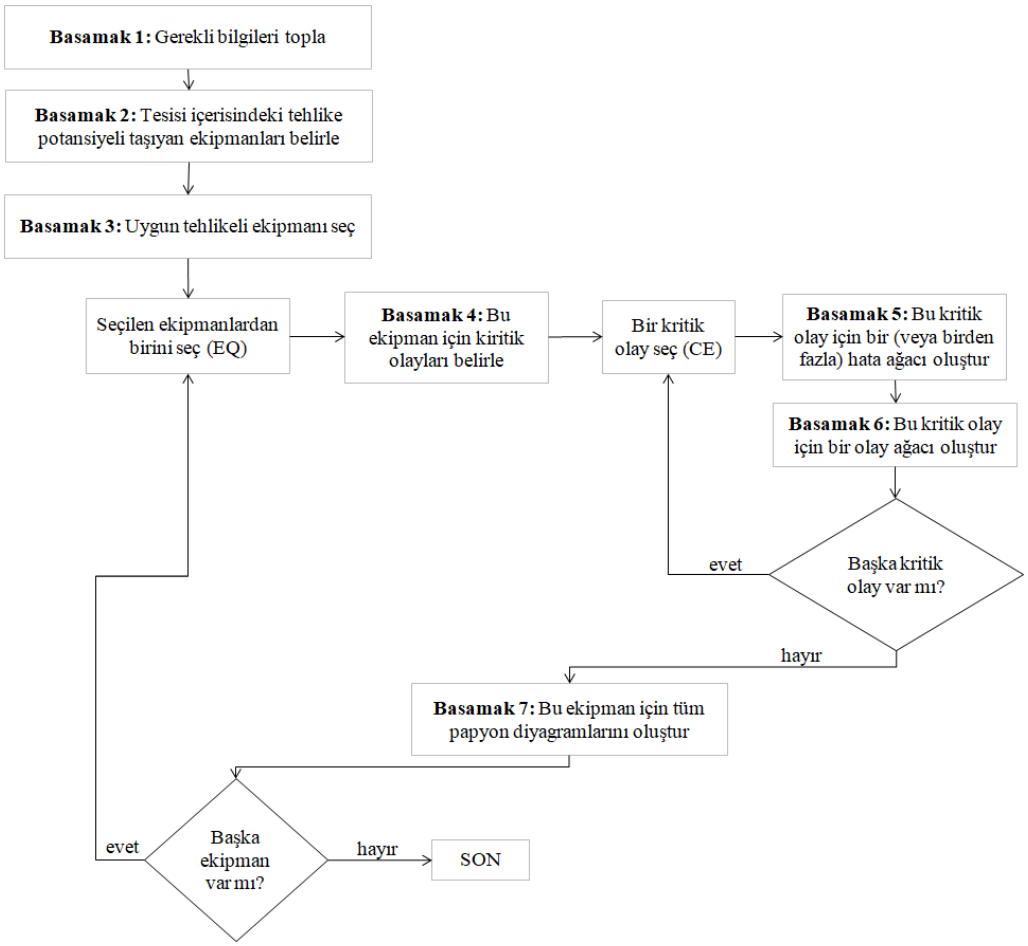
Papyon diyagramının merkezinde kritik olay vardır. Şekil 3.1'de papyon diyagramının genel şeması verilmiştir. Genellikle kritik olay sınırlama kaybı (LOC) ya da fiziksel bütünlük kaybı (LPI) olarak tanımlanmaktadır. Hata ağacı olarak isimlendirilen papyonun sol kısmı, kritik olayın muhtemel nedenlerini tanımlamaktadır. Olay ağacı adı verilen sağ kısmı ise kritik olay olası sonuçlarını tanımlamaktadır.

3.3.2. MIMAH'ın ana basamakları

MIMAH metodunda 7 basamak izlenmesi gerekir:

Basamak 1: Gerekli olan bilgilerin toplanması
Basamak 2: Tesisteki potansiyel olarak tehlikeli ekipmanları tanımlanması
Basamak 3: Uygun tehlikeli ekipmanın seçilmesi
Basamak 4: Seçilen her tehlikeli ekipman için kritik olayların belirlenmesi
Basamak 5: Her bir kritik olay için hata ağacı oluşturulması
Basamak 6: Her bir kritik olay için olay ağacı oluşturulması
Basamak 7: Seçilen her ekipman için papyon diyagramlarının oluşturulması

MIMAH'ın basamaklarının genel akışı şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2 MIMAH basamaklarına genel bakış

3.3.3. Basamak 1: Gerekli olan bilgilerin toplanması

Büyük kaza senaryolarını tanımlamak için birçok veri toplanması gerekmektedir.

MIMAH'ı tamamlayabilmek için en az şu bilgilerin toplanması gereklidir:

- Tesis ve tesisteki prosesler hakkında genel bakış açısı kazanmak için tesis hakkında toplanması gereken veriler;

    * Tesis planı
    * Proseslerin kısa açıklamaları
    * Ekipmanların ve boruların listesi ve kısa açıklamaları
    * Listelenmiş olan ekipmanlar ile alakalı depolanan veya işlenen maddelerin listesi
    * Maddelerin tehlikeli özellikleri

- Her bir potansiyel tehlikeli ekipman için;

* Ekipmanın ismi

* Boyutu (hacmi, boyutları)

* Çalışma sıcaklığı ve basıncı

* İşlenen maddeler

* Maddenin fiziksel hali

* Ekipmanın "içindeki" maddenin miktarı (içinde ki için kg ya da akış halindeki için kg/s)

* Maddelerin kaynama noktaları

3.3.4. Basamak 2: Tesisteki potansiyel olarak tehlikeli ekipmanları tanımlanması

Toplanan bilgiler temelinde, tesiste mevcut olan tehlikeli maddelerin bir listesi hazırlanması gerekir. İkinci adımda, bu maddeleri içeren ekipmanların bir listesini hazırlamak ve malzemenin hangi fiziksel durumda bulunduğunu belirlemek gerekir. Böylece üç katlı tipoloji (tehlikeli madde, fiziksel durum ve ekipman) kullanılır.

Tehlikeli madde tipolojisinde (Çizelge 3.1) belirtilen bir veya birden çok risk ibaresi bulunan tüm tehlikeli maddeler dikkate alınmalıdır.

Çizelge 3.1 Tehlikeli madde tipolojisi

Katagori	**Risk fazı**	
Çok toksik	R26	Soluma ile çok toksik
	R100	Yandığı zaman çok toksik buhar yayar
Toksik	R23	Soluma ile toksik
	R101	Yandığı zaman toksik buhar yayar
Oksitleyici	R7	Yangına neden olur (organik peroksit)
	R8	Yanıcı maddeler ile teması yangına neden olabilir
	R9	Yanıcı maddeler ile karıştığı zaman patlayıcı
Patlayıcı	R1	Kuru iken patlayıcı
	R2	Şok, sürtünme, yangın veya diğer tutuşma kaynakları ile patlama riski
	R3	Şok, sürtünme, yangın veya diğer tutuşma kaynakları ile aşırı patlama riski
	R4	Çok hassas patlayıcı metalik bileşik oluşturur

Çizelge 3.1 Tehlikeli madde tipolojisi (devam)

Katagori	**Risk fazı**	
Patlayıcı	R5	Isıtma patlamaya neden olabilir
	R6	Hava ile teması olan yada olmayan patlayıcı
	R16	Oksitleyici maddeler ile karıştığı zaman patlayıcı
	R19	Patlayıcı peroksitler oluşturabilir
	R44	Kapalı ısıtmada patlama riski
	R102	Piroteknik madde
Alevlenebilir	R10	Alevlenebilir
	R18	Kullanımda, Alevlenebilri/patlayıcı buhar-hava karışımı oluşturabilir
Kolay alevlenebilir	R10	Alevlenebilir (özellikle sıcaklık ve basınç koşullarında)
	R11	Kolay alevlenebilir
	R17	Havada anından alevlenebilir
	R30	Kullanımda kolay alevlenebilir olabilir
Çok kolay alevlenebilir	R10	Alevlenebilir ($T>T_{eb}$)
	R11	Kolay alevlenebilir ($T>T_{eb}$)
	R12	Çok kolay alevlenebilir
Suyla kuvvetli reaksiyona girme	R14	Suyla kuvvetli reaksiyona girme
	R15	Su ile temasında çok kolay alevlenebilen gaz salma
	R29	Su ile temasında toksik gaz salma
	R14/15	Suyla kuvvetli reaksiyona girme, çok kolay alevlenebilen gaz salma
	R15/29	Su ile temasında toksik, çok kolay alevlenebilen gaz salma
Başka maddeler ile kuvvetli reaksiyona girme	R103	Başka bir madde ile temasında toksik gaz salma
	R104	Başka bir madde ile temasında çok toksik gaz salma
	R105	Başka bir madde ile temasında alevlenebilen gaz salma
	R106	başka bir madde ile temas durumunda patlayıcı olabilir
Çevre için tehlikeli (su ortamları	R50	Su organizmaları için çok toksik
	R51	Su organizmaları için toksik

Çizelge 3.1 Tehlikeli madde tipolojisi (devam)

Katagori	**Risk fazı**	
Çevre için tehlikeli (su ortamları harici için)	R54	Bitki örtüsü için toksik
	R55	Hayvanlar için toksik
	R56	Toprak organizması için toksik
	R57	Arılar için toksik
	R59	Ozon tabakası için tehlikeli

Tespit edilen her tehlikeli madde için, bu maddeleri içeren bir ekipman listesi hazırlamak gerekmektedir. Bu ekipmanlar ekipman tipolojisine göre sınıflandırılması gerekir. Metodolojiye göre tanımlanan 16 ekipman tipi çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Ekipman tipolojisi

N^r EQ	**Ekipman tipi**
Depolama birimleri	
EQ1	Katı kütle depolama
EQ2	Küçük paketlerde katı depolama
EQ3	Küçük paketlerde sıvı depolama
EQ4	Basınçlı depolama
EQ5	Yalıtılmış depolama
EQ6	Atmosferik depolama
EQ7	Kriyojenik depolama
Yükleme/Boşaltma birimleri	
EQ8	Basınçlı taşıma ekipmanı
EQ9	Atmosferik taşıma ekipmanı
Boru ağı	
EQ10	Boru hattı
Proses birimleri	
EQ11	Prosese dahil ediilmemiş ara depolamam ekipmanı
EQ12	Kimyasal reaksiyon içeren ekipmanlar
EQ13	Maddelerin fiziksel veya kimyasal ayrımı için kullanılan ekipmanlar
EQ14	Enerji üretimi ve tamini için tasarlnmış ekipmanlar
EQ15	Paketleme ekipmanları
EQ16	Diğer ekipmanlar

Bu adımın sonunda, aşağıdaki sütunları içeren bir tablo elde edilmelidir:

* Maddenin ismi
* Maddenin tehlike özellikleri, risk ibareleri
* Maddenin içinde bulanabileceği ekipmanın ismi
* Alakalı ekipmanların tipi
* Alakalı ekipmanın içindeki maddenin fiziksel durumu

3.3.5. Basamak 3: Uygun tehlikeli ekipmanın seçilmesi

Tehlikeli madde içeren ekipmandaki madde miktarı eşik değerine eşit ya da daha yüksek ise ilgili ekipman tehlikeli olarak seçilir. Eşik değeri, muhtemel domino etkileri durumunda maddenin tehlikeli özelliklerine, fiziksel durumuna, buharlaşma ihtimaline ve başka bir tehlikeli ekipmana göre konumuna bağlıdır. Bu adım sonucunda, kütle eşik değerine ya da daha yüksek bir tehlikeli madde kütlesine sahip ilgili ekipman tehlikeli ekipman olarak seçilmiş olur. Kapasitesi kütle eşiğinden daha küçük olan ancak on dakikada eşik değerden daha yüksek ya da eşit bir kütle veya akış bırakabilen ekipmanlar da tehlikeli ekipman olarak seçilebilir. Ancak yöntem körü körüne uygulanmamalıdır. Bir ekipman tehlikeli bir maddenin varlığında ve ekipman içindeki çalışma koşulları nedeni ile tehlikeli olabilirse, ilgili ekipman tehlikeli ekipman olarak seçilebilir ve MIMAH metodolojisine göre çalışılabilir.

Tehlikeli ekipmanlar seçimi herhangi bir risk analizinde kritik bir adımdır. Eğer çok fazla ekipman seçilir ise analiz gereksiz yere zaman alıcı olacaktır. Aksine çok az ekipman seçilir ise de risk değerinin çok altında tahmin edilebilir.

Uygun tehlikeli ekipmanların seçilmesinde kullanılan metot, Belçika'da Walloon Bölgesinde kullanılan "VADE MECUM" metodolojine dayanmaktadır.

Tehlikeli ekipmanların seçimi için kütle eşiğinin hesaplanmasında aşağıdaki adımların takip edilmesi gerekir.

i. Maddenin özelliklerine göre bir referans kütle - Ma (kg) - tanımlama

Çizelge 3.3 Referans kütleler

	Referas Kütle Ma (kg)		
Maddenin özellikleri	**Katı**	**Sıvı**	**Gaz**
Çok toksik	10.000	1.000	100
Toksik	100.000	10.000	1.000
Oksitleyici	10.000	10.000	10.000
Patlayıcı (Seveso II Direktifi ek 1 tanım 2a)	10.000	10.000	---
Patlayıcı (Seveso II Direktifi ek 1 tanım 2b)	1.000	1.000	---
Alevlenebilir	---	10.000	---
Kolay alevlenebilir	---	10.000	---
Çok kolay alevlenebilir	---	10.000	1.000
Çevre için tehlikeli	100.000	10.000	1.000
R14, R14/15, R29 risk fazları birleşimlerinden yukarıda verilen özellikler tarafından kapsanmayan sınıflandırma	10.000	10.000	---

Çözelti içerisindeki sıvı durumunda dikkate alınması gereken toplam kütle değil tehlikeli olan maddenin kütlesidir.

ii. Buharlaşma olasılığına göre sıvı kütle referansını hesaplama

Sıvılar için, çizelge 3.3'de verilen referans kütlesi M_a değerlerinden uygun olanı seçilerek, bir S katsayısına bölünmelidir. Daha sonra yeni bir referans kütle M_b bulunmuş olur.

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

Eğer ekipmanın içerdiği kütle M, referans kütle M_b'den yüksek ise ekipman seçilecektir.

S, S_1 katsayısı ve S_2 katsayısının toplamıdır.

S değeri 0,1 – 10 aralığında olmalıdır.

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

Eğer $S < 0{,}1$ ise S = 0,1 alınmalıdır.

Eğer $S > 10$ ise S = 10 alınmalıdır.

S_1 katsayısı çalışma sıcaklığı T_p (^oC) ve atmosferik basınçta ki kaynama sıcaklığı T_{eb} (^oC) arasında ki farkı dikkate alınır ve şu eşitlik ile hesaplanır:

$$S_1 = 10^{(T_p - T_{eb})/100} \quad (3.2)$$

S_2 katsayısı yalnızca çalışma sıcaklığı 0 ^oC altında olduğunda uygulanır ve şu eşitlik ile hesaplanır:

$$S_2 = \frac{T_{eb}}{(-50)} \quad (3.3)$$

Diğer durumlarda yani pozitif çalışma sıcaklıklarından S_2 değeri 0(sıfır) olarak alınır.

Sıvı olmayan maddeler için S katsayısı 1(bir)'e eşittir ve M_a=M_b.

Karışımlarda kaynamanın başladığı ilk sıcaklık kaynama sıcaklığı olarak alınmalıdır.

Kaynama sıcaklığına ulaşmadan ayrışan dengesiz bir maddenin olduğu karışımlarda ise ayrışma sıcaklığı kaynama sıcaklığı olarak dikkate alınmalıdır.

Patlayıcı olan maddeler için ise M_a ayarlanması uygulanmaz.

iii. Domino etkisi tehlikesi durumunda referans kütlesinin ayarlanması

Bir önceki adımda tehlikeli ekipman olarak seçilememiş ekipman içi ($M<M_b$) aşağıda ki yöntem uygulanabilir:

Eğer tehlikeli ekipman olarak seçilmiş olan bir ekipmandan 50 m ya da daha yakın bir konuma yerleştirildi ise,

Ve eğer referans M_c kütlesinden daha yüksek bir kütlede tehlikeli madde var ise;

M_c şöyle hesaplanır:

$$M_c = S_3 \times M_b \quad (3.4)$$

$0.1 \leq S_3 \leq 1$

$$S_3 = (0{,}02 \times D)^3 \quad (3.5)$$

D ile ifade edilen değer iki ekipman arasındaki uzaklığın metre cinsinden karşılığıdır.
S_3 değeri 0,1 – 1 aralığında olmalıdır.

$0{,}1 \leq S_3 \leq 1$

Eğer $S_3 < 0{,}1$ ise $S_3 = 0{,}1$ alınmalıdır.

Eğer $S_3 > 1$ ise $S_3 = 1$ alınmalıdır.

3.3.6. Basamak 4: Seçilen her tehlikeli ekipman için kritik olayların belirlenmesi

Kritik olay genellikle Sınırlama Kaybı (LOC) olarak tanımlanır. Bu tanım genellikle salındığında tehlikeli davranış gösterdikleri için akışkanlar için oldukça doğru bir tanımdır. Katı maddeler ve özellikle yığın depolama için kimyasal ve/veya fiziksel durumun değişmesi olarak kabul edilen Fiziksel Bütünlük Kaybı (LPI) kullanılır.

MIMAH yöntemi çizelge 3.4'de verilen 12 farklı kritik olayı dikkate alır.

Çizelge 3.4 Kritik olaylar listesi

N^r CE	Kritik olaylar
CE1	Bozunma
CE2	Patlama
CE3	Materyallerin yer değiştirmesi (hava hareketi ile)
CE4	Materyallerin yer değiştirmesi (sıvı hareketi ile)
CE5	Yangın başlangıcı
CE6	Ekipman cidarında buhar fazında yırtılma
CE7	Ekipman cidarında sıvı fazında yırtılma
CE8	Sıvı faz borusundan sızıntı
CE9	Gaz faz borusundan sızıntı
CE10	Felakete neden olacak ani yırtılma
CE11	Ekipmanın parçalanması
CE12	Prosesin bir bölümünün veya çatının çökmesi

Kritik olaylar ve ilgili tehlikeli ekipmanları ilişkilendirmek için 2 matris kullanılır.

İlk adım olarak ekipman tipi ve maddenin durumunun uyumlu olup olmadığı kontrol edilmelidir. Bunun için maddenin durumu (STAT) ve kritik olay (CE) çapraz matrisi (Çizelge 3.5) kurulur.

Çizelge 3.5 Maddenin durumu (STAT) ve kritik olay (CE) matrisi

		CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	CE6	CE7	CE8	CE9	CE10	CE11	CE12
Katı	STAT1	√	√	√	√	√	√			√	√		
Sıvı	STAT2					√		√	√		√	√	√
İkili faz	STAT3					√	√	√	√	√	√		
Gaz/Buhar	STAT4					√	√			√	√		

İkinci olarak verilen bir ekipman tipi (EQ) ile ilişkili kritik olayın (CE) belirlendiği matris (Çizelge 3.6) belirlenir.

Çizelge 3.6 Ekipman tipi (EQ) ve kritik olay (CE) matrisi

	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	CE6	CE7	CE8	CE9	CE10	CE11	CE12
EQ1	√	√	√	√	√							
EQ2					√					√		
EQ3					√	√	√			√		
EQ4					√	√	√	√	√	√		
EQ5					√		√	√		√	√	
EQ6					√		√	√		√	√	√
EQ7					√	√	√	√	√	√	√	
EQ8					√	√	√	√	√	√		
EQ9					√		√	√		√	√	
EQ10					√			√	√			
EQ11	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
EQ12					√	√	√	√	√	√		
EQ13					√	√	√	√	√	√		
EQ14					√	√	√	√	√	√		
EQ15			√	√	√			√	√			
EQ16					√	√	√	√	√	√		

Çizelge 3.5 ve çizelge 3.6'da verilen matrislerin birlikte kullanılması ile, her bir tehlikeli ekipman için ihtiva ettiği tehlikeli maddenin fiziksel durumuna bağlı olarak oluşabilecek kritik olayların bir listesi oluşturulmuş olur.

3.3.7. Basamak 5: Her bir kritik olay için hata ağacı oluşturulması

MIMAH 12 genel hata ağacı önermektedir. Çizelge 3.7'de her bir kritik olayın ayrıntısı verilmiştir.

Her bir kritik olay için tanımlanan genel hata ağaçları, gerçekleşmesi muhtemel nedenlerin bir kontrol listesi olarak düşünülmesi gerekir. Ekipmanın gerçek

özelliklerine uyarlanmak için olası başka sebepler ekleyerek ya da çıkararak değiştirilebilmelidir.

Çizelge 3.7 Her bir kritik olay için genel hata ağacı listesi

N^r CE	**Kritik olaylar**	**Genel hata ağacı**
CE1	Bozunma	Kimyasal bozunma
		Anlık tutuşma kaynağına bağlı bozunma
		Termal bozunma
CE2	Patlama	Patlayıcı bir maddenin patlaması
		Patlama (ani reaksiyon)
CE3	Materyallerin yer değiştirmesi (hava hareketi ile)	Materyallerin yer değiştirmesi (hava hareketi ile)
CE4	Materyallerin yer değiştirmesi (sıvı hareketi ile)	Materyallerin yer değiştirmesi (sıvı hareketi ile)
CE5	Yangın başlangıcı (LPI)	Yangın başlangıcı (Fiziksel bütünlük kaybı)
CE6	Ekipman cidarında buhar fazında yırtılma	Küçük boyutta ekipman cidarında yırtılma veya borudan sızıntı
		Orta boyutta ekipman cidarında yırtılma veya borudan sızıntı
		Büyük boyutta ekipman cidarında yırtılma veya borudan sızıntı
CE7	Ekipman cidarında sıvı fazında yırtılma	Küçük boyutta ekipman cidarında yırtılma veya borudan sızıntı
		Orta boyutta ekipman cidarında yırtılma veya borudan sızıntı
		Büyük boyutta ekipman cidarında yırtılma veya borudan sızıntı
CE8	Sıvı faz borusundan sızıntı	Küçük boyutta ekipman cidarında yırtılma veya borudan sızıntı
		Orta boyutta ekipman cidarında yırtılma veya borudan sızıntı
		Büyük boyutta ekipman cidarında yırtılma veya borudan sızıntı
CE9	Gaz faz borusundan sızıntı	Küçük boyutta ekipman cidarında yırtılma veya borudan sızıntı
		Orta boyutta ekipman cidarında yırtılma veya borudan sızıntı
		Büyük boyutta ekipman cidarında yırtılma veya borudan sızıntı
CE10	Felakete neden olacak ani yırtılma	Felakete neden olacak ani yırtılma
CE11	Ekipmanın parçalanması	Ekipmanın parçalanması
CE12	Prosesin bir bölümünün veya çatının çökmesi	Prosesin bir bölümünün veya çatının çökmesi

3.3.8. Basamak 6: Her bir kritik olay için olay ağacı oluşturulması

Papyon diyagramının sağ kısmı olay ağacı olarak adlandırılır ve kritik olayın muhtemel sonuçlarını tanımlar. Kritik olay (CE) ikincil kritik olaya (SCE), sonra tehlikeli olaya (DP) yol açan üçüncül kritik olaya yol açar.

Kritik olaylar için çeşitli hata ağaçları oluşturulurken, her bir kritik olay için sadece bir tane olay ağacı kurulur.

3.3.9. Basamak 7: Seçilen her ekipman için papyon diyagramlarının oluşturulması

MIMAH metodolojisi her seçilmiş ekipman için tam papyon diyagramlarının kurulması ille son bulur. Her bir papyon, kritik olayın soluna karşılık gelen hata ağacı ve sağına karşılık gelen olay ağacı birleştirilmesi ile oluşturulur.

Seçilmiş her ekipman için papyonların sayısı hata ağaçlarının sayısına eşittir. Ancak bu sayı kritik olay sayısından fazla olabilir çünkü bazı kritik olaylar için birden fazla hata ağacı kurulabilir.

Güvenlik sistemlerinin olmadığı ya da etkisiz olduğu varsayılan bütün MIMAH metodolojisinin sonu olan papyon diyagramları büyük kaza senaryolarıdır. Bunlar MIRAS metodolojisi uygulamasının temelidir.

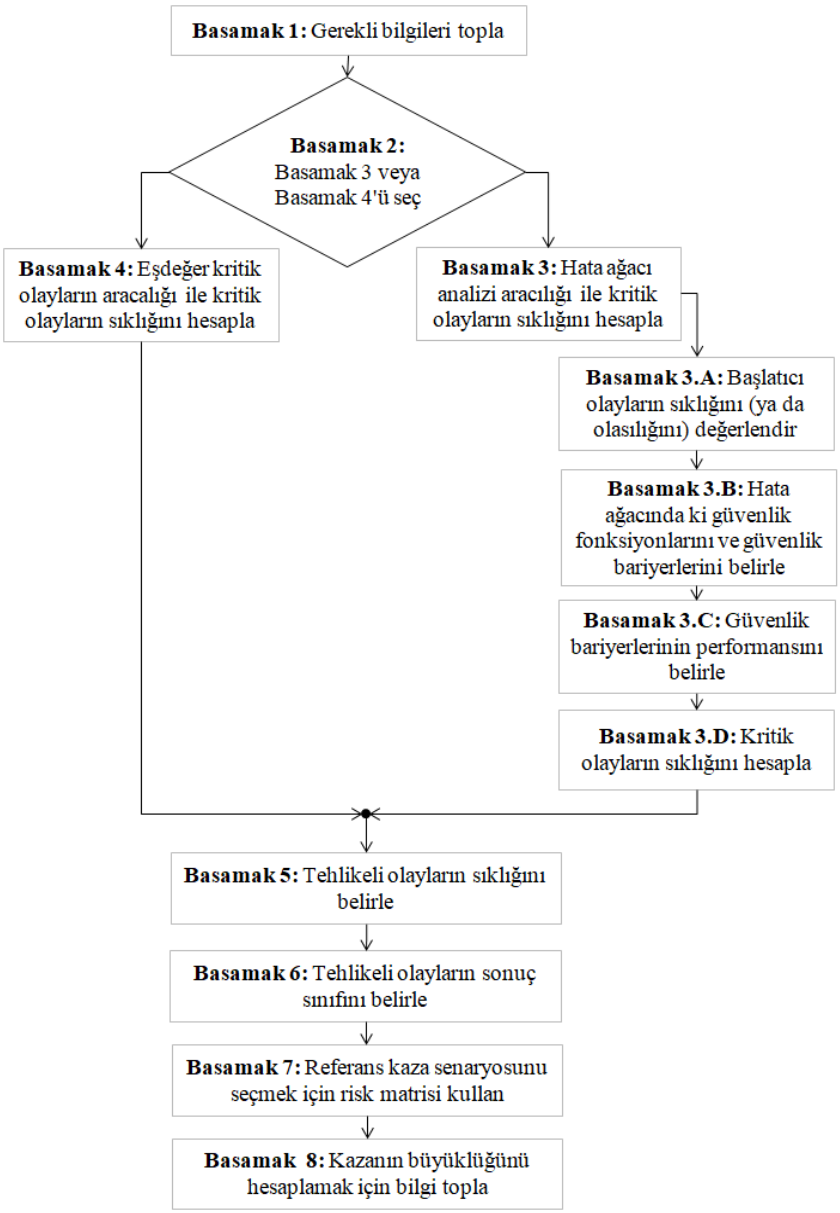
3.4. MIRAS - Referans Kaza Senaryolarının Belirlenmesi Metodolojisi

MIRAS'ın amacı MIMAH ile tanımlanan Büyük Kaza Tehlikeleri arasından Referans Kaza Senaryolarını seçmektir. Referans Kazalar Şiddetin hesaplanması için modellenerek kullanılacaktır.

MIRAS bunları dikkate alır;

- Ekipman çevresinde kurulu güvenlik sistemi
- Güvenlik yönetim sistemi
- Kazanın oluşma frekansı
- Kazanın muhtemel sonuçları

MIRAS, 8 basamak takip eder, bütün ilerleme MIMAH ile oluşturulan her bir papyon diyagramı için uygulanır. MIRAS basamaklarının genel akışı şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3 MIRAS basamaklarına genel bakış

Basamak 1: Gerekli olan verilerin toplanması

Basamak 2: Basamak 3 ve Basamak 4 arasında seçim yapılması

Basamak 3: Hata ağacı analizi sonuçları ile kritik olayın frekansının tahmin edilmesi

Basamak 3.A: Başlangıç olayının frekansının (olasılığının) belirlenmesi

Basamak 3.B: Hata ağacındaki güvenlik fonksiyonları ya da güvenlik bariyerlerinin belirlenmesi

Basamak 3.C: Güvenlik bariyerinin performansının değerlendirilmesi

Basamak 3.D: Kritik olayın frekansının hesaplanması

ya da Basamak 4: Genel kritik olayların frekansları aracılığıyla kritik olayın frekansının tahmin edilmesi

Basamak 5: Tehlikeli Olayların frekansının hesaplanması

Basamak 6: Tehlikeli Olayların sonuç sınıflarının tahmin edilmesi

Basamak 7: Referans Kaza Senaryolarını seçmek için risk matrisinin kullanılması

Basamak 8: Şiddetin hesaplanması için bilgi toplanması

3.4.1. Basamak 1: Gerekli olan verilerin toplanması

MIRAS basamakları boyunca ek veriler gerekli olacaktır. İhtiyaç olacak verilerin listesi çizelge 3.8'de verilmiştir. Veri toplanması aynı anda da yapılabilir veya ilerledikçe ihtiyaç olan veriler toplanabilir.

Çizelge 3.8 MIRAS için gerekli bilgiler

Basamak	İhtiyaç olan bilgi tanımı
Basamak 1: Gerekli olan verilerin toplanması	Bu çizelgede ki bilgiler tamamı
Basamak 2: Basamak 3 ve Basamak 4 arasında seçim yapılması	Ek bilgi gerekmemektedir
Basamak 3: Hata ağacı analizi sonuçları ile kritik olayın frekansının tahmin edilmesi	Bu adımın gerçekletirilebilmesi için işletme yetkilileri ile görüşmek faydalı olur.
	MIMAH bölümü sırasında oluşturulan hata ağaçları
	Başlatıcı olayların frekansları/olasılıkları
	Hata ağacı tarafındaki güvenlik bariyerleri
	Güvenlik bariyerlerinin performasının değerlendirilmesi için bilgiler
Basamak 4: Genel kritik olayların frekansları aracılığıyla kritik olayın frekansının tahmin edilmesi	Ek bilgi gerekmemektedir
Basamak 5: Tehlikeli Olayların frekansının hesaplanması	Bu adımın gerçekletirilebilmesi için işletme yetkilileri ile görüşmek faydalı olur.
	MIMAH bölümü sırasında oluşturulan olay ağaçları
	Tutuşma olasılıkları
	Olay ağacı tarafındaki güvenlik bariyerleri
	Güvenlik bariyerlerinin performasının değerlendirilmesi için bilgiler

Çizelge 3.8 MIRAS için gerekli bilgiler (devam)

Basamak	İhtiyaç olan bilgi tanımı
Basamak 6: Tehlikeli Olayların sonuç sınıflarının tahmin edilmesi	Ek bilgi gerekmemektedir
Basamak 7: Referans Kaza Senaryolarını seçmek için risk matrisinin kullanılması	Ek bilgi gerekmemektedir
Basamak 8: Şiddetin hesaplanması için bilgi toplanması	Bir veya birkaç tane referans kaza senaryosunun gerçekleştiği ekipmanın karakteristiği
	Meteorolojik koşullar
	İşletme çevresinde ki yapılar

3.4.2. Basamak 2: Basamak 3 ve Basamak 4 arasında seçim yapılması

Basamak 3 ve basamak 4 aynı amaca sahiptir: Dikkate alınan papyon diyagramı için kritik olayın yıl başına frekansının tahmin edilmesidir.

Kritik olayın frekansı iki yol ile belirlenebilir:

1. İlk seçenek, başlangıç olaylarının frekanslarından (veya olasılıklarından) başlayarak ve kritik olayın frekansını hesaplamak için güvenlik bariyerlerinin etkisini hesaba katarak hata ağacının eksiksiz bir analizini yapmaktır. Bu yol 3. basamakta uygulanır.

2. alternatif yol, veri bankalarından toplanan veriler yardımı ile kritik olayın frekansının doğrudan tahmin etmektir. Bu yol 4. basamakta uygulanır.

Eğer veriler mevcutsa ilk yol seçilmelidir. Bu yöntem daha fazla zaman alıcı olsa bile, kritik olayların önlenmesiyle ilgili güvenlik sistemlerini (papyonun sol tarafındaki kısımda olanlar) dikkate almayı sağlar. İkinci yol ile önleme kalitesi dikkate alınmaz, ancak analiz için gereken süre daha kısadır.

3.4.3. Basamak 3: Hata ağacı analizi sonuçları ile kritik olayın frekansının tahmin edilmesi

Eğer bu yol seçilirse 4 basamak izlenmelidir. İlk olarak başlangıç olaylarının (hata ağacının sol ucu) frekansları (ya da olasılıkları) değerlendirilmelidir. İkinci olarak, hata ağacındaki olayları etkileyen güvenlik bariyerleri tanımlanır. Üçüncü olarak bu güvenlik bariyerlerinin performansı değerlendirilecektir. Ve son olarak, tüm bu değişkenler kritik olayın frekansının hesaplanması için dikkate alınacaktır.

3.4.3.1. Basamak 3.A: Başlangıç olayının frekansının (olasılığının) belirlenmesi

Bu adımın amacı, hata ağacındaki kritik olaylara yol açan başlangıç olayları için frekans (olasılık) değerini sağlamaktır. Bu değerler eğer tesiste mevcut ise çizelge 3.9'da verilen niteliksel frekanslar yardımı ve tesis personeli ile başlatıcı olayların frekansını tahmin etmeye çalışılmalıdır. Eğer tesisin kendi veri tabanı yok ise mevcutta hazırlanmış veri tabanlarından yararlanılabilir. ARAMIS, başlangıç olaylarının frekansları (veya olasılıkları) için mevcut verilere genel bir bakış ve yayınlanmış verilerin sentezini sunmaktadır.

Çizelge 3.9 Başlatıcı olayların nitel tanımları

Yıl başına oluşma frekansı		**Sınıf**
Nitel Tanım	**Nicel tanım**	**Sıralaması**
Çok düşük frekans Oluşması mümkün olmayan	$F \leq 10^{-4}$ /yıl	F_4
Düşük frekans Verilen sebep için kritik olay olabilir. Benzer tesislerde çoktan yaşanmış. (1000 yılda bir kez)	10^{-4} /yıl < F ≤ 10^{-3} /yıl	F_3
Düşük frekans Verilen sebep için kritik olay olabilir. Benzer tesislerde ya da bölgede çoktan yaşanmış. (100 yılda bir kez)	10^{-3} /yıl < F ≤ 10^{-2} /yıl	F_2
Muhtemel - Yüksek frekans Oluşabilir. Bölgede zaten yaşanmış (10 yılda bir kez)	10^{-2} /yıl < F ≤ 10^{-1} /yıl	F_1
Büyük ihtimalle - Çok yüksek frekans Bölgede çoktan birkaç kez yaşanmış.	$F \geq 10^{-1}$ /yıl	F_0

3.4.3.2. Basamak 3.B: Hata ağacındaki güvenlik fonksiyonları ya da güvenlik bariyerlerinin belirlenmesi

Bu adımın amacı, kritik olayların oluşma ihtimalini etkileyen güvelik sistemlerinin belirlenmesidir. MIMAH ile oluşturulan hata ağacından başlayarak, güvenlik bariyerlerinin doğru yere yerleştirildiği bir hata ağacı elde etmek amaçlanır. Bu amaca ulaşmak için sistematik olarak hata ağacının gözden geçirilmesi gerekir.

Bir ağacın her olayı, dal dal incelenmeli ve şu sorular sorulmalıdır: "bu olayı önleyen, engelleyen ya da kontrol eden bir güvenlik engeli var mı?". Yanıt evet ise bu güvenlik bariyeri dalın üzerine yerleştirilmelidir. Bu bariyer bu olayı önler veya engeller ise

olayın yukarı akışına yerleştirilmelidir. Eğer bu olayı kontrol ediyorsa, aşağı akışa yerleştirilmelidir.

3.4.3.3. Basamak 3.C: Güvenlik bariyerinin performansının değerlendirilmesi

Güvenlik bariyerleri bir kere belirlenip hata ağacında yerleştirildiği zaman, kritik olayın frekansı üzerinde bu bariyerlerin etkisinin değerlendirilmesi önemli hale gelir.

Güvenlik bariyerinin performansı üç parametreye göre tanımlanır:

* Talepte başarısızlık olasılığı (PFD) ile bağlantılı güven seviyesi (LC);

* Gerekli eylemi (özgül boyut veya hacim, fiziksel dayanım vb) almak için uygun kapasite ya da verimlilik (E);

* Tepki süresi (RT).

İlk adımda güven seviyesinin değerlendirilmesi, güven 'tasarım' seviyesidir. Bu bariyerin ilk kurulduğu zamanki kadar verimli olması, aynı tepki süresine ve aynı güven düzeyine sahip olması gerektiği anlamına gelir. Ancak güvenlik bariyerinin performansı, tesisat ömrü boyunca azalabilir. Bu durum, kötü denetim programı, operatörlerin bilgi eksikliği veya bazı cihazlarda tıkanıklık oluşması gibi nedenlerle ortaya çıkabilir.

İkinci adımda, güvenlik yönetim sisteminin ve güvenlik bariyerlerinin performansları üzerindeki etkisini değerlendirmek gerekmektedir. Denetimin amaçlarında biri, güvenlik bariyerinin yeterince denetleyip denetlenmediğini doğrulamaktır. Aksi halde, denetim sonuçlarına göre güvenlik bariyerlerinin güven seviyesi azalacaktır. Buda güvenlik bariyerinin 'işlevsel' güven seviyesinin verecektir.

3.4.3.4. Basamak 3.D: Kritik olayın frekansının hesaplanması

Başlangıç olaylarının özelliklerinin değerlendirilmesi, güvenlik bariyerlerinin tanımlanması ve performanslarının değerlendirilmesinden sonra, bu aşamada ilgili kritik olayın frekansını hesaplamak için hata ağacını analiz etmek mümkündür. Analiz kapıdan kapıya yöntemi ile yapılır. Bu yöntem, hata ağacının başlatıcı olayları ile başlar

ve hata ağacı üzerindeki güvenlik bariyerlerini dikkate alarak kritik olaya doğru ilerleyerek kritik olayın frekansının hesaplanmasını sağlar.

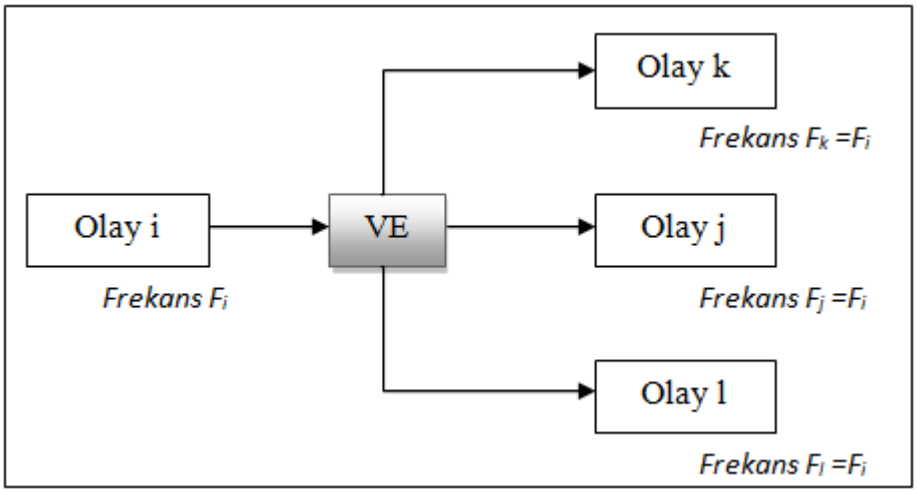
3.4.4. Basamak 4: Genel kritik olayların frekansları aracılığıyla kritik olayın frekansının tahmin edilmesi

Eğer kritik olayın frekansı hata ağacının analizi ile hesaplanamazsa (3. basamak), olasılık, genel kritik olay frekansları aracılığıyla hesaplanır. Ekipmanın türüne bağlı olarak farklı kritik olayların frekans değerlerinin sunulduğu genel veri tabanlarından faydalanılarak bir kritik olay frekansı kullanılır

3.4.5. Basamak 5: Tehlikeli Olayların frekansının hesaplanması

Bu aşamadaki amaç, olay ağacında, her bir tehlikeli olayın frekansını çıktı olarak belirlemek için adım adım ilerlemektir.

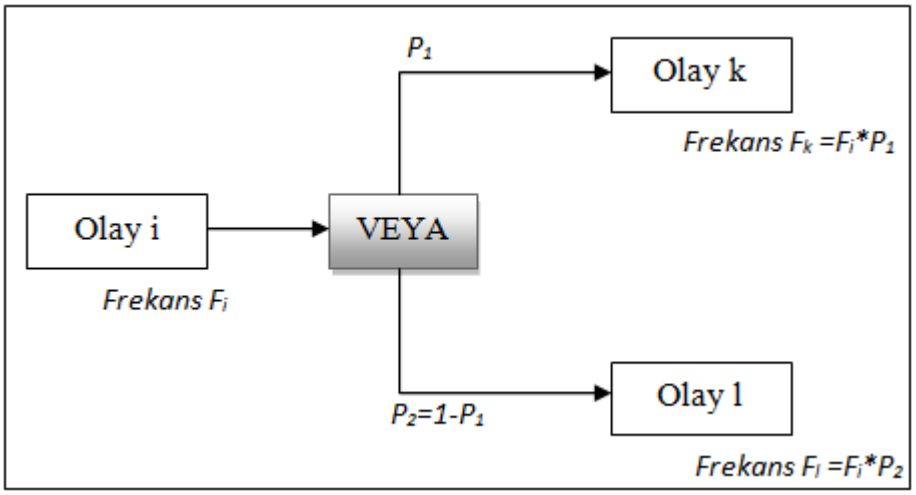
MIMAH metodolojisi ile oluşturulan genel olay ağaçlarında, açıkça çizilen "VE / VEYA" geçitleri yoktur. Aslında, bu geçitler olay ağaçlarına örtülü olarak dahil edilmiştir. "VE" geçitleri bir olay ile bunun eşzamanlı sonuçları arasında yer almaktadır. Eğer olaylar şekil 3.4'de gösterildiği gibi "VE" geçidi ile bağlı ise "VE" geçidinin üst akımındaki frekans alt akımdaki bütün dallara aktarılır.



Şekil 3.4 "VE" geçidi

"VEYA" geçitleri, olayın sonuçlarından biri gerçekleşirken diğeri gerçekleşmiyorsa alt akımda yer alır. Bir "VEYA" geçidi ile bağlı olaylar aynı türden değildir.

Bir “VEYA” geçidinin alt akımındaki her bir olayın frekansı, üst akım olayının frekansı, sona götüren yol boyunca "iletim" (koşullu) olasılığı ile çarpılarak belirlenebilir. Her bir dal ile ilişkili olasılıklar toplamı 1'e karşılık gelmelidir. Örneğin, sadece iki alt akım olayı varsa, bir dalın iletim olasılığı P_1 olabilir ve diğer dalın P_2 iletim olasılığı 1-P_1'ye eşittir. Şekil 3.5' de örnek "VEYA" geçidi verilmiştir.



Şekil 3.5 "VEYA" geçidi

3.4.6. Basamak 6: Tehlikeli Olayların sonuç sınıflarının tahmin edilmesi

Referans Kaza Senaryolarının seçimi, Tehlikeli Olayların frekansının ve bu olayların potansiyel sonuçlarının birlikte değerlendirilmesine dayanmaktadır. Bu aşamada, her bir Tehlikeli Olayın sonuçlarını kabaca değerlendirmek gereklidir.

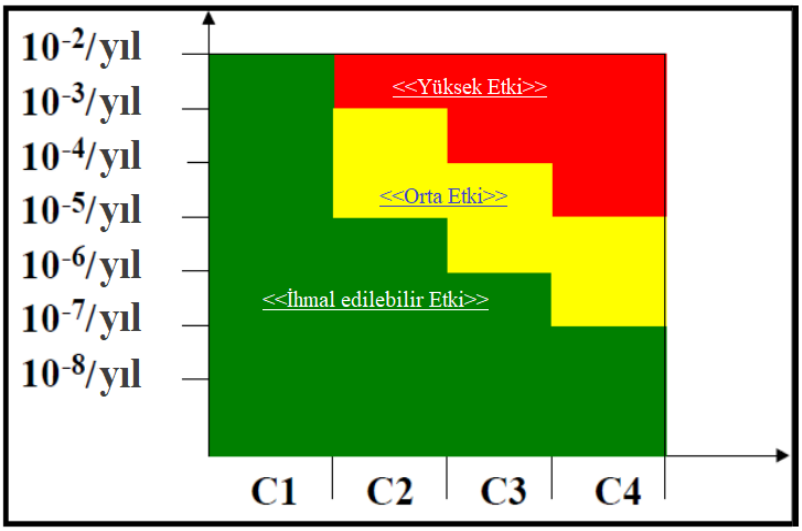
Çizelge 3.10 Sonuç sınıfları

Sonuçlar			**Sınıf Sıralaması**
Domino etkisi	**İnsanlara etkisi**	**Çevreye etkisi**	
Domino etkilerini hesaba katmak için, incelenen tehlikeli olaya verilen sonuç sınıfı, domino etkileri ile ilk ortaya çıkabilecek ikincil tehlikeli olayın sınıfına yükseltilir.	İşe ara vermeksizin yaralanma veya hafif	Hehangi bir eyleme gerek yok	C_1
	24 saaten fazla hastanede kalmayı gerektirecek	Yerel müdahale gerektiren çevre üzerinde ciddi	C_2
	Tesis içinde telafisi olmayan yaralanma veya ölüm, tesis dışında telafisi olan yaralanma	Ulusal müdahale gerektiren, tesis dışında çevre üzerinde etkiler	C_3
	Tesis dışında telafisi olmayan yaralanma veya ölüm	Ulusal müdahale gerektiren, tesis dışında çevre üzerinde telafisi olmayan etkiler	C_4

Potansiyel sonuçların değerlendirilmesi sadece nitelikseldir. Tehlikeli olayların sonuçlarının nitel değerlendirmesi çizelge 3.10'da tanımlanan dört sonuç kategorisine dayanmaktadır. Bu sınıflar domino etkileri, insan hedefleri üzerindeki etkileri ve çevre üzerindeki etkileri açısından tanımlanmaktadır.

3.4.7. Basamak 7: Referans Kaza Senaryolarını seçmek için risk matrisinin kullanılması

Bu adımın amacı, şiddetin hesaplanmasında modellenecek olan referans kaza senaryolarını seçmektir. Burada şekil 3.6'da gösterilen bir risk matrisi kullanılır. X ekseni dört sonuç sınıfına ve Y ekseni tehlikeli olayların frekansına karşılık gelir. Bu matriste üç bölge tanımlanmıştır.



Şekil 3.6 Risk matrisi

* Alt yeşil bölge ("İhmal edilebilir etki" bölgesi) yeterince düşük seviyede frekanslı ve / veya büyük olasılıkla şiddet üzerinde gerçek etkilere sahip olmayacak sonuçları olan tehlikeli olaylara karşılık gelir.

* Ara sarı bölge (“Orta etki” bölgesi), muhtemelen şiddet üzerinde gerçek etkileri olacak ve daha sonra şiddet hesaplamaları için modellenecek şekilde seçilecek olan tehlikeli olaylara karşılık gelir. Bu tehlikeli olaylar Referans Kaza Senaryolarıdır.

* Üst kırmızı bölge (“Yüksek etki” bölgesi), kesinlikle şiddet üzerinde gerçek etkileri olan çok tehlikeli olaylara karşılık gelir. İlgili kaza senaryoları ek güvenlik sistemlerinin devreye sokulması için yeniden gözden geçirilmesi gerekir. Ancak, hiçbir şey

değişmezse, bu tehlikeli olaylar, mevcut durumlarında, şiddet hesaplamaları için modellenecek şekilde seçilmelidir. Kuşkusuz ki, bu tehlikeli olaylar Referans Kaza Senaryolarıdır.

Sarı ve kırmız bölge de olan Tehlikeli Olaylar şiddet hesaplamaları için modellenecektir.

3.4.8. Basamak 8: Şiddetin hesaplanması için bilgi toplanması

MIRAS metodolojisiyle elde edilen son papyon diyagramlar (güvenlik sistemlerinin etkisi de dahil olmak üzere), tüm tehlikeli olaylar ile risk matrisi ve referans kaza senaryoları, şiddet indeksi S'nin hesaplanmasında kullanılacaktır. Her bir referans kaza senaryosu için (risk matrisinin sarı veya kırmızı bölgesinde yer alan tehlikeli olay), şiddet hesaplamaları için gerekli olan bilgiler şöyledir:

* Ekipman tipi

* Ekipmanın tasarım/yırtılma basıncı ve tasarım/yırtılma sıcaklığı

* Tehlikeli maddenin özellikleri (maddenin hali, fiziksel ve kimyasal özellikleri, tehlikeli özellikleri, risk fazlar)

* Kullanılan maddenin miktarı

    * Ekipman içerisinde bulunan kütlesi

    * Ekipman içerisine giriş akışı

* Kritik olay

    * Yırtılma için: lokasyon, çap, delik üzerinde kalan sıvı yüksekliği ve salma süresi

    * Boruda sızıntı için: lokasyon ve sızıntının çapı, borunun boyutları (uzunluk, çap); salma süresi

* Frekansları ile birlikte tehlikeli olaylar (yıllık frekans)

* Tesiste bulunan ateşleme kaynakları, bulutun alevlenebilir bölgesinde ateşleme kaynaklarının varlığı

* Rüzgar gülü

* Tesisin bulunduğu yerdeki ortalama meteorolojik koşullar (denge sınıfı, rüzgar hızı, sıcaklık, basınç, nem, bulut menzili,...)

* Şiddet modellemesini etkileyen güvenlik bariyerlerinin varlığı

* Güvenlik bariyerlerinin özellikleri

* Tesisi etrafının tanımı, okullar, hastaneler de dahil olmak üzere

Şiddetin haritalandırılması için çeşitli yazılım kullanılabilmektedir. Bu yazılımlardan bazıları ile yapılan çalışmalar şöyledir:

ALOHA (Tehlikeli Atmosferlerin Bölgesel Konumları), EPA (Çevre Koruma Ajansı) Kimyasal Acil Durum Hazırlık ve Önleme Ofisi (CEPPO) ve Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA) Müdahale ve Restorasyon Ofisi tarafından geliştirilen atmosferik dağılım modelidir. ALOHA yaklaşık 1000 kadar kimyasal veri tabanına sahiptir. Kimyasal türü, kaza yeri ve hava koşulları (sıcaklık, rüzgar hızı ve yönü) dahil olmak üzere bu veri tabanında ki bilgileri kullanan ALOHA, atmosferik dağılma hızını ve buharın kırık bir borudan, tanktan veya herhangi başka bir kaynaktan gelen yönünü tahmin edebilir. Ayrıca kimyasal salınım ile oluşan bulutun görsel bir gösterimini de üretebilir (Cherradi vd. 2018).

PHAST (Proses Tehlike Analizi Yazılım Aracı), DNV Technica tarafından geliştirilen ticari tabanlı bir yazılım paketidir. Sağlık ve Güvenlik Yöneticisi (HSE), İngiltere ve TNO tarafından geliştirilen korelasyonlara ve metodolojiye dayanmaktadır. Yanlışlıkla kimyasal salınımların atmosfere dağılımını çözer (Bariha vd. 2016).

MODFLOW Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırmaları (USGS) tarafından yazılmış yeraltı suyu akışı modelleme programıdır. Bu program hidrojeolojik özelliklerin ve hidrolojik sınırların model alanı içindeki dağılımını temsil eden satır, sütun ve katmanları sınıflandırmak için sonlu fark yöntemini kullanır. Ayrıca programa atık taşınım girdileri tanımlanarak konsantrasyon eğrileri ve haritası çıkarılabilir (Anonymous 2012a).

Margai (2001), New York eyaletinde gerçekleşen klor kazaları etrafındaki tehlike bölgesini belirlemek için ALOHA yazılımını kullanmıştır. Chitumalla vd. (2008) Teksas da klor taşıyan bir trenin raydan çıkması sonucu oluşan gaz sızıntısını rüzgarın dinamik yönleri ile modellemek ve gerçek zamanlı bir bulut oluşturmak için ALOHA yazılımını kullanmışlardır. Tseng vd. (2012), klor, epiklorhidrin ve fosjen gazlarının bulunduğu üç farklı tesiste rüzgar hızı, atmosferik denge sevileri ve toplam salınma zamanı farklı olan iki farklı senaryoyu ALOHA kullanarak karşılaştırmışlardır. Bernatik vd. (2008), susuz amonyak (havadan daha hafif zehirli gaz), klor (havadan daha ağır zehirli gaz), LPG (alevlenebilir gaz) ve benzin (alevlenebilir sıvı) maddelerinin hem karayolu kargo tankerleri hem de demiryolu tankerleri ile taşınması sırasında gerçekleşebilecek ulaştırma kazaları üzerine bazı senaryolar oluşturarak madde salınımlarını ALOHA ve EFFECTS gibi yazılımlar kullanarak modellemişlerdir. Bariha vd. (2016), LPG taşıyan bir kamyon tankerinin kazasıyla LPG'nın salınımını ALOHA ve PHAST yazılımları ile simüle etmişlerdir. Shi vd. (2010), bir arıtma tesisi havuzunun yeraltı sularına sızıntısının etkisini değerlendirerek, çalışma alanı içindeki yeraltı suyu akışını ve taşınmasını simüle etmek için MODFLOW kullanmışlardır. Fenske vd. (1996), rezervuarların büzülmesi ve genişlemesinden kaynaklanan yeraltı suyu sistemine sızıntısını simüle etmek için MODFLOW kullanımına dair bir rapor sunmuşlardır. Sathe ve Mahanta (2019), arsenik ile kontamine olmuş iki bölge için yeraltı suyu akışı ve kirletici taşınımı modelinin geliştirilmesi için GMS 10.2 ve MODFLOW yazılımlarını kullanmışlardır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

ARAMIS yöntemi ve bu yöntem ile verilen MIMAH ve MIRAS metodolojileri kullanılarak Kırşehir ilinde kurulu, madeni yağ üretimi yapan SFS Petrokimya Ürünleri San. ve Tic. Ltd. Şti. firmasında risk değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir.

4.1. MIMAH - Büyük Kaza Tehlikesinin Belirlenmesi Metodolojisi İle Yapılan Çalışmalar

Tesiste özel bir uygulama alanı seçilmemiş olup, yöntem tesiste bulunan tüm ekipmanlara uygulanmıştır.

4.1.1. Basamak 1: Gerekli olan bilgilerin toplanması

Tesis ve prosese genel bir bakış kazanmak için tesiste bulunan bütün ekipmanlar ile bu ekipmanların içerdiği maddelerin özellikleri, tesis düzeni ve prosesin kısaca tanımı hakkında bilgiler toparlanmıştır. Tesis yerleşimi EK 2'de ve tesiste bulunan ekipmanlar ve içerdikleri madde hakkında bilgiler çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Tesiste bulunan ekipmanlar ve içerdikleri maddeler

Sıra no	Ekipman	Açıklama	Madde	Maddenin fiziksel hali	Risk fazı
1	HAT 1, 2, 3, 4	Yağ dağıtım boru hattı	Baz yağ	Sıvı	R101, R44, R10, R105, R51
2	HAT 5	Yağ dağıtım boru hattı	Madeni yağ	Sıvı	R101, R44, R10, R105, R51
3	HAT 6	Hava dağıtım boru hattı	Hava	Gaz	
4	HT01; HT16	Harmanlama tankı	Madeni yağ	Sıvı	R101, R44, R10, R105, R51
5	ST01; ST09	Hammadde stok tankı	Baz yağ	Sıvı	R101, R44, R10, R105, R51
6	ST10; ST11	Ürün stok tankı	Madeni yağ	Sıvı	R101, R44, R10, R105, R51
7-1	DM01; DM04	Dolum makinası - Yağ dolum nozulu	Madeni yağ	Sıvı	R101, R44, R10, R105, R51
7-2	DM01; DM04	Dolum makinası - Hava nozulu	Hava	Gaz	
7-3	DM01; DM04	Dolum makinası - Yağ tankı	Madeni yağ	Sıvı	R101, R44, R10, R105, R51
8	PM01; PM02	Pompa	Baz/Madeni Yağ	Sıvı	R101, R44, R10, R105, R51

Çizelge 4.1 Tesiste bulunan ekipmanlar ve içerdikleri maddeler (devam)

Sıra no	Ekipman	Açıklama	Madde	Maddenin fiziksel hali	Risk fazı
9	KM01	Kompresör	Hava	Gaz	
10	PS01	Palet sarma makinesi	Madeni yağ	Sıvı	R101, R44, R10, R105, R51

4.1.2. Basamak 2: Tesisteki potansiyel olarak tehlikeli ekipmanların tanımlanması

Basamak 1'de toparlanan bilgilere dayanarak, tesisteki, tehlikeli maddeler tipolojisinde bahsedilen risk fazlarından bir ya da daha fazlasına sahip maddelerin listesi ve bu maddeleri içeren ekipmanların listesi yapıldı. Ayrıca ekipman tipolojisinde tanımlanan 16 tip ekipmana göre ekipmanların listesi belirlenerek çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Potansiyel tehlikeli ekipman listesi

Sıra no	Ekipman	Madde	Maddenin fiziksel hali	Ekipman tipi	Risk fazı
1	HAT 1, 2, 3, 4	Baz yağ	Sıvı	EQ10: Boru Hattı	R101, R44, R10, R105, R51
2	HAT 5	Madeni yağ	Sıvı	EQ10: Boru Hattı	R101, R44, R10, R105, R51
3	HAT 6	Hava	Gaz	EQ10: Boru Hattı	
4	HT01; HT16	Madeni yağ	Sıvı	EQ6:Atmosferik Basınçta Depolama	R101, R44, R10, R105, R51
5	ST01; ST09	Baz yağ	Sıvı	EQ6:Atmosferik Basınçta Depolama	R101, R44, R10, R105, R51
6	ST10; ST11	Madeni yağ	Sıvı	EQ6:Atmosferik Basınçta Depolama	R101, R44, R10, R105, R51
7-1	DM01; DM04	Madeni yağ	Sıvı	EQ10: Boru Hattı	R101, R44, R10, R105, R51
7-2	DM01; DM04	Hava	Gaz	EQ8:Başınçlı Taşıma Ekipmanı	
7-3	DM01; DM04	Madeni yağ	Sıvı	EQ6:Atmosferik Basınçta Depolama	R101, R44, R10, R105, R51
8	PM01; PM02	Baz/Madeni Yağ	Sıvı	EQ8:Başınçlı Taşıma Ekipmanı	R101, R44, R10, R105, R51
9	KM01	Hava	Gaz	EQ4:Basınçlı Depolama Ekipmanı	
10	PS01	Madeni yağ	Sıvı	EQ15:Paketleme Ekipmanları	R101, R44, R10, R105, R51

Sıra numarası 7-2 ve 9 olan ekipmanların risk ibareleri olmamasına rağmen basınç ile çalışan ekipmanlar oldukları için potansiyel tehlikeli ekipman olarak seçilmişlerdir.

4.1.3. Basamak 3: Uygun tehlikeli ekipmanın seçilmesi

Bu basamakta, 2. basamakta belirlenen potansiyel tehlikeli ekipmanlar arasından tehlikeli ekipman seçimi yapılır. Bu metodun sonucunda eşik kütle değerine eşit yada eşik değerinden fazla kütlede madde içeren ilgili tehlikeli ekipman seçilir. Eşik, maddenin tehlikeli özelliklerine, fiziksel durumuna göre tanımlanır ve maddenin buharlaşma olasılığı ile birlikte muhtemel domino etkileri durumunda başka bir tehlikeli ekipmana göre konumuna göre ayarlanabilir. Bu amaçla MIMAH metodolojisi basamak 3 bir korelasyon sunmaktadır. Bu korelasyon hesabından potansiyel tehlikeli ekipman içerisinde ki sıvının atmosferik basınçtaki sabit kaynama noktası kullanılır. Ancak, madeni yağlar, yüksek kaynama noktalı çeşitli bileşiklerin karışımlarıdır (Gong vd. 2007). Bu yüzden, yağ içeriğine göre değişen belli bir sıcaklık aralığında kaynar, dolayısıyla madeni yağın kaynama aralığı vardır. Madeni yağlarda güvenlik nedenlerinden dolayı parlama noktası belirlenmiştir. Parlama noktası, yağ üzerindeki gaz karışımını açık alev varlığında tutuşturacak kadar gazın salındığı sıcaklık değeridir ve yağın ne kadar uçucu olduğunun bir göstergesidir. Parlama noktası kaynama aralığının düşük sıcaklık bölgesinde tespit edilir (Anonymous, 2001). Bir maddenin kaynama noktası gibi, parlama noktası ortam basıncına göre değişim gösterir (Yordanov vd., 2010).

Bu sebeple korelasyonda kaynama noktası yerine yağın parlama noktası kullanılabileceği düşünülmüş ve uygulanmıştır.

Referans alınan kütle M_a: 10.000 kg (R10 risk fazına göre)

$$M_b = \frac{M_a}{S} \tag{4.1}$$

$$S = S_1 + S_2 \tag{4.2}$$

$$S_1 = 10^{(T_p - T_{eb})/100} \tag{4.3}$$

T_p: Çalışma sıcaklığı = 85 ^oC

T_{eb}: Atmosfer basıncı altındaki parlama noktası = 180 ^oC

* Tesiste kullanılan hammaddelerden en düşük parlama noktasına sahip Spindle Oil baz yağının değeri kullanılmıştır. Eşitlik 4.3'e göre,

$$S_1 = 10^{(85-180)/100}$$

$$S_1 = 0,11$$

Pozitif proses sıcaklıkları için S_2 =0 alınır. Eşitlik 4.2'ye göre,

$$S = S_1 + S_2 = 0,11 + 0 = 0,11$$

Eşitlik 4.1'e göre,

$$M_b = \frac{10000}{0,11}$$

$$M_b = 90.909 \text{ kg}$$

Tesisteki ekipmanların içerdiği sıvı kütlesi miktarı bulunan M_b değerinden fazla değildir. Bu sebeple potansiyel tehlikeli ekipmanların içinden tehlikeli ekipman seçimi yapılamamıştır.

Bu nedenle, sadece bu bilgiye bakarak potansiyel tehlikeli ekipmanın açık bir seçimi yapılamaz. Bu durumda, belirli bir tehlikeli ekipmanın seçimi için ARAMIS metodolojisinde verilen korelasyon kullanılamaz hale gelir. Bu sebeple de tesis için tehlikeli ekipman seçimi yapılamamıştır. Ancak tesiste çok fazla ekipman olmadığından dolayı da farklı bir tehlikeli ekipman seçimi yöntemi uygulanmamıştır. Tesiste bulunan potansiyel tehlikesi bulunan her ekipmana ARAMIS metodolojisi basamakları tek tek uygulanmıştır.

4.1.4. Basamak 4: Seçilen her tehlikeli ekipman için kritik olayların belirlenmesi

Bu basamağın uygulanmasında öncelikle seçilen her tehlikeli ekipman içerisindeki maddesinin fiziksel halinin belirlediği matris (Çizelge 4.3) oluşturuldu.

Çizelge 4.3 Her bir ekipmanın içerdiği maddenin fiziksel hali matrisi

Ekipman	Katı	Sıvı	İkili faz (Sıvı/Gaz)	Gaz
HAT 1, 2, 3, 4		√		
HAT 5		√		
HAT 6				√
HT01; HT16		√		
ST01; ST09		√		
ST10; ST11		√		
DM01; DM04 (Yağ dolum nozulu)		√		
DM01; DM04 (Hava nozulu)				√
DM01; DM04 (Yağ tankı)		√		
PM01; PM02		√		
KM01				√
PS01		√		

İkinci olarak, ekipman tipi x kritik olay matrisi (Çizelge 4.4) oluşturuldu.

Çizelge 4.4 Ekipman tipi x kritik olay matrisi

Ekipman	Ekipman çeşidi	CE1 Bozunma	CE2 Patlama	CE3 Materyallerin yer değiştirmesi (hava hareketi ile)	CE4 Materyallerin yer değiştirmesi (sıvı hareketi ile)	CE5 Yangın başlangıcı (LPI)	CE6 Ekipman cidarında buhar fazında yırtılma	CE7 Ekipman cidarında sıvı fazında yırtılma	CE8 Sıvı faz borusundan sızıntı	CE9 Gaz faz borusundan sızıntı	CE10 Felakete neden olacak ani yırtılma	CE11 Ekipmanın parçalanması	CE12 Prosesin bir bölümünün veya çatının çökmesi
HAT 1, 2, 3, 4	EQ10: Boru Hattı					√			√	√			
HAT 5	EQ10: Boru Hattı					√			√	√			
HAT 6	EQ10: Boru Hattı					√			√	√			
HT01; HT16	EQ11: Prosese Dahil Edilmiş Ara Depolama Ekipmanı	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
ST01; ST09	EQ6: Atmosferik Basınçta Depolama					√		√	√		√	√	√
ST10; ST11	EQ6: Atmosferik Basınçta Depolama					√		√	√		√	√	√
DM01; DM04 (Yağ dolum nozulu)	EQ10: Boru Hattı					√			√	√			
DM01; DM04 (Hava nozulu)	EQ8:Başınçlı Taşıma Ekipmanı					√	√	√	√	√	√		
DM01; DM04 (Yağ tankı)	EQ6: Atmosferik Basınçta Depolama					√		√	√		√	√	√
PM01; PM02	EQ8: Başınçlı Taşıma Ekipmanı					√	√	√	√	√	√		
KM01	EQ4: Basınçlı Depolama Ekipmanı					√	√	√	√	√	√		
PS01	EQ15: Paketleme Ekipmanları			√	√	√			√	√			

Üçüncü olarak, ekipman içinde bulunan maddenin fiziksel hali x kritik olay matrisi (Çizelge 4.5) oluşturuldu.

Çizelge 4.5 Maddenin fiziksel hali x kritik olay matrisi

Ekipman	Fiziksel hal	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	CE6	CE7	CE8	CE9	CE10	CE11	CE12
HAT 1, 2, 3, 4	Sıvı					√		√	√		√	√	√
HAT 5	Sıvı					√		√	√		√	√	√
HAT 6	Gaz					√	√			√	√		
HT01; HT16	Sıvı					√		√	√		√	√	√
ST01; ST09	Sıvı					√		√	√		√	√	√
ST10; ST11	Sıvı					√		√	√		√	√	√
DM01; DM04 (Yağ dolum nozulu)	Sıvı					√		√	√		√	√	√
DM01; DM04 (Hava nozulu)	Gaz					√	√			√	√		
DM01; DM04 (Yağ tankı)	Sıvı					√		√	√		√	√	√
PM01; PM02	Sıvı					√		√	√		√	√	√
KM01	Gaz					√	√			√	√		
PS01	Sıvı					√		√	√		√	√	√

Son olarak, ekipman tipi x maddenin fiziksel hali x kritik olay üçlü matrisi oluşturularak tüm kritik olaylar bulundu. Tesiste bulunan her ekipman için kritik olaylar çizelge 4.6'da verilmiştir.

Hat-6 Hava boru hattında CE5-Yangın başlangıcı ve CE9-Gaz faz borusunda sızıntı kritik olayları tespit edilmiştir. Bu kritik olaylar sonucunda oluşan tehlikeli olaylar boru hattının taşıdığı malzeme olan havanın sebep olabileceği tehlikeli olaylar olmadığından dolayı bu ekipman tehlikeli olarak seçilmemiştir.

KM01 ekipmanında CE5-Yangın başlangıcı, CE6-Ekipman cidarında buhar fazında yırtılma, CE9-Gaz faz borusunda sızıntı ve CE10-Felakete neden olabilecek ani yırtılma kritik olayları tespit edilmiştir. CE5-Yangın başlangıcı, CE6-Ekipman cidarında buhar fazında yırtılma ve CE9-Gaz faz borusunda sızıntı kritik olayları sonucunda oluşan tehlikeli olaylar kompresörün içerdiği malzeme olan havanın sebep olabileceği tehlikeli

olaylar olmadığından dolayı bu kritik olaylar dikkate alınmamıştır. KM01 ekipmanı için yalnızca CE10-Felakete neden olacak ani yırtılma kritik olayı incelenmiştir.

Çizelge 4.6 Tesisteki ekipmanların kritik olayları

Ekipman	Ekipman tipi	Fiziksel hal	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	CE6	CE7	CE8	CE9	CE10	CE11	CE12
HAT 1, 2, 3, 4	EQ10	Sıvı					√			√				
HAT 5	EQ10	Sıvı					√			√				
HAT 6	EQ10	Gaz					√				√			
HT01; HT16	EQ6	Sıvı					√		√	√		√	√	√
ST01; ST09	EQ6	Sıvı					√		√	√		√	√	√
ST10; ST11	EQ6	Sıvı					√		√	√		√	√	√
DM01; DM04 (Yağ dolum nozulu)	EQ10	Sıvı					√			√				
DM01; DM04 (Hava nozulu)	EQ8	Gaz					√	√			√	√		
DM01; DM04 (Yağ tankı)	EQ6	Sıvı					√		√	√		√	√	√
PM01; PM02	EQ8	Sıvı					√		√	√		√		
KM01	EQ4	Gaz					√	√			√	√		
PS01	EQ15	Sıvı					√			√				

EQ6-Atmosferik basınçta depolama ekipmanlarında sıvı fazda meydana gelebilecek CE11-Ekipmanın parçalanması ve CE12-Prosesin bir bölümünün veya çatının çökmesi kritik olayları eğer yağ hızla ekipman içerisinden boşalmasından kaynaklı ekipman içinde vakum etkisi yaratabileceği durumlarda gerçekleşebilecek kritik olaylardır. Bu durumun tesisteki bu tip ekipmanlarda gerçekleşme ihtimali söz konusu olmadığından dolayı CE11 ve CE12 kritik olayları dikkate alınmamıştır.

4.1.5. Basamak 5: Her bir kritik olay için hata ağacı oluşturulması

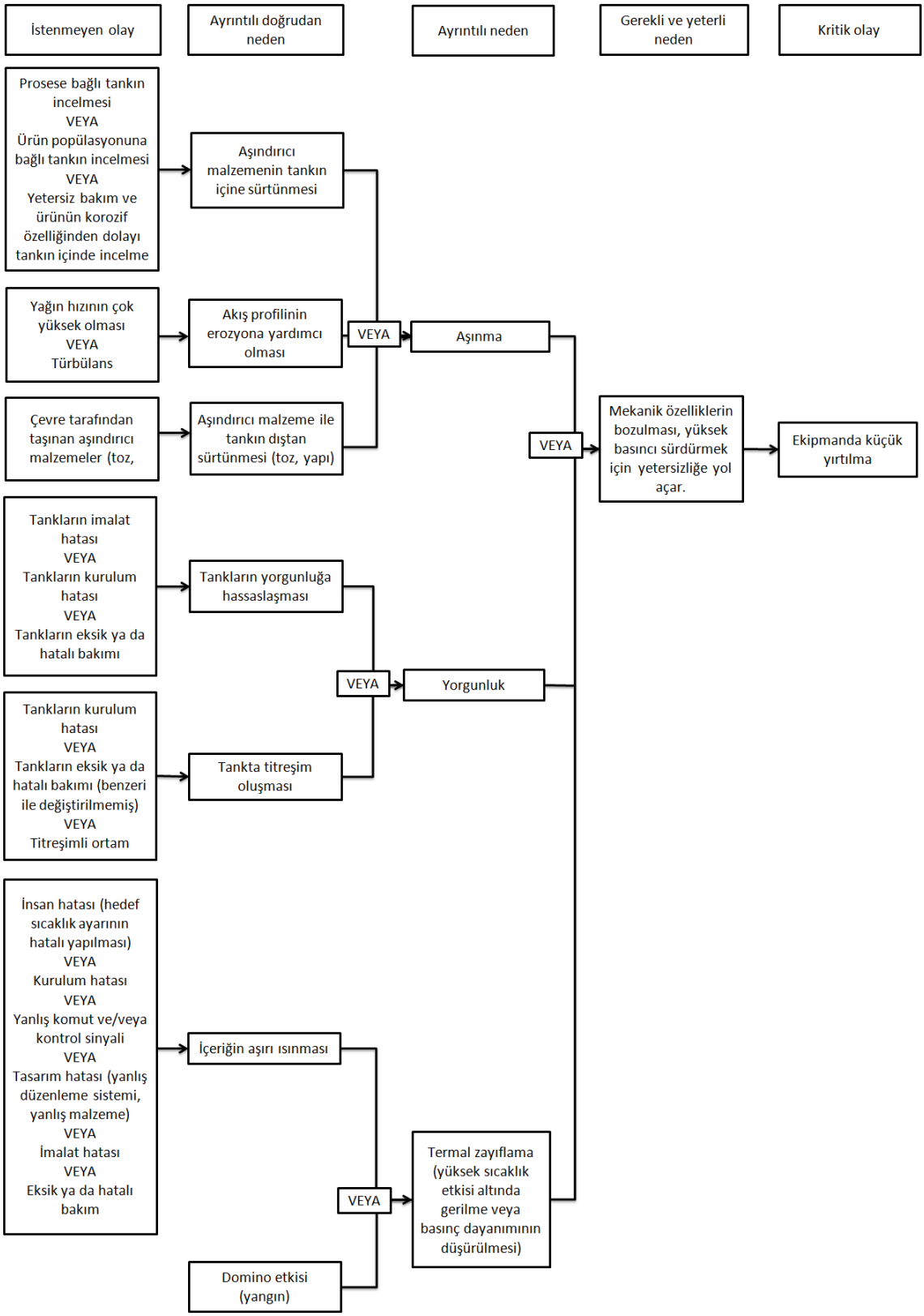
Bu basamakta, seçilmiş tehlikeli ekipmanlar ile belirlenmiş her bir kritik olay için birer hata ağacı kurulmuştur. Örnek olarak harmanlama tankı (EQ6) ekipmanın ekipman cidarında sıvı fazında küçük yırtık (CE7) kritik olayının hata ağacı şekil 4.1'de verilmiştir.

4.1.6. Basamak 6: Her bir kritik olay için olay ağacı oluşturulması

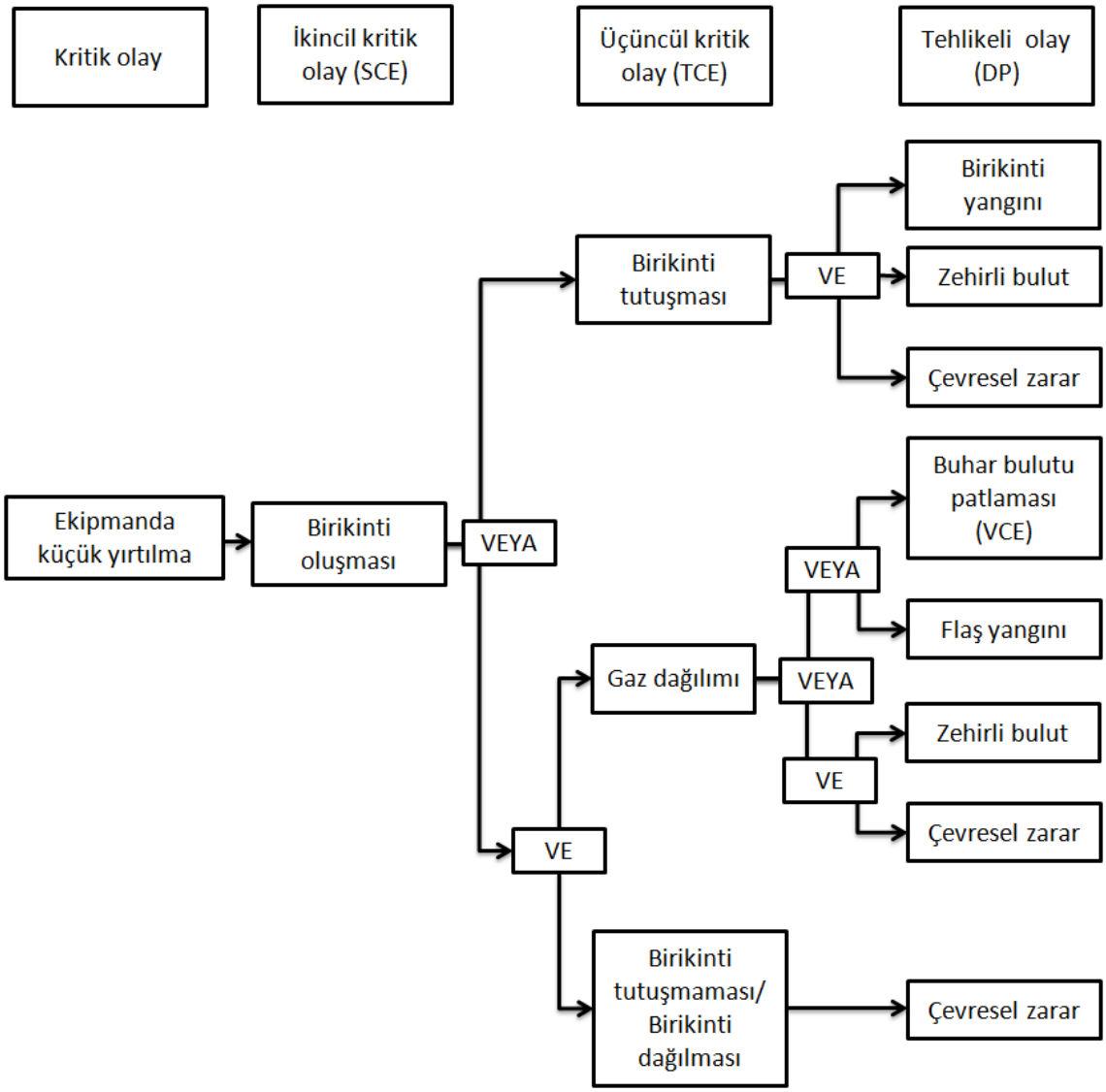
Basamak altıda, seçilmiş ekipmanların kritik olayları için birer olay ağacı oluşturulmuş. Olay ağaçları oluşturulurken ekipmanın içerisindeki maddenin fiziksel hali ve tehlikeli özellikleri dikkate alınmıştır. Örnek olarak harmanlama tankı (EQ6) ekipmanın ekipman cidarında sıvı fazında küçük yırtık (CE7) kritik olayının olay ağacı şekil 4.2'de verilmiştir.

4.1.7. Basamak 7: Seçilen her ekipman için papyon diyagramlarının oluşturulması

Yedinci basamakta beşinci ve altıncı basamakta her bir tehlikeli ekipmanın kritik olayları için kurulan hata ağacı ve olay ağacı birleştirilerek papyon diyagramı oluşturulmuştur. Oluşturulan tüm papyon diyagramlar EK 3, EK 4, EK 5, EK 6, EK 7, EK 8, EK 9, EK 10, EK 11, EK 12, EK 13, EK 14, EK 15, EK 16, EK 17, EK 18, EK 19, EK 20, EK 21, EK 22, EK 23, EK 24, EK 24, EK 25, EK 26, EK 27, EK 28, EK 29, EK 30, EK 31 ve EK 32'de verilmiştir.



Şekil 4.1 Harmanlama tankı CE7(küçük) kritik olayı için hata ağacı



Şekil 4.2 Harmanlama tankı CE7(küçük) kritik olayı için olay ağacı

4.2. MIRAS - Referans Kaza Senaryolarının Belirlenmesi Metodolojisi İle Yapılan Çalışmalar

Oluşturulan bütün papyon diyagramlara bu metodoloji uygulanmıştır.

4.2.1. Basamak 1: Gerekli olan verilerin toplanması

Referans kaza senaryolarının belirlenebilmesi için gerekli olan veriler bu basamakta toplanmıştır. Üçüncü basamak seçilmediği için bu basamakla ilgili veriler toplanmamıştır. Ayrıca herhangi bir modelleme programı kullanmadığından dolayı sekizinci basamak ile ilgilide veri toplanmamıştır.

4.2.2. Basamak 2: Basamak 3 ve Basamak 4 arasında seçim yapılması

Bu basamakta, MIRAS metodolojisine hangi basamak ile devam edileceğine karar verilmiştir.

Basamak 3 ve basamak 4 aynı hedefe sahiptir. Her ikisi de papyon diyagramlarındaki kritik olayların frekanslarının belirlenmesidir.

Üçüncü basamakta, başlangıç kritik olayın frekansını hesaplamak için olaylarının frekanslarından (olasılıklarından) başlayarak ve güvenlik bariyerlerinin etkisini dikkate alarak hata ağacının tam bir analizi yapılır.

Dördüncü basamak, üçüncü basamağın alternatifidir. Eğer kritik olayın frekansı, hata ağacının analizine dayanarak hesaplanmazsa, genel kritik olayların frekansları yardımı ile değerlendirilir.

Başlatıcı olayların verilerine veri bankalarından ya da tesisin kendine ait veri bankasından bulunabilir. Eğer tesiste gerçekleşen bütün olaylar inceleniyor ve bu olaylara neden olan kök nedenlere inilip, bunların değerleri belirleniyorsa, bununla birlikte bulunan bu değerler sürekli kayıt altında tutuluyor ise, tesisin kendine ait veri bankası oluşturulmuş demektir. Ancak analizi gerçekleştiren tesisin kendi veri bankası bulunmamaktadır. Başlatıcı olayların değerleri genel veri bankalarından da araştırılmıştır ancak herhangi bir veriye ulaşılamamıştır. Bu nedenler ile basamak 3 seçilememiştir, kritik olayların frekans değerlerinin genel veri bankalarından araştırılabileceği basamak 4 seçilmiştir.

4.2.3. Basamak 4: Genel kritik olayların frekansları aracılığıyla kritik olayın frekansının tahmin edilmesi

Kritik olayların frekans değerlerinin bulunabilmesi için çeşitli veri bankaları araştırılmıştır. ARAMIS metodoloji WP1 kitabı içerisinde EK-7 bölümünde de bazı veriler verilmiştir. Ulaşılan veri bankalarından edinilen sonuçlar EK 1'de verilmiştir. Bu verilere göre çizelge 4.7 verilen sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.7 Tesiste bulunan ekipmanların kritik olay frekansları

Ekipman	**Kritik olay**	**Kritik olayın frekansı**	**EK 1'de Frekansın alındığı çizelge**
Stok tankı EQ6	CE5-Yangın başlangıcı	$6,2 \times 10^{-5}$ /yıl 9×10^{-5} /yıl	Çizelge 26 - Çizelge 28
	CE7-Ekipman cidarında küçük yırtılma	1×10^{-4} /yıl	Çizelge 24
	CE7-Ekipman cidarında orta yırtılma	$1,8 \times 10^{-5}$ /yıl	Çizelge 24
	CE8-Ekipman küçük sızıntı	$2,5 \times 10^{-6}$ /yıl	Çizelge 24
	CE8-Ekipman orta sızıntı	$1,11 \times 10^{-6}$ /yıl	Çizelge 24
	CE10-Felakete neden olan yıkım	5×10^{-6} /yıl	Çizelge 24
Boru hattı - Harmanlama tankı çıkışı EQ10	CE5-Yangın başlangıcı	$1,18 \times 10^{-6}$ /yıl	Tehlikeli olaydan alınmıştır
	CE8-Ekipman küçük sızıntı	2×10^{-6} /yıl	Çizelge 11 ve 12
Boru hattı - Stok tankı çıkışı EQ10	CE5-Yangın başlangıcı	$1,18 \times 10^{-6}$ /yıl	Tehlikeli olaydan alınmıştır
	CE8-Ekipman küçük sızıntı	2×10^{-6} /yıl	Çizelge 11 ve 12
Dolum makinesi - yağ tankı EQ6	CE5-Yangın başlangıcı	$6,2 \times 10^{-5}$ /yıl 9×10^{-5} /yıl	Çizelge 26 - Çizelge 28
	CE7-Ekipman cidarında küçük yırtılma	1×10^{-4} /yıl	Çizelge 24
	CE8-Ekipman küçük sızıntı	$1,18 \times 10^{-5}$ /yıl	Çizelge 24
	CE10-Felakete neden olan yıkım	5×10^{-6} /yıl	Çizelge 24
Dolum makinesi - hava nozulu - EQ8	CE10-Felakete neden olan yıkım	1.4×10^{-5} /yıl	Çizelge 5
Dolum makinesi yağ dolum nozulu EQ10	CE5-Yangın başlangıcı	$1,062 \times 10^{-5}$ /yıl	Tehlikeli olaydan alınmıştır
	CE8-Ekipman küçük sızıntı	$1,18 \times 10^{-5}$ /yıl	Çizelge 14

Çizelge 4.7 Tesiste bulunan ekipmanların kritik olay frekansları (devam)

Ekipman	Kritik olay	Kritik olayın frekansı	EK 1'de Frekansın alındığı çizelge
Harmanlama tankı EQ6	CE5-Yangın başlangıcı	$6,2 \times 10^{-5}$ /yıl 9×10^{-5} /yıl	Çizelge 26 - Çizelge 28
	CE7-Ekipman cidarında küçük yırtılma	1×10^{-4} /yıl	Çizelge 24
	CE7-Ekipman cidarında orta yırtılma	$1,8 \times 10^{-5}$ /yıl	Çizelge 24
	CE8-Ekipman küçük sızıntı	$2,5 \times 10^{-6}$ /yıl	Çizelge 24
	CE8-Ekipman orta sızıntı	$1,11 \times 10^{-6}$ /yıl	Çizelge 24
	CE10-Felakete neden olan yıkım	5×10^{-6} /yıl	Çizelge 24
Kompresör EQ4	CE10-Felakete neden olan yıkım	1×10^{-4} /yıl	Çizelge 6
Palet sarma EQ15	CE5-Yangın başlangıcı	$1,75 \times 10^{-6}$ /yıl	Tehlikeli olaydan alınmıştır
	CE8-Ekipman küçük sızıntı	$2,5 \times 10^{-6}$ /yıl	Çizelge 29
Pompa EQ8	CE5-Yangın başlangıcı	$8,64 \times 10^{-3}$ /yıl	Tehlikeli olaydan alınmıştır
	CE7-Ekipman cidarında küçük yırtılma	$5,65 \times 10^{-5}$ /yıl	Çizelge 4
	CE8-Ekipman küçük sızıntı	4×10^{-6} /saat	Çizelge 9
	CE10-Felakete neden olan yıkım	1×10^{-4} /yıl	Çizelge 7

4.2.4. Basamak 5: Tehlikeli Olayların frekansının hesaplanması

Bu basamakta, olay ağacında çıktı olarak her bir tehlikeli olayın frekansını belirlemek için olay ağacında adım adım ilerlenmiştir. İlk olarak, olay ağacında "VE" ve "VEYA" geçitleri yerleştirilmiştir. İkinci olarak, ağaçtaki iletim olasılıkları değerlendirilmiştir.

MIMAH metodolojisi ile kurulmuş olay ağaçlarında "VE" ve "VEYA"" geçitleri açıkça çizilmemiştir. Gerçekte olay ağacı bu geçitleri içerir. "VE" geçidi, bir olay ve onunla

aynı zamanda olan sonucu arasına yerleştirilir. Bu sonuçlar "VE" geçidi ile bağlanmış olur. "VEYA" geçidi, sonuç olaylarından biri oluşurken diğeri oluşmuyor ise olayın alt akımına yerleştirilir.

Olayın ağacında "VEYA" geçidi bulunduğu zaman, bu geçitle ilgili iletim olasılıkları değerlendirilmelidir. İletim olasılıkları aşağıdakiler gibi değerlendirilmiştir:

- Hemen ateşleme olasılığı (Pii)
- Gecikmeli ateşleme olasılığı (Pdi)
- Buhar bulutu patlaması (VCE) olasılığı (Pvce)

Bu iletim olasılıkları birçok parametreye bağlıdır. Olay ağacında kullanılan iletim olasılık değerleri çizelge 4.8'de verilmiştir. VE geçidinde frekans değerleri alt akımlara direk aktarılmıştır. VEYA geçitlerinde ise frekans değerleri bulunan iletim olasılıklarına göre alt akımlara iletilmiştir. Tüm tehlikeli olayların hesaplanan frekans verileri çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.8 Olay ağaçlarında kullanılan iletim olasılıkları değerleri

Ekipman	**Kritik olay**	**İletim Olasılıkları**		
		Pii	**Pdi**	**Pvce**
Stok tankı EQ6	CE5-Yangın başlangıcı	Yok	Yok	Yok
	CE7-Ekipman cidarında küçük yırtılma	0.7	0.5	0.1
	CE7-Ekipman cidarında orta yırtılma	0.7	0.5	0.5
	CE8-Ekipman küçük sızıntı	0.7	0.5	0.1
	CE8-Ekipman orta sızıntı	0.7	0.5	0.5
	CE10-Felakete neden olan yıkım	0.7	0.5	0.4
Boru hattı - Harmanlama tankı çıkışı - EQ10	CE5-Yangın başlangıcı	Yok	Yok	Yok
	CE8-Ekipman küçük sızıntı	0.9	0.8	0.1
Boru hattı - Stok tankı çıkışı - EQ10	CE5-Yangın başlangıcı	Yok	Yok	Yok
	CE8-Ekipman küçük sızıntı	0.9	0.8	0.1
Dolum makinesi - yağ tankı EQ6	CE5-Yangın başlangıcı	Yok	Yok	Yok
	CE7-Ekipman cidarında küçük yırtılma	0.7	0.5	0.1
	CE8-Ekipman küçük sızıntı	0.7	0.5	0.1
	CE10-Felakete neden olan yıkım	0.7	0.5	0.4
Dolum makinesi - hava nozulu - EQ8	CE10-Felakete neden olan yıkım	Yok	Yok	Yok
Dolum makinası yağ dolum nozulu EQ10	CE5-Yangın başlangıcı	Yok	Yok	Yok
	CE8-Ekipman küçük sızıntı	0.9	0.8	0.1

Çizelge 4.8 Olay ağaçlarında kullanılan iletim olasılıkları değerleri (devam)

Ekipman	Kritik olay	İletim Olasılıkları		
		Pii	Pdi	Pvce
Harmanlama tankı EQ6	CE5-Yangın başlangıcı	Yok	Yok	Yok
	CE7-Ekipman cidarında küçük yırtılma	0.9	0.8	0.1
	CE7-Ekipman cidarında orta yırtılma	0.9	0.8	0.5
	CE8-Ekipman küçük sızıntı	0.9	0.8	0.1
	CE8-Ekipman orta sızıntı	0.9	0.8	0.5
	CE10-Felakete neden olan yıkım	0.9	0.8	0.4
Kompresör - EQ4	CE10-Felakete neden olan yıkım	Yok	Yok	Yok
Palet sarma EQ15	CE5-Yangın başlangıcı	Yok	Yok	Yok
	CE8-Ekipman küçük sızıntı	0.7	0.5	0.1
Pompa EQ8	CE5-Yangın başlangıcı	Yok	Yok	Yok
	CE7-Ekipman cidarında küçük yırtılma	0.9	0.8	0.1
	CE8-Ekipman küçük sızıntı	0.9	0.8	0.1
	CE10-Felakete neden olan yıkım	0.9	0.8	0.4

Çizelge 4.9 Tüm ekipmanların tehlikeli olaylarının hesaplanan frekans değerleri

Ekipman	Kritik olay	Tehlikeli olay	Tehlikeli olayın hesaplanan frekansı
Stok tankı EQ6	CE5-Yangın başlangıcı	Yangın	$6{,}2 \times 10^{-5}$ /yıl - 9×10^{-5} /yıl
		Zehirli bulut	$6{,}2 \times 10^{-5}$ /yıl - 9×10^{-5} /yıl
		Çevresel zarar	$6{,}2 \times 10^{-5}$ /yıl - 9×10^{-5} /yıl
	CE7-Ekipman cidarında küçük yırtılma	Birikinti yangını	7×10^{-5} /yıl
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	7×10^{-5} /yıl
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	7×10^{-5} /yıl
		Gaz dağılımından VCE	$1{,}5 \times 10^{-6}$ /yıl
		Gaz dağılımından flaş yangını	$1{,}35 \times 10^{-5}$ /yıl
		Gaz dağılımından zehirli bulut	$1{,}5 \times 10^{-5}$ /yıl
		Gaz dağılımından çevresel zarar	$1{,}5 \times 10^{-5}$ /yıl
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	3×10^{-5} /yıl
	CE7-Ekipman cidarında orta yırtılma	Birikinti yangını	$1{,}26 \times 10^{-5}$ /yıl
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	$1{,}26 \times 10^{-5}$ /yıl
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	$1{,}26 \times 10^{-5}$ /yıl
		Gaz dağılımından VCE	$1{,}35 \times 10^{-6}$ /yıl
		Gaz dağılımından flaş yangını	$1{,}35 \times 10^{-6}$ /yıl
		Gaz dağılımından zehirli bulut	$2{,}7 \times 10^{-6}$ /yıl
		Gaz dağılımından çevresel zarar	$2{,}7 \times 10^{-6}$ /yıl
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	$5{,}4 \times 10^{-6}$ /yıl

Çizelge 4.9 Tüm ekipmanların tehlikeli olaylarının hesaplanan frekans değerleri(devam)

Ekipman	Kritik olay	Tehlikeli olay	Tehlikeli olayın hesaplanan frekansı
Stok tankı EQ6	CE8-Ekipman küçük sızıntı	Birikinti yangını	$1{,}75 \times 10^{-6}$ /yıl
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	$1{,}75 \times 10^{-6}$ /yıl
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	$1{,}75 \times 10^{-6}$ /yıl
		Gaz dağılımından VCE	$3{,}75 \times 10^{-8}$ /yıl
		Gaz dağılımından flaş yangını	$3{,}375 \times 10^{-7}$ /yıl
		Gaz dağılımından zehirli bulut	$3{,}75 \times 10^{-7}$ /yıl
		Gaz dağılımından çevresel zarar	$3{,}75 \times 10^{-7}$ /yıl
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	$7{,}5 \times 10^{-7}$ /yıl
	CE8-Ekipman orta sızıntı	Birikinti yangını	$7{,}77 \times 10^{-7}$ /yıl
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	$7{,}77 \times 10^{-7}$ /yıl
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	$7{,}77 \times 10^{-7}$ /yıl
		Gaz dağılımından VCE	$8{,}33 \times 10^{-8}$ /yıl
		Gaz dağılımından flaş yangını	$8{,}33 \times 10^{-8}$ /yıl
		Gaz dağılımından zehirli bulut	$1{,}66 \times 10^{-7}$ /yıl
		Gaz dağılımından çevresel zarar	$1{,}66 \times 10^{-7}$ /yıl
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	$3{,}33 \times 10^{-7}$ /yıl
	CE10-Felakete neden olan yıkım	Birikinti yangını	$3{,}5 \times 10^{-6}$ /yıl
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	$3{,}5 \times 10^{-6}$ /yıl
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	$3{,}5 \times 10^{-6}$ /yıl
		Gaz dağılımından VCE	3×10^{-7} /yıl
		Gaz dağılımından flaş yangını	$4{,}5 \times 10^{-7}$ /yıl
		Gaz dağılımından zehirli bulut	$7{,}5 \times 10^{-7}$ /yıl
		Gaz dağılımından çevresel zarar	$7{,}5 \times 10^{-7}$ /yıl
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	$1{,}5 \times 10^{-6}$ /yıl
Boru hattı - Harmanlama tankı çıkışı EQ10	CE5-Yangın başlangıcı	Yangın	$1{,}8 \times 10^{-6}$ /yıl
		Zehirli bulut	$1{,}8 \times 10^{-6}$ /yıl
		Çevresel zarar	$1{,}8 \times 10^{-6}$ /yıl
	CE8-Ekipman küçük sızıntı	Birikinti yangını	$1{,}8 \times 10^{-6}$ /yıl
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	$1{,}8 \times 10^{-6}$ /yıl
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	$1{,}8 \times 10^{-6}$ /yıl
		Gaz dağılımından VCE	$1{,}6 \times 10^{-8}$ /yıl
		Gaz dağılımından flaş yangını	$1{,}44 \times 10^{-7}$ /yıl
		Gaz dağılımından zehirli bulut	4×10^{-8} /yıl
		Gaz dağılımından çevresel zarar	4×10^{-8} /yıl
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	2×10^{-7} /yıl

Çizelge 4.9 Tüm ekipmanların tehlikeli olaylarının hesaplanan frekans değerleri(devam)

Ekipman	Kritik olay	Tehlikeli olay	Tehlikeli olayın hesaplanan frekansı
Boru hattı - Stok tankı çıkışı EQ10	CE5-Yangın başlangıcı	Yangın	$1,8 \times 10^{-6}$ /yıl
		Zehirli bulut	$1,8 \times 10^{-6}$ /yıl
		Çevresel zarar	$1,8 \times 10^{-6}$ /yıl
	CE8-Ekipman küçük sızıntı	Birikinti yangını	$1,8 \times 10^{-6}$ /yıl
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	$1,8 \times 10^{-6}$ /yıl
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	$1,8 \times 10^{-6}$ /yıl
		Gaz dağılımından VCE	$1,6 \times 10^{-8}$ /yıl
		Gaz dağılımından flaş yangını	$1,44 \times 10^{-7}$ /yıl
		Gaz dağılımından zehirli bulut	4×10^{-8} /yıl
		Gaz dağılımından çevresel zarar	4×10^{-8} /yıl
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	2×10^{-7} /yıl
Dolum makinesi -yağ tankı EQ6	CE5-Yangın başlangıcı	Yangın	$6,2 \times 10^{-5}$ /yıl - 9×10^{-5} /yıl
		Zehirli bulut	$6,2 \times 10^{-5}$ /yıl - 9×10^{-5} /yıl
		Çevresel zarar	$6,2 \times 10^{-5}$ /yıl - 9×10^{-5} /yıl
	CE7-Ekipman cidarında küçük yırtılma	Birikinti yangını	7×10^{-5} /yıl
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	7×10^{-5} /yıl
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	7×10^{-5} /yıl
		Gaz dağılımından VCE	$1,5 \times 10^{-6}$ /yıl
		Gaz dağılımından flaş yangını	$1,35 \times 10^{-5}$ /yıl
		Gaz dağılımından zehirli bulut	$1,5 \times 10^{-5}$ /yıl
		Gaz dağılımından çevresel zarar	$1,5 \times 10^{-5}$ /yıl
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	3×10^{-5} /yıl
	CE8-Ekipman küçük sızıntı	Birikinti yangını	$8,26 \times 10^{-6}$ /yıl
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	$8,26 \times 10^{-6}$ /yıl
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	$8,26 \times 10^{-6}$ /yıl
		Gaz dağılımından VCE	$1,77 \times 10^{-7}$ /yıl
		Gaz dağılımından flaş yangını	$1,593 \times 10^{-6}$ /yıl
		Gaz dağılımından zehirli bulut	$1,77 \times 10^{-6}$ /yıl
		Gaz dağılımından çevresel zarar	$1,77 \times 10^{-6}$ /yıl
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	$3,54 \times 10^{-6}$ /yıl
	CE10-Felakete neden olan yıkım	Birikinti yangını	$3,5 \times 10^{-6}$ /yıl
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	$3,5 \times 10^{-6}$ /yıl
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	$3,5 \times 10^{-6}$ /yıl
		Gaz dağılımından VCE	3×10^{-7} /yıl
		Gaz dağılımından flaş yangını	$4,5 \times 10^{-7}$ /yıl

Çizelge 4.9 Tüm ekipmanların tehlikeli olaylarının hesaplanan frekans değerleri(devam)

Ekipman	Kritik olay	Tehlikeli olay	Tehlikeli olayın hesaplanan frekansı
Dolum makinesi -yağ tankı EQ6	CE10-Felakete neden olan yıkım	Gaz dağılımından zehirli bulut	$7,5 \times 10^{-7}$ /yıl
		Gaz dağılımından çevresel zarar	$7,5 \times 10^{-7}$ /yıl
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	$1,5 \times 10^{-6}$ /yıl
Dolum makinesi - hava nozulu EQ8	CE10-Felakete neden olan yıkım	Füze gibi parça fırlaması	$1,4 \times 10^{-5}$ /yıl
		Aşırı basınç oluşumu	$1,4 \times 10^{-5}$ /yıl
Dolum makinesi yağ dolum nozulu EQ10	CE5-Yangın başlangıcı	Yangın	$1,062 \times 10^{-5}$ /yıl
		Zehirli bulut	$1,062 \times 10^{-5}$ /yıl
		Çevresel zarar	$1,062 \times 10^{-5}$ /yıl
	CE8-Ekipman küçük sızıntı	Birikinti yangını	$1,062 \times 10^{-5}$ /yıl
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	$1,062 \times 10^{-5}$ /yıl
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	$1,062 \times 10^{-5}$ /yıl
		Gaz dağılımından VCE	$9,44 \times 10^{-8}$ /yıl
		Gaz dağılımından flaş yangını	$8,50 \times 10^{-7}$ /yıl
		Gaz dağılımından zehirli bulut	$2,36 \times 10^{-7}$ /yıl
		Gaz dağılımından çevresel zarar	$2,36 \times 10^{-7}$ /yıl
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	$1,18 \times 10^{-6}$ /yıl
Harmanlama tankı EQ6	CE5-Yangın başlangıcı	Yangın	$6,2 \times 10^{-5}$ /yıl - 9×10^{-5} /yıl
		Zehirli bulut	$6,2 \times 10^{-5}$ /yıl - 9×10^{-5} /yıl
		Çevresel zarar	$6,2 \times 10^{-5}$ /yıl - 9×10^{-5} /yıl
	CE7-Ekipman cidarında küçük yırtılma	Birikinti yangını	9×10^{-5} /yıl
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	9×10^{-5} /yıl
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	9×10^{-5} /yıl
		Gaz dağılımından VCE	8×10^{-7} /yıl
		Gaz dağılımından flaş yangını	$7,2 \times 10^{-6}$ /yıl
		Gaz dağılımından zehirli bulut	2×10^{-6} /yıl
		Gaz dağılımından çevresel zarar	2×10^{-6} /yıl
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	1×10^{-5} /yıl
	CE7-Ekipman cidarında orta yırtılma	Birikinti yangını	$1,62 \times 10^{-5}$ /yıl
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	$1,62 \times 10^{-5}$ /yıl
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	$1,62 \times 10^{-5}$ /yıl
		Gaz dağılımından VCE	$7,2 \times 10^{-7}$ /yıl
		Gaz dağılımından flaş yangını	$7,2 \times 10^{-7}$ /yıl
		Gaz dağılımından zehirli bulut	$3,6 \times 10^{-7}$ /yıl
		Gaz dağılımından çevresel zarar	$3,6 \times 10^{-7}$ /yıl
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	$1,8 \times 10^{-6}$ /yıl

Çizelge 4.9 Tüm ekipmanların tehlikeli olaylarının hesaplanan frekans değerleri(devam)

Ekipman	Kritik olay	Tehlikeli olay	Tehlikeli olayın hesaplanan frekansı
Harmanlama tankı EQ6	CE8-Ekipman küçük sızıntı	Birikinti yangını	$2{,}25 \times 10^{-6}$ /yıl
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	$2{,}25 \times 10^{-6}$ /yıl
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	$2{,}25 \times 10^{-6}$ /yıl
		Gaz dağılımından VCE	2×10^{-8} /yıl
		Gaz dağılımından flaş yangını	$1{,}8 \times 10^{-7}$ /yıl
		Gaz dağılımından zehirli bulut	5×10^{-8} /yıl
		Gaz dağılımından çevresel zarar	5×10^{-8} /yıl
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	$2{,}5 \times 10^{-7}$ /yıl
	CE8-Ekipman orta sızıntı	Birikinti yangını	$9{,}99 \times 10^{-7}$ /yıl
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	$9{,}99 \times 10^{-7}$ /yıl
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	$9{,}99 \times 10^{-7}$ /yıl
		Gaz dağılımından VCE	$4{,}44 \times 10^{-8}$ /yıl
		Gaz dağılımından flaş yangını	$4{,}44 \times 10^{-8}$ /yıl
		Gaz dağılımından zehirli bulut	$2{,}22 \times 10^{-8}$ /yıl
		Gaz dağılımından çevresel zarar	$2{,}22 \times 10^{-8}$ /yıl
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	$1{,}11 \times 10^{-7}$ /yıl
	CE10-Felakete neden olan yıkım	Birikinti yangını	$4{,}5 \times 10^{-6}$ /yıl
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	$4{,}5 \times 10^{-6}$ /yıl
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	$4{,}5 \times 10^{-6}$ /yıl
		Gaz dağılımından VCE	$1{,}6 \times 10^{-7}$ /yıl
		Gaz dağılımından flaş yangını	$2{,}4 \times 10^{-7}$ /yıl
		Gaz dağılımından zehirli bulut	1×10^{-7} /yıl
		Gaz dağılımından çevresel zarar	1×10^{-7} /yıl
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	1×10^{-7} /yıl
Kompresör EQ4	CE10-Felakete neden olan yıkım	Füze gibi parça fırlaması	1×10^{-4} /yıl
		Aşırı basınç oluşumu	1×10^{-4} /yıl
Palet sarma EQ15	CE5-Yangın başlangıcı	Yangın	$1{,}75 \times 10^{-6}$ /yıl
		Zehirli bulut	$1{,}75 \times 10^{-6}$ /yıl
		Çevresel zarar	$1{,}75 \times 10^{-6}$ /yıl
	CE8-Ekipman küçük sızıntı	Birikinti yangını	$1{,}75 \times 10^{-6}$ /yıl
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	$1{,}75 \times 10^{-6}$ /yıl
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	$1{,}75 \times 10^{-6}$ /yıl
		Gaz dağılımından VCE	$3{,}75 \times 10^{-8}$ /yıl
		Gaz dağılımından flaş yangını	$3{,}375 \times 10^{-7}$ /yıl
		Gaz dağılımından zehirli bulut	$3{,}75 \times 10^{-7}$ /yıl
		Gaz dağılımından çevresel zarar	$3{,}75 \times 10^{-7}$ /yıl
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	$7{,}5 \times 10^{-7}$ /yıl

Çizelge 4.9 Tüm ekipmanların tehlikeli olaylarının hesaplanan frekans değerleri(devam)

Ekipman	Kritik olay	Tehlikeli olay	Tehlikeli olayın hesaplanan frekansı
Pompa EQ8	CE5-Yangın başlangıcı	Yangın	$8{,}64 \times 10^{-3}$ /yıl
		Zehirli bulut	$8{,}64 \times 10^{-3}$ /yıl
		Çevresel zarar	$8{,}64 \times 10^{-3}$ /yıl
	CE7-Ekipman cidarında küçük yırtılma	Birikinti yangını	$5{,}09 \times 10^{-5}$ /yıl
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	$5{,}09 \times 10^{-5}$ /yıl
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	$5{,}09 \times 10^{-5}$ /yıl
		Gaz dağılımından VCE	$4{,}52 \times 10^{-7}$ /yıl
		Gaz dağılımından flaş yangını	$4{,}68 \times 10^{-6}$ /yıl
		Gaz dağılımından zehirli bulut	$1{,}13 \times 10^{-6}$ /yıl
		Gaz dağılımından çevresel zarar	$1{,}13 \times 10^{-6}$ /yıl
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	$5{,}65 \times 10^{-6}$ /yıl
	CE8-Ekipman küçük sızıntı	Birikinti yangını	$8{,}64 \times 10^{-3}$ /yıl
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	$8{,}64 \times 10^{-3}$ /yıl
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	$8{,}64 \times 10^{-3}$ /yıl
		Gaz dağılımından VCE	$7{,}68 \times 10^{-5}$ /yıl
		Gaz dağılımından flaş yangını	$6{,}91 \times 10^{-4}$ /yıl
		Gaz dağılımından zehirli bulut	$1{,}92 \times 10^{-4}$ /yıl
		Gaz dağılımından çevresel zarar	$1{,}92 \times 10^{-4}$ /yıl
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	$9{,}6 \times 10^{-4}$ /yıl
	CE10-Felakete neden olan yıkım	Birikinti yangını	9×10^{-5} /yıl
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	9×10^{-5} /yıl
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	9×10^{-5} /yıl
		Gaz dağılımından VCE	$3{,}2 \times 10^{-6}$ /yıl
		Gaz dağılımından flaş yangını	$4{,}8 \times 10^{-6}$ /yıl
		Gaz dağılımından zehirli bulut	2×10^{-6} /yıl
		Gaz dağılımından çevresel zarar	2×10^{-6} /yıl
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	1×10^{-5} /yıl

Ayrıca bazı ekipmanlar için bariyer kullanılarak tehlikeli olayların frekansları hesaplanmıştır ve değerler çizelge 4.10'da verilmiştir. Bariyerler olay ağacına uygulanmıştır, çünkü çalışmada başlangıç olayının frekansı değil, kritik olayların frekansı veri bankalarından bulunup kullanılmıştır. Basamak 3 seçilmiş olsaydı bariyerler hata ağacına da konulabilirdi.

Çalışmada kullanılan bariyerler pasif bariyerdir.

Bariyerlerin kantitatif etkisinin görülmesi için kullanılan bariyerin risk talep üzerindeki hata olasılığının (PFD) bilmesi gerekir. Bu değere veri bankalarından ulaşılabilir. Bu çalışmadan ARAMIS metodolojisinde verilen PFD değerleri kullanılmıştır.

Ek 33 ve 34 'de bariyer uygulanmış papyon diyagramları verilmiştir.

Çizelge 4.10 Kompresör ve pompanın bariyer uygulanmış tehlikeli olaylarının hesaplanan frekans değerleri

Ekipman	**Kritik olay**	**Tehlikeli olay**	**Tehlikeli olayın bariyersiz hesaplanan frekansı**	**Tehlikeli olayın bariyer başarısızken hesaplanan frekansı**	**Tehlikeli olayın bariyer başarılıyken hesaplanan frekansı**
Kompresör	CE10-Felakete neden olan yıkım	Füze gibi parça fırlaması	1×10^{-4} /yıl	$9{,}99 \times 10^{-5}$ /yıl	1×10^{-7} /yıl
		Aşırı basınç oluşumu	1×10^{-4} /yıl	$9{,}99 \times 10^{-5}$ /yıl	1×10^{-7} /yıl
Pompa	CE08-Sıvı faz borusunda küçük sızıntı	Birikinti yangını	$8{,}64 \times 10^{-3}$ /yıl	$8{,}63 \times 10^{-3}$ /yıl	$8{,}64 \times 10^{-6}$ /yıl
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	$8{,}64 \times 10^{-3}$ /yıl	$8{,}63 \times 10^{-3}$ /yıl	$8{,}64 \times 10^{-6}$ /yıl
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	$8{,}64 \times 10^{-3}$ /yıl	$8{,}63 \times 10^{-3}$ /yıl	$8{,}64 \times 10^{-6}$ /yıl
		Gaz dağılımından VCE	$7{,}68 \times 10^{-5}$ /yıl	$7{,}67 \times 10^{-7}$ /yıl	$7{,}68 \times 10^{-8}$ /yıl
		Gaz dağılımından flaş yangını	$6{,}91 \times 10^{-4}$ /yıl	$6{,}90 \times 10^{-4}$ /yıl	$6{,}91 \times 10^{-7}$ /yıl
		Gaz dağılımından zehirli bulut	$1{,}92 \times 10^{-4}$ /yıl	$1{,}91 \times 10^{-4}$ /yıl	$1{,}92 \times 10^{-7}$ /yıl
		Gaz dağılımından çevresel zarar	$1{,}92 \times 10^{-4}$ /yıl	$1{,}91 \times 10^{-4}$ /yıl	$1{,}92 \times 10^{-7}$ /yıl
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	$9{,}6 \times 10^{-4}$ /yıl	$9{,}59 \times 10^{-4}$ /yıl	$9{,}6 \times 10^{-7}$ /yıl

4.2.5. Basamak 6: Tehlikeli Olayların sonuç sınıflarının tahmin edilmesi

Referans Kaza Senaryolarının seçimi, Tehlikeli olayların frekanslarının değerlendirmesine ve bunların potansiyel sonuçlarına bağlıdır. Bu basamakta, Tehlikeli Olayların her birinin kabaca sonuçları sınıflandırılmıştır.

Tehlikeli olayların sonuçlarının değerlendirmesi sadece nitel olarak yapılmış olup ARAMIS metodolojisinde tanımlanan ve çizelge 3.10'da verilen dört sonuç sınıfı temelinde yapılmıştır.

4.2.6. Basamak 7: Referans Kaza Senaryolarını seçmek için risk matrisinin kullanılması

Bu basamakta risk matrisi (Şekil 3.6) kullanılarak frekans ve sonuç sınıfı belirlenmiş tehlikeli olaylardan referans kaza senaryoları (RAS) seçilmiştir. Risk matrisinin X ekseninde dört sonuç sınıf, Y ekseninde tehlikeli olayların frekansları yer alır. Tehlikeli olayın frekans değeri ve sonuç sınıfının kesişimi sarı (orta etki) veya kırmızı (yüksek etki) bölgede çıkıyorsa bu tehlikeli olay referans kaza senaryosu olarak seçilmiştir.

Yüksek etki ve orta etki bölgelerinde bulunduğu için RAS olarak seçilen tehlikeli olaylar ihmal edilebilir etki (yeşil) bölgesine çekilmeye çalışılır. Güvenilir bölgeye çekebilmek için tehlikeli olayın frekansını azaltabilecek veya tehlikeli olay oluştuğundan daha tehlikesizi sonuç sınıflarına indirebilecek bariyer yöntemleri kullanılması gerekir.

Çizelge 4.11'de tesiste bulunan tüm ekipmanlar için oluşabilecek tehlikeli olayların frekansları, bu tehlikeli olayların sonuç sınıfları ve hangi etki bölgesinde olduğu verilmiştir.

Çizelge 4.11 Tüm ekipmanlar için RAS seçimi

Ekipman	Kritik olay	Tehlikeli olay	Tehlikeli olayın hesaplanan frekansı	Tehlikeli olayın sonuç sınıfı	Risk matrisi konumu	Etki bölgesi
Stok tankı EQ6	CE5-Yangın başlangıcı	Yangın	6,2 x 10^{-5} /yıl - 9 x 10^{-5} /yıl	C2		Orta etki
		Zehirli bulut	6,2 x 10^{-5} /yıl - 9 x 10^{-5} /yıl	C2		Orta etki
		Çevresel zarar	6,2 x 10^{-5} /yıl - 9 x 10^{-5} /yıl	C2		Orta etki
	CE7-Ekipman cidarında küçük yırtılma	Birikinti yangını	7 x 10^{-5} /yıl	C2		Orta etki
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	7 x 10^{-5} /yıl	C3		Orta etki
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	7 x 10^{-5} /yıl	C2		Orta etki
		Gaz dağılımından VCE	1,5 x 10^{-6} /yıl	C3		Orta etki
		Gaz dağılımından flaş yangını	1,35 x 10^{-5} /yıl	C3		Orta etki
		Gaz dağılımından zehirli bulut	1,5 x 10^{-5} /yıl	C3		Orta etki
		Gaz dağılımından çevresel zarar	1,5 x 10^{-5} /yıl	C3		Orta etki
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	3 x 10^{-5} /yıl	C3		Orta etki
	CE7-Ekipman cidarında orta yırtılma	Birikinti yangını	1,26 x 10^{-5} /yıl	C2		Orta etki
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	1,26 x 10^{-5} /yıl	C3		Orta etki
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	1,26 x 10^{-5} /yıl	C2		Orta etki
		Gaz dağılımından VCE	1,35 x 10^{-6} /yıl	C3		Orta etki
		Gaz dağılımından flaş yangını	1,35 x 10^{-6} /yıl	C3		Orta etki
		Gaz dağılımından zehirli bulut	2,7 x 10^{-6} /yıl	C3		Orta etki
		Gaz dağılımından çevresel zarar	2,7 x 10^{-6} /yıl	C3		Orta etki
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	5,4 x 10^{-6} /yıl	C3		Orta etki

Çizelge 4.11 Tüm ekipmanlar için RAS seçimi (devam)

Ekipman	Kritik olay	Tehlikeli olay	Tehlikeli olayın hesaplanan frekansı	Tehlikeli olayın sonuç sınıfı	Risk matrisi konumu	Etki bölgesi
Stok tankı EQ6	CE8-Ekipman küçük sızıntı	Birikinti yangını	$1{,}75 \times 10^{-6}$ /yıl	C2		İhmal edilebilir etki
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	$1{,}75 \times 10^{-6}$ /yıl	C3		Orta etki
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	$1{,}75 \times 10^{-6}$ /yıl	C2		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından VCE	$3{,}75 \times 10^{-8}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından flaş yangını	$3{,}375 \times 10^{-7}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından zehirli bulut	$3{,}75 \times 10^{-7}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından çevresel zarar	$3{,}75 \times 10^{-7}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	$7{,}5 \times 10^{-7}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
	CE8-Ekipman orta sızıntı	Birikinti yangını	$7{,}77 \times 10^{-7}$ /yıl	C2		İhmal edilebilir etki
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	$7{,}77 \times 10^{-7}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	$7{,}77 \times 10^{-7}$ /yıl	C2		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından VCE	$8{,}33 \times 10^{-8}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından flaş yangını	$8{,}33 \times 10^{-8}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından zehirli bulut	$1{,}66 \times 10^{-7}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından çevresel zarar	$1{,}66 \times 10^{-7}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	$3{,}33 \times 10^{-7}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki

Çizelge 4.11 Tüm ekipmanlar için RAS seçimi (devam)

Ekipman	Kritik olay	Tehlikeli olay	Tehlikeli olayın hesaplanan frekansı	Tehlikeli olayın sonuç sınıfı	Risk matrisi konumu	Etki bölgesi
Stok tankı EQ6	CE10-Felakete neden olan yıkım	Birikinti yangını	$3,5 \times 10^{-6}$ /yıl	C2		İhmal edilebilir etki
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	$3,5 \times 10^{-6}$ /yıl	C3		Orta etki
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	$3,5 \times 10^{-6}$ /yıl	C2		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından VCE	3×10^{-7} /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından flaş yangını	$4,5 \times 10^{-7}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından zehirli bulut	$7,5 \times 10^{-7}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından çevresel zarar	$7,5 \times 10^{-7}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	$1,5 \times 10^{-6}$ /yıl	C3		Orta etki
Boru hattı - Harmanlama tankı çıkışı EQ10	CE5-Yangın başlangıcı	Yangın	$1,8 \times 10^{-6}$ /yıl	C2		İhmal edilebilir etki
		Zehirli bulut	$1,8 \times 10^{-6}$ /yıl	C3		Orta etki
		Çevresel zarar	$1,8 \times 10^{-6}$ /yıl	C3		Orta etki
	CE8-Ekipman küçük sızıntı	Birikinti yangını	$1,8 \times 10^{-6}$ /yıl	C2		İhmal edilebilir etki
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	$1,8 \times 10^{-6}$ /yıl	C3		Orta etki
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	$1,8 \times 10^{-6}$ /yıl	C2		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından VCE	$1,6 \times 10^{-8}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından flaş yangını	$1,44 \times 10^{-7}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından zehirli bulut	4×10^{-8} /yıl	C3		İhmal edilebilir etki

Çizelge 4.11 Tüm ekipmanlar için RAS seçimi (devam)

Ekipman	Kritik olay	Tehlikeli olay	Tehlikeli olayın hesaplanan frekansı	Tehlikeli olayın sonuç sınıfı	Risk matrisi konumu	Etki bölgesi
Boru hattı - Harmanlama tankı çıkışı EQ10	CE8-Ekipman küçük sızıntı	Gaz dağılımından çevresel zarar	4×10^{-8} /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	2×10^{-7} /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
Boru hattı - Stok tankı çıkışı EQ10	CE5-Yangın başlangıcı	Yangın	$1{,}8 \times 10^{-6}$ /yıl	C2		İhmal edilebilir etki
		Zehirli bulut	$1{,}8 \times 10^{-6}$ /yıl	C3		Orta etki
		Çevresel zarar	$1{,}8 \times 10^{-6}$ /yıl	C3		Orta etki
	CE8-Ekipman küçük sızıntı	Birikinti yangını	$1{,}8 \times 10^{-6}$ /yıl	C2		İhmal edilebilir etki
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	$1{,}8 \times 10^{-6}$ /yıl	C3		Orta etki
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	$1{,}8 \times 10^{-6}$ /yıl	C2		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından VCE	$1{,}6 \times 10^{-8}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından flaş yangını	$1{,}44 \times 10^{-7}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından zehirli bulut	4×10^{-8} /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından çevresel zarar	4×10^{-8} /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	2×10^{-7} /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
Dolum makinesi - yağ tankı EQ6	CE5-Yangın başlangıcı	Yangın	$6{,}2 \times 10^{-5}$ /yıl - 9×10^{-5} /yıl	C2		Orta etki
		Zehirli bulut	$6{,}2 \times 10^{-5}$ /yıl - 9×10^{-5} /yıl	C2		Orta etki
		Çevresel zarar	$6{,}2 \times 10^{-5}$ /yıl - 9×10^{-5} /yıl	C2		Orta etki

Çizelge 4.11 Tüm ekipmanlar için RAS seçimi (devam)

Ekipman	Kritik olay	Tehlikeli olay	Tehlikeli olayın hesaplanan frekansı	Tehlikeli olayın sonuç sınıfı	Risk matrisi konumu	Etki bölgesi
Dolum makinesi - yağ tankı EQ6	CE7-Ekipman cidarında küçük yırtılma	Birikinti yangını	7×10^{-5} /yıl	C2		Orta etki
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	7×10^{-5} /yıl	C3		Orta etki
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	7×10^{-5} /yıl	C2		Orta etki
		Gaz dağılımından VCE	$1,5 \times 10^{-6}$ /yıl	C3		Orta etki
		Gaz dağılımından flaş yangını	$1,35 \times 10^{-5}$ /yıl	C3		Orta etki
		Gaz dağılımından zehirli bulut	$1,5 \times 10^{-5}$ /yıl	C3		Orta etki
		Gaz dağılımından çevresel zarar	$1,5 \times 10^{-5}$ /yıl	C3		Orta etki
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	3×10^{-5} /yıl	C3		Orta etki
	CE8-Ekipman küçük sızıntı	Birikinti yangını	$8,26 \times 10^{-6}$ /yıl	C2		İhmal edilebilir etki
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	$8,26 \times 10^{-6}$ /yıl	C3		Orta etki
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	$8,26 \times 10^{-6}$ /yıl	C2		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından VCE	$1,77 \times 10^{-7}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından flaş yangını	$1,593 \times 10^{-6}$ /yıl	C3		Orta etki
		Gaz dağılımından zehirli bulut	$1,77 \times 10^{-6}$ /yıl	C3		Orta etki
		Gaz dağılımından çevresel zarar	$1,77 \times 10^{-6}$ /yıl	C3		Orta etki
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	$3,54 \times 10^{-6}$ /yıl	C3		Orta etki
	CE10-Felakete neden olan yıkım	Birikinti yangını	$3,5 \times 10^{-6}$ /yıl	C2		İhmal edilebilir etki
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	$3,5 \times 10^{-6}$ /yıl	C3		Orta etki
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	$3,5 \times 10^{-6}$ /yıl	C2		İhmal edilebilir etki

Çizelge 4.11 Tüm ekipmanlar için RAS seçimi (devam)

Ekipman	Kritik olay	Tehlikeli olay	Tehlikeli olayın hesaplanan frekansı	Tehlikeli olayın sonuç sınıfı	Risk matrisi konumu	Etki bölgesi
Dolum makinesi - yağ tankı EQ6	CE10-Felakete neden olan yıkım	Gaz dağılımından VCE	3×10^{-7} /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından flaş yangını	$4{,}5 \times 10^{-7}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından zehirli bulut	$7{,}5 \times 10^{-7}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından çevresel zarar	$7{,}5 \times 10^{-7}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	$1{,}5 \times 10^{-6}$ /yıl	C3		Orta etki
Dolum makinesi - hava nozulu EQ8	CE10-Felakete neden olan yıkım	Füze gibi parça fırlaması	$1{,}4 \times 10^{-5}$ /yıl	C3		Orta etki
		Aşırı basınç oluşumu	$1{,}4 \times 10^{-5}$ /yıl	C3		Orta etki
Dolum makinesi yağ dolum nozulu EQ10	CE5-Yangın başlangıcı	Yangın	$1{,}062 \times 10^{-5}$ /yıl	C2		Orta etki
		Zehirli bulut	$1{,}062 \times 10^{-5}$ /yıl	C3		Orta etki
		Çevresel zarar	$1{,}062 \times 10^{-5}$ /yıl	C3		Orta etki
	CE8-Ekipman küçük sızıntı	Birikinti yangını	$1{,}062 \times 10^{-5}$ /yıl	C2		Orta etki
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	$1{,}062 \times 10^{-5}$ /yıl	C3		Orta etki
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	$1{,}062 \times 10^{-5}$ /yıl	C3		Orta etki
		Gaz dağılımından VCE	$9{,}44 \times 10^{-8}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından flaş yangını	$8{,}50 \times 10^{-7}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından zehirli bulut	$2{,}36 \times 10^{-7}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından çevresel zarar	$2{,}36 \times 10^{-7}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	$1{,}18 \times 10^{-6}$ /yıl	C3		Orta etki

Çizelge 4.11 Tüm ekipmanlar için RAS seçimi (devam)

Ekipman	Kritik olay	Tehlikeli olay	Tehlikeli olayın hesaplanan frekansı	Tehlikeli olayın sonuç sınıfı	Risk matrisi konumu	Etki bölgesi
Harmanlama tankı EQ6	CE5-Yangın başlangıcı	Yangın	$6{,}2 \times 10^{-5}$ /yıl - 9×10^{-5} /yıl	C2		Orta etki
		Zehirli bulut	$6{,}2 \times 10^{-5}$ /yıl - 9×10^{-5} /yıl	C2		Orta etki
		Çevresel zarar	$6{,}2 \times 10^{-5}$ /yıl - 9×10^{-5} /yıl	C2		Orta etki
	CE7-Ekipman cidarında küçük yırtılma	Birikinti yangını	9×10^{-5} /yıl	C2		Orta etki
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	9×10^{-5} /yıl	C3		Orta etki
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	9×10^{-5} /yıl	C2		Orta etki
		Gaz dağılımından VCE	8×10^{-7} /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından flaş yangını	$7{,}2 \times 10^{-6}$ /yıl	C3		Orta etki
		Gaz dağılımından zehirli bulut	2×10^{-6} /yıl	C3		Orta etki
		Gaz dağılımından çevresel zarar	2×10^{-6} /yıl	C3		Orta etki
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	1×10^{-5} /yıl	C3		Orta etki
	CE7-Ekipman cidarında orta yırtılma	Birikinti yangını	$1{,}62 \times 10^{-5}$ /yıl	C2		Orta etki
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	$1{,}62 \times 10^{-5}$ /yıl	C3		Orta etki
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	$1{,}62 \times 10^{-5}$ /yıl	C2		Orta etki
		Gaz dağılımından VCE	$7{,}2 \times 10^{-7}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından flaş yangını	$7{,}2 \times 10^{-7}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından zehirli bulut	$3{,}6 \times 10^{-7}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından çevresel zarar	$3{,}6 \times 10^{-7}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	$1{,}8 \times 10^{-6}$ /yıl	C3		Orta etki

Çizelge 4.11 Tüm ekipmanlar için RAS seçimi (devam)

Ekipman	Kritik olay	Tehlikeli olay	Tehlikeli olayın hesaplanan frekansı	Tehlikeli olayın sonuç sınıfı	Risk matrisi konumu	Etki bölgesi
Harmanlama tankı EQ6	CE8-Ekipman küçük sızıntı	Birikinti yangını	2,25 x 10^{-6} /yıl	C2		İhmal edilebilir etki
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	2,25 x 10^{-6} /yıl	C3		Orta etki
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	2,25 x 10^{-6} /yıl	C2		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından VCE	2 x 10^{-8} /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından flaş yangını	1,8 x 10^{-7} /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından zehirli bulut	5 x 10^{-8} /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından çevresel zarar	5 x 10^{-8} /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	2,5 x 10^{-7} /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
	CE8-Ekipman orta sızıntı	Birikinti yangını	9,99 x 10^{-7} /yıl	C2		İhmal edilebilir etki
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	9,99 x 10^{-7} /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	9,99 x 10^{-7} /yıl	C2		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından VCE	4,44 x 10^{-8} /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından flaş yangını	4,44 x 10^{-8} /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından zehirli bulut	2,22 x 10^{-8} /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından çevresel zarar	2,22 x 10^{-8} /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	1,11 x 10^{-7} /yıl	C3		İhmal edilebilir etki

Çizelge 4.11 Tüm ekipmanlar için RAS seçimi (devam)

Ekipman	Kritik olay	Tehlikeli olay	Tehlikeli olayın hesaplanan frekansı	Tehlikeli olayın sonuç sınıfı	Risk matrisi konumu	Etki bölgesi
Harmanlama tankı EQ6	CE10-Felakete neden olan yıkım	Birikinti yangını	$4{,}5 \times 10^{-6}$ /yıl	C2		İhmal edilebilir etki
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	$4{,}5 \times 10^{-6}$ /yıl	C3		Orta etki
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	$4{,}5 \times 10^{-6}$ /yıl	C2		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından VCE	$1{,}6 \times 10^{-7}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından flaş yangını	$2{,}4 \times 10^{-7}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından zehirli bulut	1×10^{-7} /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından çevresel zarar	1×10^{-7} /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	1×10^{-7} /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
Kompresör EQ4	CE10-Felakete neden olan yıkım	Füze gibi parça fırlaması	1×10^{-4} /yıl	C3		Yüksek etki
		Aşırı basınç oluşumu	1×10^{-4} /yıl	C3		Yüksek etki
Palet sarma EQ15	CE5-Yangın başlangıcı	Yangın	$1{,}75 \times 10^{-6}$ /yıl	C2		İhmal edilebilir etki
		Zehirli bulut	$1{,}75 \times 10^{-6}$ /yıl	C3		Orta etki
		Çevresel zarar	$1{,}75 \times 10^{-6}$ /yıl	C3		Orta etki
	CE8-Ekipman küçük sızıntı	Birikinti yangını	$1{,}75 \times 10^{-6}$ /yıl	C2		İhmal edilebilir etki
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	$1{,}75 \times 10^{-6}$ /yıl	C3		Orta etki
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	$1{,}75 \times 10^{-6}$ /yıl	C2		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından VCE	$3{,}75 \times 10^{-8}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki

Çizelge 4.11 Tüm ekipmanlar için RAS seçimi (devam)

Ekipman	Kritik olay	Tehlikeli olay	Tehlikeli olayın hesaplanan frekansı	Tehlikeli olayın sonuç sınıfı	Risk matrisi konumu	Etki bölgesi
Palet sarma EQ15	CE8-Ekipman küçük sızıntı	Gaz dağılımından flaş yangını	$3{,}375 \times 10^{-7}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından zehirli bulut	$3{,}75 \times 10^{-7}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından çevresel zarar	$3{,}75 \times 10^{-7}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	$7{,}5 \times 10^{-7}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
Pompa EQ8	CE5-Yangın başlangıcı	Yangın	$8{,}64 \times 10^{-3}$ /yıl	C2		Yüksek etki
		Zehirli bulut	$8{,}64 \times 10^{-3}$ /yıl	C3		Yüksek etki
		Çevresel zarar	$8{,}64 \times 10^{-3}$ /yıl	C3		Yüksek etki
	CE7-Ekipman cidarında küçük yırtılma	Birikinti yangını	$5{,}09 \times 10^{-5}$ /yıl	C2		Orta etki
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	$5{,}09 \times 10^{-5}$ /yıl	C3		Orta etki
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	$5{,}09 \times 10^{-5}$ /yıl	C2		Orta etki
		Gaz dağılımından VCE	$4{,}52 \times 10^{-7}$ /yıl	C3		İhmal edilebilir etki
		Gaz dağılımından flaş yangını	$4{,}68 \times 10^{-6}$ /yıl	C3		Orta etki
		Gaz dağılımından zehirli bulut	$1{,}13 \times 10^{-6}$ /yıl	C3		Orta etki
		Gaz dağılımından çevresel zarar	$1{,}13 \times 10^{-6}$ /yıl	C3		Orta etki
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	$5{,}65 \times 10^{-6}$ /yıl	C3		Orta etki
	CE8-Ekipman küçük sızıntı	Birikinti yangını	$8{,}64 \times 10^{-3}$ /yıl	C2		Yüksek etki
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	$8{,}64 \times 10^{-3}$ /yıl	C3		Yüksek etki
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	$8{,}64 \times 10^{-3}$ /yıl	C2		Yüksek etki
		Gaz dağılımından VCE	$7{,}68 \times 10^{-5}$ /yıl	C3		Orta etki

Çizelge 4.11 Tüm ekipmanlar için RAS seçimi (devam)

Ekipman	Kritik olay	Tehlikeli olay	Tehlikeli olayın hesaplanan frekansı	Tehlikeli olayın sonuç sınıfı	Risk matrisi konumu	Etki bölgesi
Pompa EQ8	CE8-Ekipman küçük sızıntı	Gaz dağılımından flaş yangını	$6{,}91 \times 10^{-4}$ /yıl	C3		Yüksek etki
		Gaz dağılımından zehirli bulut	$1{,}92 \times 10^{-4}$ /yıl	C3		Yüksek etki
		Gaz dağılımından çevresel zarar	$1{,}92 \times 10^{-4}$ /yıl	C3		Yüksek etki
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	$9{,}6 \times 10^{-4}$ /yıl	C3		Yüksek etki
	CE10-Felakete neden olan yıkım	Birikinti yangını	9×10^{-5} /yıl	C2		Orta etki
		Birikinti tutuşmasından zehirli bulut	9×10^{-5} /yıl	C3		Orta etki
		Birikinti tutuşmasından çevresel zarar	9×10^{-5} /yıl	C2		Orta etki
		Gaz dağılımından VCE	$3{,}2 \times 10^{-6}$ /yıl	C3		Orta etki
		Gaz dağılımından flaş yangını	$4{,}8 \times 10^{-6}$ /yıl	C3		Orta etki
		Gaz dağılımından zehirli bulut	2×10^{-6} /yıl	C3		Orta etki
		Gaz dağılımından çevresel zarar	2×10^{-6} /yıl	C3		Orta etki
		Birikinti dağılmasından çevresel zarar	1×10^{-5} /yıl	C3		Orta etki

4.2.7. Basamak 8: Şiddetin hesaplanması için bilgi toplanması

Basamak yedide tesiste gerçekleşen tehlikeli olaylar arasından RAS seçilmiştir. Bu basamakta seçilen referans kaza senaryolarının şiddetleri belirlenmelidir. Şiddeti belirlemek için tesisteki ateşleme kaynakları, sıcaklık basınç nem rüzgar hızı gibi meteorolojik bilgiler ve tesisin coğrafi konumu gibi özel bilgilere ihtiyaç vardır. Bu bilgiler tehlikeli olayların sonuçlarını modelleyen program yazılımları ile yorumlanması gerekir.

ALOHA veri tabanında madeni yağları bulundurmamaktadır. Ancak ilave kimyasallar eklenebilmektedir. Kimyasal eklerken AEGLs, ERPGs ve patlama limitleri gibi bazı bilgilere ihtiyaç duymaktadır. Ancak kaynama aralığı yüksek madeni yağ için ALOHA yazılımının ihtiyaç duyduğu verilerin birçoğu bulunmamaktadır. Madeni yağların parlama noktası ve kaynama aralığı yüksek olduğu için atmosferik dağılım oranı düşük olacağından atmosferde yağ buharları ihmal edilebilir seviyede bulunacaktır. Bu sebeple madeni yağ tesisleri için ALOHA kullanımı uygun değildir. Ancak araştırılan kaynaklardan açıkça görülmektedir ki ALOHA yazılımı farklı tesisler ve kimyasallar için kullanılabilmektedir.

MODFLOW yazılımı kullanımı için ise yeraltı sularının uzun süreli gözleminin yapılması gerekmektedir. Araştırılan kaynaklardan MODFLOW yazılımının tesislerden toprağı sızıntı gerçekleşmesi ile yeraltı sularına kirletici taşınımı üzerine çalışabilir ancak uzun süreli gözlemler ile birlikte yeraltı suları hakkında bilgi ve tecrübeye ihtiyaç duymaktadır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

ARAMIS metodolojisi madeni yağ imalatı gerçekleştiren bir tesiste bulanan harmanlama tankı, stok tankı, boru hatları, kompresör, pompa, palet sarma makinesi ve dolum makinesi ekipmanlarına uygulanmıştır. Çalışma alanında bulunan bu ekipmanlarda gerçekleşebilecek kritik olaylar için hata ağacı ve olay ağacı çıkarılmıştır. Hata ağacı ve olay ağacı birleştirilerek papyon diyagramı oluşturulmuştur.

Metodolojide tehlikeli ekipman seçimi için ekipmanın içerdiği maddenin işlem sıcaklığında buharlaşma eğilimine göre seçim yapılmaktadır. Korelasyonda hesaplamalar için atmosferik basınçta kaynama noktası dikkate alınmaktadır. Ancak madeni yağlar yüksek kaynama noktasına sahip bileşiklerin bir karışımıdır. Dolayısı ile madeni yağlar belirli bir sıcaklık aralığında kaynarlar ve kaynama aralığına sahiptirler. Güvenlik nedenleri ile belirlenmiş ve yağın ne kadar uçucu olduğunun göstergesi olan parlama noktası bu kaynama aralığının düşük sıcaklık bölgesinde tespit edilmektedir. Parlama noktası aynı kaynama noktası gibi ortam basıncından etkilenmektedir. Bu sebeplerden dolayı metodolojide verilen korelasyonda kaynama noktası yerine madeni yağın parlama noktasının kullanılabileceği düşünülmüş ve uygulanmıştır. Ancak elde edilen sonuçlara göre tehlikeli ekipman seçimi yapılamamıştır. Bu noktada tesiste bulunan ekipmanların çok olmaması sebebiyle metodoloji tüm ekipmanlara uygulanmıştır.

Çalışma alanında bariyer uygulanmadığı için metodoloji bariyersiz olarak çalışılmıştır.

Kritik olaylar için hata ağaçları oluşturulurken ekipman cidarında sıvı fazda yırtık ve sıvı faz borusunda sızıntı kritik olayları büyük, orta ve küçük olmak üzere üç boyutta incelenmektedir. Tesisin küçük olmasından dolayı ve tecrübelerinden de yararlanarak ekipman cidarında sıvı fazda büyük yırtık ve sıvı faz borusunda büyük sızıntı kritik olaylarının hata ağaçları dikkate alınmamıştır.

Metodolojiye göre hava boru hattında yangın başlangıcı ve gaz faz borusunda sızıntı kritik olayları tespit edilmiştir. Yangın başlangıcı ve gaz faz borusunda sızıntı kritik olayları sonucunda oluşan tehlikeli olaylar boru hattının taşıdığı malzeme olan havanın sebep olabileceği tehlikeli olaylar olmadığından dolayı hava boru hattı ekipmanı tehlikeli ekipman olarak seçilmemiştir.

Metodolojiye göre kompresörde yangın başlangıcı, ekipman cidarında buhar fazında yırtılma, gaz faz borusunda sızıntı ve felakete neden olabilecek ani yırtılma kritik olayları tespit edilmiştir. Yangın başlangıcı, ekipman cidarında buhar fazında yırtılma ve gaz faz borusunda sızıntı kritik olayları sonucunda oluşan tehlikeli olaylar kompresörün içerdiği malzeme olan havanın sebep olabileceği tehlikeli olaylar olmadığından dolayı bu kritik olaylar dikkate alınmamıştır. Kompresör için yalnızca felakete neden olacak ani kritik olayı incelenmiştir.

Başlangıçta harmanlama tanklarının ekipman tipi ara depolama ekipmanı olarak seçilmiştir ve kritik olayları bu ekipman tipine göre belirlenmiştir. Ancak bu ekipman tipi ile ilgili uluslar arası veri bankalarından frekans değeri bulunamamıştır. Bu ekipman içerisinde atmosferik basınçta çalışıldığından, içerisinde herhangi bir reaksiyon gerçekleşmediğinden ve frekans verilerini bulmakta yaşanan güçlüklerden dolayı harmanlama tanklarının tipi atmosferik tank olarak değerlendirilmiştir. Kritik olayların belirlenmesi ve frekans değerleri seçimi atmosferik tanka göre seçilmiştir.

Ekipmanın parçalanması ve prosesin bir bölümünün veya çatının çökmesi kritik olayları, yağın hızla ekipman içersinden boşalmasının neden olacağı vakum etkisi durumunda gerçekleşebilecek kritik olaylardır. Bu durumun tesisteki ekipmanlarda gerçekleşme ihtimali söz konusu olmadığından dolayı ekipmanın parçalanması ve prosesin bir bölümünün veya çatının çökmesi kritik olayları dikkate alınmamıştır.

Dolum makineleri yağ dolum başlığı, yağ depolama tankı ve hava başlığı olmak üzere üç ayrı kısımdan oluşmaktadır. Bu nedenle bu ekipman üç ayrı ekipman olarak incelenmiştir. Yağ dolum başlığı boru hattı, yağ depolama tankı atmosferik basınçta depolama ve hava başlığı basınçlı taşıma ekipman tipi olarak değerlendirilmiştir.

Farklı kaynaklardan bulunan frekans değerleri ile ayrı hesaplamalar yapılmıştır. Ancak risk matrisinde tehlikeli olayların etki bölgesi konumlarında farklılık gözlenmemiştir. Veri bankalarında bazı verilerin birimleri yıl başına değil, saat başına şeklinde verilmiştir. Bu veriler yıl başına olarak revize edilmiştir. Bazı ekipmanların yangın başlangıcı frekans verilerine uluslararası veri bankalarından ulaşılamamıştır. Bu noktada ekipmanın diğer kritik olaylarının sonucunda oluşacak yangın ile ilgili tehlikeli

olaylarından en yüksek frekanslı olanı seçilerek yangın başlangıcı kritik olayı frekans verisi olarak kullanılmıştır.

Kritik olaylar sonucu oluşabilecek tehlikeli olayların sonuçları değerlendirilirken çevre, insan ve domino etkisi faktörleri dikkate alınmıştır. Tehlikeli olayların frekansları ve sonuç sınıfları risk matrisinde yerleştirilerek olayın hangi etki bölgesinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Yüksek etki (kırmızı) bölgesinde ve orta etki (sarı) bölgesinde gerçekleşen olaylar referans kaza senaryosu olarak seçilmiştir. Tesiste toplamda 118 adet tehlikeli olay tespit edilmiştir ve bunların büyük çoğunluğu orta etki (sarı) bölgesi ve ihmal edilebilir etki (yeşil) bölgesinde olarak belirlenmiştir. Yüksek etki bölgesinde ise 12 adet tehlikeli olay tespit edilmiştir. Bu tehlikeli olaylar kompresör ekipmanında felakete neden olabilecek ani yıkım kritik olayı ve pompa ekipmanında yangın başlangıcı ve ekipmanda küçük sızıntı kritik olayları sonucunda gerçekleşmektedir.

Referans kaza senaryosu olarak seçilen tehlikeli olaylar ihmal edilebilir etki bölgesine çekilmesi gerekir. Bunun için tehlikeli olayların hata ağacı ve/veya olay ağacı analizlerinde olayın frekansını düşürmeye veya sonuç sınıfını değiştirmeye yardımcı olacak bariyerler kullanılabilir. Çalışmada yalnızca yüksek etki bölgesinde tehlikeli olaylar tespit edilen kompresör ve pompa ekipmanları için olay ağacı analizlerine limit bariyeri ve kontrol bariyeri eklenmiş ve tehlikeli olay frekansı düşürülmeye çalışılmıştır. Kullanılan bariyerler pasif bariyerdir. Bariyer uygulaması frekansın düşürülüp etki bölgesinin yeşil bölgeye geçmesine yardımcı olmuştur. Bu tesis özelinde kompresör etrafına patlama ve yangın duvarı, pompa için sızıntı havuzu bariyer yöntemleri önerilebilir.

Referans kaza senaryolarının şiddetlerini belirlemek için tesisteki ateşleme kaynakları, sıcaklık basınç nem rüzgar hızı gibi meteorolojik bilgiler ve tesisin coğrafi konumu gibi özel bilgilere ihtiyaç vardır. Bu bilgiler, tehlikeli olayların sonuçlarını modelleyen ALOHA, PHAST, MODFLOW ve GMS gibi program yazılımları ile yorumlanabilir. Tez sürecinde yeterli vakit olmadığından dolayı bu yazılımlarla ilgili çalışma yapılamamıştır. Kimya Mühendisliği, Jeoloji Mühendisliği ve İnşaat Mühendisliği Anabilim Dallarının ortak çalışması ile MODFLOW yazılımı kullanılarak tesiste bir sızıntı gerçekleşmesi durumunda, tesisin bulunduğu bölgede yeraltı sularının nasıl etkileneceği simüle edilmesi önerilebilir.

KAYNAKLAR

Akyüz, E. 2015. Quantification of human error probability towards the gas inerting process on-board crude oil tankers. Safety Science, 80(2015), 77-86.

Aljaroudi, A. Khan, F. Akıntürk, A. Haddara, M. ve Thodi. P. 2015. Risk assessment of offshore crude oil pipeline failure. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 37, 101-109.

Andersen, H. Casal, J. Dandrieux, A. Debray, B. De Dianous, V. Duijm, N. J. Delvosalle, C. Fievez, C. Goossens, L. Gowland, R.T. Hale, A.J. Hourtolou, D. Mazzarotta, B. Pipart, A. Planas, E. Prats, F. Salvi ve O. Tixier. J. 2004. ARAMIS: Accidental Risk Assessment Methodology for IndustrieS in The Context of The SEVESO II Directive, User Guide.

Anonim, 2019. Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik. T.C. Resmî Gazete, Sayı: 30702, 02 Mart 2019.

Anonim, 2012. İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği. T.C. Resmî Gazete, Sayı: 28509, 26 Aralık 2012.

Anonim, 2012a. SEVESO II Direktifi Kapsamındaki Endüstrilerde Kaza Riski Değerlendirme Metodolojisi: ARAMIS (Accidental Risk Assessment Methodology For IndustrieS) Kullanıcı Rehberi. T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Teftiş Kurulu Başkanlığı, Ankara, Türkiye.

Anonymous, 2001. Base oil handbook, NYNAS Naphthenics, Stockholm, Sweden.

Anonymous. 2005. Guidelines for quantitative risk assessment 'Purple book'. CPR 18E, Publication Series on Dangerous Substances.

Anonymous. 2009. Reference Manual Bevi Risk Assessments version 3.2 - Introduction. National Institute of Public Health and the Environment (RIVM).

Anonymous. 2009a. Handbook Failure Frequencies 2009 for drawing up a Safety Report. Flemish Government, LNE Department, Environment, Nature and Energy Policy Unit, Safety Reporting Division.

Anonymous. 2009b. Background Information Appendix to Handbook Failure Frequencies 2009 for drawing up a safety report. Flemish Government, LNE Department, Environment, Nature and Energy Policy Unit, Safety Reporting Division.

Anonymous. 2010. Storage incident frequencies. Risk Assessment Data Directory, International Association of Oil & Gas Producers (OGP).

Anonymous. 2012. Failure rate and event data for use within risk assessments, HSE.

Anonymous. 2012a. Web Sitesi: https://www.waterloohydrogeologic.com/2012/06/22/what-is-modflow/, Erişim tarihi: 30.12.2018.

Babaarslan, N. Alpbaz, M. ve Cabbar Y. 2014. Acciental Risk Assessment on Atmosferic Distillation Column in Oil Refinery. Chemical Engineering Transactions, 36 (2014), 475-480.

Bariha, N. Mishra I. M. ve Srivastava, V. C. 2016. Fire and explosion hazard analysis during surface transport of liquefied petroleum gas (LPG): a case study of LPG truck tanker accident in Kannur, Kerala. India. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 40, 449-460.

Baybutt, P. 2014. The use of risk matrices and risk graphs for SIL determination. Process Safety Progress, American Institute of Chemical Engineers, 33(2), 179-182.

Bernatik, A. ve Bartlova, I. 2014. Risk assessment for LPG Storage, 5th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics, 19-23 July, Advances in Physical Ergonomics and Human Factors Part I, 186-193, Jagiellonian University, Kraków, Poland.

Bernatik, A. Zimmerman, W. Pitt, M. Strizik, M. Nevrly, V. ve Zelinger Z. 2008. Modeling accidental releases of dangerous gases into the lower troposphere from mobile sources. Process Safety And Environment Protection, 86, 198-2007.

Bragatto, P. A. Ansaldi, S. M. ve Angello P. 2015. Small enterprises and major hazards: How to develop an appropriate safety management system. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 33, 232-244.

Bruin, M. ve Swuste, P. 2008. Analysis of hazard scenarios for a research environment in an oil and gas exploration and production company. Safety Science, 46, 261-271.

Cherriadi, G. Bouziri, A. E. Boulmakoul, A. ve Zeitouni, K. 2018. An atmospheric dispersion modeling microservice for HazMat transportation. The 9th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT 2018), Procedia Computer Science, 130(2018), 526-532.

Chitumalla, P. K. Harris, D. Thuraisingham, B. ve Khan, L. 2008. Emergency response applications dynamic plume modeling and real-time routing. IEEE Computer Society, IEEE Internet Computing, 1089-7801/08, January/February 20018, 38-44.

Debray, B. Piatyszek, E. Cauffet, F. ve Londiche, H. 2004. Generic fault trees. ARAMIS D1C, Appendix 4.

Debray, B. Piatyszek, E. Cauffet, F. ve Londiche, H. 2004a. Frequencies and probabilities data for the fault tree. ARAMIS D1C, Appendix 7.

de Dianous, V. Hourtolou, D. ve Bernuchon, E. 2004. Assessment of the performance of safety barriers. ARAMIS D1C, Appendix 9.

Delvosalle, C. Fiévez, ve Pipart, A. 2004. ARAMIS Accidental Risk Assessment Methodology For Industries In The Context Of The SEVESO II Directive, Deliverable D1C, WP1.

Delvosalle, C. Fiévez, ve Pipart, A. 2004a. Methodology for the selection of equipment to be studied. ARAMIS D1C, Appendix 2.

Delvosalle, C. Fiévez, ve Pipart, A. 2004b. Method to associate critical events and relevant hazardous equipment. ARAMIS D1C, Appendix 3.

Delvosalle, C. Fiévez, ve Pipart, A. 2004c. Methodology for the building of generic event trees (MIMAH). ARAMIS D1C, Appendix 5.

Delvosalle, C. Fiévez, ve Pipart, A. 2004ç. Generic events trees generated by MIMAH. ARAMIS D1C, Appendix 6.

Delvosalle, C. Fiévez, ve Pipart, A. 2004d. Generic frequencies data for the critical events. ARAMIS D1C, Appendix 10.

Delvosalle, C. Fiévez, ve Pipart, A. 2004e. AND and OR gates, and notations in the event tree. ARAMIS D1C, Appendix 11.

Delvosalle, C. Fiévez, ve Pipart, A. 2004f. Probabilistic aspects in the event tree. ARAMIS D1C, Appendix 12.

Delvosalle, C. Fiévez, ve Pipart, A. 2004g. Risk Matrix. ARAMIS D1C, Appendix 13.

Delvosalle, C. Fiévez, C. Pipart, A. ve Debray, B. 2006. ARAMIS project: A comprehensive methodology for the identification of reference accident scenarios in process industries, Journal of Hazardous Materials, 103, 200-219.

Delvosalle, C. Robert, B. Nourry, J. Yan, G. Brohez, S. ve Delcourt, J. 2017. Considering critical infrastructures in the land planning policy around Seveso plants. Safety Science, Elsevier, 97, 27-33.

Fenske, J. P. Leake, S. A. ve Prodic, D. E. 1996. Documentation of a computer program (RES1) to simulate leakage from reservoirs using the modular finite-difference ground-water flow model (MODFLOW). U.S. Geological Survey, Open-File Report 96-364.

Ferdous, R. Khan, F. Sadiq, R. Amyotte, P. ve Veitch, B. 2011. Fault and event tree analyses for process systems risk analysis: Uncertainty handling formulations. Risk Analysis, 31(1), 86-107.

Gong, M. Zhou, W. ve Wu, J., 2007. Composition shift due to the different solubility in the lubricant oil for multicomponent mixtures. The 14th International Cryocooler

Conference, 14-16 June 2006 (Boulder, CO: ICC Press, 2007), a459-467 Annapolis, MD, USA.

Gönenli, M. Y. 2015. Madeni Yağlar Hakkında Bilgi Notları, TMMOB Kimya mühendisleri odası, Ankara Şubesi.

Hourtolou, D. ve Salvi, O. 2004. ARAMIS project: achievement of the integrated methodology and discussion about its usability from the case studies carried out on real Seveso II sites. International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industry, PetroChemEng, Praha, Czech Republic, 1133-1143.

Kalantarnia, M. Khan, F. ve Hawboldt, K. 2008. Dynamic risk assessment using failure assessment and Bayesian theory. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 22(5), 600-606.

Khakzad, N. Khan, F. ve Amyotte, P. 2012. Dynamic risk analysis using bow-tie approach. Reliability Engineering and System Safety. 104, 36-44.

Kokangül, A. Polat, U. ve Dağsuyu, C. 2017. A new approximation for risk assessment using the AHP and Fine Kinney methodologies. Safety Science, 91, 24-32.

Kontić, D. Kontić, B. ve Gerbec, M. 2006. How powerful is ARAMIS methodology in solving land-use issues associated with industry based environmental and health risk?. Journal of Hazardous Materials, 130(3), 271-275.

Kumar, S. Chhoker, A. Singh, A. K. Kose, P. ve Kumar, S. 2016. Hazard identification and risk assessment in petroleum oils & lubricants (pols) depot. International Journal of Science Technology & Engineering, 2(12), 567-572.

Landucci, G. Bonvicini, S. ve Cozzani, V. 2017. A methodology for the analysis of domino and cascading events in Oil & Gas facilities operating in harsh environments. Safety Science, 95, 182-197.

Landucci, G. Tugnoli, A. ve Cozzani, V. 2008. Inherent safety key performance indicators for hydrogen storage systems. Journal of Hazardous Materials, 159, 554-566.

Larsen, W. F. 1974. Fault tree analysis. Technical report 4556, Picatinny Arsenal, Dover, New Jersey.

Margai, F. L. 2010. Health risks and environmental inequity: a geographical analysis of accidental releases of hazardous materials. The Professional Geographer, 53(3), 422-434.

Meel, A. O'Neill, L.M. Levin, J.H. Seider, W.D. Oktem, U. ve Keren, N. 2007. Operational risk assessment of chemical industries by exploiting accident databases. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 20(2), 113-127.

Moreno, V. C. ve Cozzani, V. 2018. Integrated hazard identification within the risk management of industrial biological processes. Safety Science, 103, 340-351.

Özkılıç, Ö. 2005. İş Sağlığı Ve Güvenliği, Yönetim Sistemleri Ve Risk Değerlendirme Metodolojileri. Türkiye İşveren Sendikaları Konfederasyonu.

Salvi, O. ve Debray, B. 2005. A global view on ARAMIS, a risk assessment methodology for industries in the framework of the SEVESO II directive. Journal of Hazardous Materials, 130(3), 167-199.

Salvi, O. ve Debray, B. 2007. Convergence in risk assessment for Seveso sites: from ASSURANCE results to ARAMIS method. Computational Models of Risk to Infrastructure, IOS Press, 133-144.

Sathe, S. S. ve Mahanta C. 2019. Groundwater flow and arsenic contamination transport modeling for a multi aquifer terrain: assessment and mitigation strategies. Journal of Environmental Management, 231, 166-181.

Scarponi, G. E. Guglielmi, D. Moreno, V. C. ve Cozzani, V. 2016. Assessment of inherently safer alternatives in biogas production and upgrading. AlChE Journal, American Institute of Chemical Engineers, 62 (8), 2713-2727.

Seber, V. 2012. İşçi Sağlığı ve Güvenliğinde Risk Analizleri Nasıl Yapılır. Elektrik Mühendisliği Dergisi, 445, 30-34.

Selvan, T. R. ve Siddiquid, N. A. 2015. Risk assessment study for LPG storage and handling system of heat treatment plant. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 5 (7), 216-221.

Shi, W. Zeng, W. ve Chen, B. 2010. Application of visual MODFLOW to assess the Sewage Plant accident pool leakage impact on groundwater in the Guanting Reservoir area of Beijing. Frontiers of Earth Science in China, 4(3), 320-325.

Tseng, J. M. Su, T. S. ve Kuo, C. Y. 2012. Consequence evaluation of toxic chemical release by ALOHA. 2012 International Symposium on Safety Science and Technology, Procedia Engineering, 45, 384-389.

Valis, D. Koucky, M. 2009. Selected overview of risk assessment techniques. Problemy Eksploatacji, 4-2009, 19-32.

Vesely, W. E. Golgberg, F. F. Roberts, N. H. Haasl, D. F. 1981. Fault tree handbook. NUREG-0492, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C.

Vliet, A.A.C. Gooijer, L. Laheij, G.M.H. 2011. On-site natural gas piping scenarios and failure frequencies. National Institute of Public Health and the Environment.

Wincek, J. C. 2014. Is all safety-critical equipment critical to safety?. Hazards 24, Symposium Series 159, IChemE, 1-6.

Yordanov, D. I. Dimitrov, A. N. Tsonev, Z. B. ve Petkov, P. St, 2010. Flash point correlation with specific gravity, refractive index, and viscosity of base oil fractions. Asian Chemistry Letters, 14(2), 171-176.

EKLER

EK 1 Risk değerlendirmesi yapılan tesiste bulunan ekipmanlar için çeşitli veri bankalarından bulunan kaza/arıza frekans verileri

EK 2 Tesisin yerleşim planı

EK 3 Stok tankı EQ6 ekipmanı CE5 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması

EK 4 Stok tankı EQ6 ekipmanı CE7 (küçük) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması

EK 5 Stok tankı EQ6 ekipmanı CE7 (orta) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması

EK 6 Stok tankı EQ6 ekipmanı CE8 (küçük) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması

EK 7 Stok tankı EQ6 ekipmanı CE8 (orta) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması

EK 8 Stok tankı EQ6 ekipmanı CE10 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması

EK 9 Boru hattı EQ10 ekipmanı harmanlama tankı çıkışı CE5 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması

EK 10 Boru hattı EQ10 ekipmanı harmanlama tankı çıkışı CE8 (küçük) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması

EK 11 Boru hattı EQ10 ekipmanı stok tankı çıkışı CE5 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması

EK 12 Boru hattı EQ10 ekipmanı stok tankı çıkışı CE8 (küçük) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması

EK 13 Dolum makinesi EQ6 ekipmanı yağ tankı CE5 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması

EK 14 Dolum makinesi EQ6 ekipmanı yağ tankı CE7 (küçük) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması

EK 15 Dolum makinesi EQ6 ekipmanı yağ tankı CE8 (küçük) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması

EK 16 Dolum makinesi EQ6 ekipmanı yağ tankı CE10 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması
EK 17 Dolum makinesi EQ8 ekipmanı hava nozulu CE10 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması
EK 18 Dolum makinesi EQ10 ekipmanı yağ dolum nozulu CE5 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması
EK 19 Dolum makinesi EQ10 ekipmanı yağ dolum nozulu CE8 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması
EK 20 Harmanlama tankı EQ6 ekipmanı CE5 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması
EK 21 Harmanlama tankı EQ6 ekipmanı CE7 (küçük) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması
EK 22 Harmanlama tankı EQ6 ekipmanı CE7 (orta) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması
EK 23 Harmanlama tankı EQ6 ekipmanı CE8 (küçük) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması
EK 24 Harmanlama tankı EQ6 ekipmanı CE8 (orta) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması
EK 25 Harmanlama tankı EQ6 ekipmanı CE10 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması
EK 26 Kompresör EQ4 ekipmanı CE10 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması
EK 27 Palet sarma makinesi EQ15 ekipmanı CE5 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması
EK 28 Palet sarma makinesi EQ15 ekipmanı CE8 (küçük) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması
EK 29 Pompa EQ8 ekipmanı CE5 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması
EK 30 Pompa EQ8 ekipmanı CE7 (küçük) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması
EK 31 Pompa EQ8 ekipmanı CE8 (küçük) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması

EK 32 Pompa EQ8 ekipmanı CE10 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması
EK 33 Kompresör EQ4 ekipmanı CE10 kritik olayı için bariyer uygulanmış papyon diyagramı ve frekans hesaplaması
EK 34 Pompa EQ8 ekipmanı CE8 (küçük) kritik olayı için bariyer uygulanmış papyon diyagramı ve frekans hesaplaması

EK 1 Risk değerlendirmesi yapılan tesiste bulunan ekipmanlar için çeşitli veri bankalarından bulunan kaza/arıza frekans verileri

i. Pompalarda meydana gelen kritik olaylar ile ilgili veri bankalarında bulunan değerler

Çizelge 1. Pompada parça arıza kritik olay değerleri (Anonymous, 2012)

Olay tipi	**Hata oranı (pompa başına)**
Gövde arızası	3×10^{-5} /yıl

Çizelge 2. Sprey sızıntı kritik olayı frekansı (Anonymous, 2012)

	Frekans(sıklık) (pompa başına)	**Çatlak etkili uzunluğu**
Pompa tek conta	5×10^{-4} /yıl	Mil çevresi
Pompa çift conta	5×10^{-4} /yıl	Mil çevresi

Çizelge 3. Pompalar için frekans değerleri (Anonymous, 2005)

	Felaket boyutunda hata	**Sızıntı**
Ek hükümsüz pompalar	1×10^{-4} /yıl	5×10^{-4} /yıl
İşlenmiş çelik muhafazalı pompalar	5×10^{-5} /yıl	$5{,}2 \times 10^{-4}$ /yıl
Salmastrasız pompalar	1×10^{-5} /yıl	5×10^{-5} /yıl

Çizelge 4. Pompaların kritik olay değerleri (Delvosalle vd., 2004ç)

	Sızıntı
En büyük bağlantı çapında sızıntı	5×10^{-7} /yıl
10 mm çapında sızıntı	1×10^{-4} - $1{,}3 \times 10^{-5}$ /yıl
35 mm çapında sızıntı	$4{,}4 \times 10^{-6}$ /yıl
50 mm çapında 10 dk boyunca süren sızıntı	5×10^{-5} /yıl
100 mm çapında sızıntı	3×10^{-6} /yıl

ii. Kompresörlerde meydana gelen kritik olaylar ile ilgili veri bankalarında bulunan değerler

Çizelge 5. Kompresörde parça arıza kritik olay değerleri (Anonymous, 2012)

Arıza kategorisi	**Hata oranı (kompresör başına)**	
	Santrifüjlü	**Pistonlu**
Kopma (>110 mm çap)	$2{,}9 \times 10^{-6}$ /yıl	$1{,}4 \times 10^{-5}$ /yıl
Büyük delik (>75mm - ≤110mm çap)	$2{,}9 \times 10^{-6}$ /yıl	$1{,}4 \times 10^{-5}$ /yıl
Küçük delik (>25mm - ≤75mm çap)	$2{,}7 \times 10^{-4}$ /yıl	$3{,}3 \times 10^{-3}$ /yıl
İğne deliği (≤25 mm)	$1{,}2 \times 10^{-2}$ /yıl	$8{,}6 \times 10^{-2}$ /yıl

iii. Pompalarda ve kompresörlerde meydana gelen kritik olaylar ile ilgili veri bankalarında bulunan değerler

Çizelge 6. Santrifüjlü pompa ve kompresör için senaryolar (Anonymous, 2009)

	Salmastra (contasız) Sıklık	**Contalı Sıklık**
Yıkımsal hata	$1x10^{-5}$ /yıl	$1x10^{-4}$ /yıl
Sızıntı(%10 çap)	$5x10^{-5}$ /yıl	$4{,}4x10^{-3}$ /yıl

Çizelge 7. Pistonlu pompa ve kompresör için senaryolar (Anonymous, 2009)

	Sıklık
Yıkımsal hata	$1x10^{-4}$ /yıl
Sızıntı (%10 çap)	$4{,}4\ x10^{-3}$ /yıl

Çizelge 8. Pompalar ve kompresörler için arıza frekansları (Anonymous, 2009a)

Arıza tipi	**Arıza frekansı (pompa veya kompresör)**		
	Santrifüjlü pompa		**Karşıt pompalar**
	Salmastralı	**Salmastrasız**	**Kompresörler**
Sızıntı $d_{eq} = 0{,}1\ D_{max}$	$4{,}4\ x\ 10^{-3}$ /yıl	$1\ x\ 10^{-4}$ /yıl	$4{,}4\ x\ 10^{-3}$ /yıl
Yırtık	-	-	$1\ x\ 10^{-4}$ /yıl

Çizelge 9. Basınçlı iletim ekipmanları için bulunan veriler (Delvosalle vd., 2004ç)

Sürekli serbest kalma				
Sürekli serbest kalma boyutu= büyük bağlantı çapı	**10 mm çapında sızıntı**	**35 mm çapında sızıntı**	**50 mm çapında sızıntı, 10 dk**	**100 mm çapında sızıntı**
$5x10^{-7}$/yıl	$1x10^{-4}$-$1{,}3x10^{-5}$/yıl	$4{,}4x10^{-6}$/yıl	$5x10^{-5}$/yıl	$3x10^{-6}$/yıl

Sızıntı			
Yükleme/boşaltma hortumunun tam delik yırtılması	**Yükleme / boşaltma hortumunun sızıntısı (nominal çapın% 10'u kadar etkili, maksimum 50 mm)**	**Yükleme/boşaltma kolunun tam delik yırtılması**	**Yükleme / boşaltma kolunun sızıntısı (nominal çapın% 10'u kadar etkili, maksimum 50 mm)**
$4x10^{-6}$/saat	$4x10^{-5}$/saat	$3x10^{-8}$/saat	$3x10^{-6}$-$3x10^{-7}$/saat

iv. Boru hatlarında meydana gelen kritik olaylar ile ilgili veri bankalarında bulunan değerler

Çizelge 10. Boru hatlarında parça arıza kritik olay değerleri (Anonymous, 2012)

Hata kategorisi	Hata oranı (metre başına)
Kopma (>110 mm çap)	$6,5 \times 10^{-9}$ /yıl
Büyük delik (>75mm - ≤110mm çap)	$3,3 \times 10^{-8}$ /yıl
Küçük delik (>25mm - ≤75mm çap)	$6,7 \times 10^{-8}$ /yıl
İğne deliği (≤25 mm)	$1,6 \times 10^{-7}$ /yıl

Çizelge 11. Boru hatları için sınırlama kaybı frekansları (Anonymous, 2005)

	Tam delik kopma	Sızıntı
Boru çapı <75 mm	1×10^{-6} /(metre yıl)	5×10^{-6} /(metre yıl)
75 mm≤boru çapı<15mm	3×10^{-7} /(metre yıl)	2×10^{-6} /(metre yıl)
Boru çapı >150mm	1×10^{-7} /(metre yıl)	5×10^{-7} /(metre yıl)

Çizelge 12. Yerüstündeki boru hatları için senaryolar (Anonymous, 2009)

	Sıklık		
	Ağırlıklı çap < 75 mm	**75mm ≤ ağırlıklı çap ≤ 150mm**	**Ağırlıklı çap > 150mm**
Boru hattında patlama	1×10^{-6} /yıl	3×10^{-7} /yıl	1×10^{-7} /yıl
Ağırlıklı çapın %10'u kadar efektif çapında sızıntı (en fazla 50mm)	5×10^{-6} /yıl	2×10^{-6} /yıl	5×10^{-7} /yıl

Çizelge 13. Boru hatlarının arıza frekansları (Anonymous, 2009a)

Arıza tipi	Arıza frekansı (/yıl)
Küçük sızıntı d_{eq} = 0,1 D	$2,8 \times 10^{-8}$ L/D
Orta sızıntı d_{eq} = 0,15 D	$1,2 \times 10^{-7}$ L/D
Büyük sızıntı d_{eq} = 0,36 D	5×10^{-8} L/D
Yırtık	$2,2 \times 10^{-8}$ L/D

L = Borunun uzunluğu (mm) (en az 10m)
D = Borunun iç çapı (mm)

Çizelge 14. Bir borudan sızıntı frekansları (Delvosalle vd., 2004ç)

	Küçük sızıntı (Boru çapının % 10unda sızıntı)	Sızıntı (Boru çapının % 22sinde sızıntı)	Büyük sızıntı (Boru çapının % 44ünde sızıntı)	Tüm borunun parçalanması
Boru çapı < 75 mm	$1,18 \times 10^{-5}$ /yıl	$7,93 \times 10^{-6}$ /yıl	$3,3 \times 10^{-6}$ /yıl	$1,22 \times 10^{-6}$ /yıl
75 mm ≤ Boru çapı ≤ 150 mm	$2,5 \times 10^{-6}$ /yıl	$1,11 \times 10^{-6}$ /yıl	$4,62 \times 10^{-7}$ /yıl	$3,5 \times 10^{-7}$ /yıl
Boru çapı > 150 mm	$1,75 \times 10^{-6}$ /yıl	$6,5 \times 10^{-7}$ /yıl	$2,7 \times 10^{-7}$ /yıl	$1,18 \times 10^{-7}$ /yıl

v. Atmosferik depolama tanklarında (küçük-orta tank) meydana gelen kritik olaylar ile ilgili veri bankalarında bulunan değerler

Çizelge 15. Atmosferik tanklarda parça arıza kritik olay değerleri (Anonymous, 2012)

Serbest kalma türü	Alevlenmeyen içerik	Alevlenen içerik
Felaket	8×10^{-6} /yıl	$1{,}6 \times 10^{-5}$ /yıl
Büyük	5×10^{-5} /yıl	1×10^{-4} /yıl
Küçük	5×10^{-4} /yıl	1×10^{-3} /yıl

G1: Bütün stokun birden serbest kalması,

G2: Stokun tamamının sürekli bir şekilde 10 dk içinde sabit hızla serbest bırakılması,

G3: Etkili çapı 10 mm olan bir delikten sürekli serbest bırakma

a. Direkt atmosfere

b. Birinci kaptan etkilenmeyen ikinci kaba veya dış kabuğa

Çizelge 16. Atmosferik tanklar için sınırlama kaybı frekansları (Anonymous, 2005)

Bölüm	G.1a	G.1b	G.2a	G.2b	G.3a	G.3b
Tek muhafazalı tank	$5x10^{-6}$/yıl	-	$5x10^{-6}$/yıl	-	$1x10^{-4}$/yıl	-
Koruyucu dış kabuklu tank	$5x10^{-7}$/yıl	$5x10^{-7}$/yıl	$5x10^{-7}$/yıl	$5x10^{-7}$/yıl	-	$1x10^{-4}$/yıl
Çift muhafazalı tank	$1{,}25x10^{-8}$/yıl	$5x10^{-8}$/yıl	$1{,}25x10^{-8}$ /yıl	$5x10^{-8}$/yıl	-	$1x10^{-4}$/yıl
Tam muhafazalı tank	$1x10^{-8}$/yıl	-	-	-	-	-
Membran tank	*	-	-	-	-	-
Yeraltı tankı	-	$1x10^{-8}$/yıl	-	-	-	-
Basamaklı tank	$1x10^{-8}$/yıl	-	-	-	-	-

* Bir membran tankının arıza frekansı, ikincil konteynırın mukavemeti ile belirlenir ve duruma göre diğer atmosferik tanklardaki verileri kullanarak tahmin edilebilir.

Çizelge 17. Tek muhafazalı atmosferik depolama tankları için senaryolar (Anonymous, 2009)

	Sıklık
İçindekilerin tamamının anında serbest kalması	5×10^{-6} /yıl
İçindekilerin tamamının sürekli ve sabit akışla 10 dk içinde serbest kalması	5×10^{-6} /yıl
Etkili çapın 10 mm'lik bir delikten sürekli serbest kalması	1×10^{-4} /yıl

Çizelge 18. Koruyucu dış kabuklu atmosferik depolama tankları için senaryolar (Anonymous, 2009)

	Sıklık
Birincil kabın ve dış kabuğun ani arızalanması; içindekilerin tamamının serbest kalması	5×10^{-7} /yıl
Birincil kabın ve dış kabuğun ani arızalanması; içindekilerin tamamının bozulmamış dış kabuğa serbest kalması	5×10^{-7} /yıl
Birincil kabın ve dış kabuğun ani arızalanması; 10 dk içinde her şeyin sürekli ve sabit bir akış ile serbest kalması	5×10^{-7} /yıl
Birincil kabın arızalanması; her şeyin 10 dk içinde kesintisiz ve sabit bir şekilde sağlam dış kabuğa salınması	5×10^{-7} /yıl
Birincil kabın arızalanması; sağlam dış kabuğa etkili çapı 10mm olan bir delikten sürekli serbest kalma	1×10^{-4} /yıl

Çizelge 19. Çift muhafazalı atmosferik depolama tankları için senaryolar (Anonymous, 2009)

	Sıklık
Birincil kabın ve dış kabuğun ani arızalanması; içindekilerin tamamının serbest kalması	$1{,}25 \times 10^{-8}$ /yıl
Birincil kabın ve dış kabuğun ani arızalanması; içindekilerin tamamının bozulmamış dış kabuğa serbest kalması	5×10^{-8} /yıl
Birincil kabın ve dış kabuğun ani arızalanması; 10 dk içinde her şeyin sürekli ve sabit bir akış ile serbest kalması	$1{,}25 \times 10^{-8}$ /yıl
Birincil kabın arızalanması; her şeyin 10 dk içinde kesintisiz ve sabit bir şekilde sağlam dış kabuğa salınması	5×10^{-8} /yıl
Birincil kabın arızalanması; sağlam dış kabuğa etkili çapı 10mm olan bir delikten sürekli serbest kalma	1×10^{-4} /yıl

Çizelge 20. Tamamen muhafazalı atmosferik depolama tankları için senaryolar (Anonymous, 2009)

	Sıklık
Birincil ve ikincil kabın ani arızalanması	1×10^{-8} /yıl

Çizelge 21. Membran tanklar için senaryolar (Anonymous, 2009)

	Sıklık
Birincil ve ikincil kabın ani arızalanması	1 x 10^{-8} /yıl

Çizelge 22. Yeraltı atmosferik depolama tankları için senaryolar (Anonymous, 2009)

	Sıklık
Tank ve zemin kapağının ani arızalanması; tankın yüzey alanı boyutunda bir sıvı havuzundan buharlaşma	1 x 10^{-8} /yıl

Çizelge 23. Basamaklı atmosferik depolama tankları için senaryolar (Anonymous, 2009)

	Sıklık
Depo ve zemin kapağının ani bozulması; tüm içeriğin serbest kalması	1 x 10^{-8} /yıl

Atmosferik depolama için senaryoları içeren parçalar;

- Alet boruları
- İlk kenara kadar bağlantı boruları
- Buhar ısıtması, yağmur suyu drenajı gibi bağlantılar
- Basınç/vakum valfı

Atmosferik depolama için senaryoları içermeyen parçalar;

- Boru sistemi
- Kriyojenik (dondurucu) depolama için soğutma tesisatı (Anonymous, 2009)

Çizelge 24. Atmosferik depolama tankı için literatürde verilen değerler (Debray vd., 2004a)

Sürekli serbest kalma (/yıl)					
Literatürde değer aralığı	**10 mm çap**	**35 mm çap**	**50 mm çap/ 10 dk**	**100 mm çap**	**Sürekli serbest kalma**
Tek muhafazalı tank	10^{-4}- 5,1x10^{-5}	1,8x10^{-5}	5x10^{-6}	1,2x10^{-5}	5x10^{-6}
Bir koruyucu kabuklu tank	1x10^{-5}-5x10^{-6}	2x10^{-6}	5x10^{-7}- 2,5x10^{-7}	1x10^{-6}	5x10^{-7}- 1x10^{-7}
Çift muhafazalı tank	1x10^{-5}- 1,25x10^{-7}	5x10^{-8}- 2,5x10^{-7}	1,25x10^{-8}	2,5x10^{-8}	2,5x10^{-8}- 1,25x10^{-8}
Tam muhafazalı tank	1x10^{-5}-1x10^{-7}	4x10^{-8}	2,5x10^{-7}	2x10^{-8}	1x10^{-8}
Membran tank					
Yer altı tankı	1x10^{-7}	4x10^{-8}	-	2x10^{-8}	1x10^{-8}
Basamaklı tank	1x10^{-7}	4x10^{-8}	-	2x10^{-8}	1x10^{-8}

Çizelge 24. Atmosferik depolama tankı için literatürde verilen değerler (Debray vd., 2004a) (devam)

Sızıntı (/yıl)				
Literatürde değer aralığı	**Küçük sızıntı (nominal çapın %10u kadar etkili çap)**	**Orta sızıntı (nominal çapın %22si kadar etkili çap)**	**Büyük sızıntı (nominal çapın %44ü kadar etkili çap)**	**Tam delik yırtılması**
Nominal çap< 75mm	$5x10^{-6}$-$1,85x10^{-5}$	$7,93x10^{-6}$	$3,3x10^{-6}$	$1x10^{-6}$-$1,45x10^{-6}$
75 mm ≤nominal çap≤150 mm	$2x10^{-6}$-$3x10^{-6}$	$1,11x10^{-6}$	$4,62x10^{-7}$	$2x10^{-7}$-$5x10^{-7}$
Nominal çap>150mm	$5x10^{-7}$-$3x10^{-6}$	$6,5x10^{-7}$	$2,7x10^{-7}$	$1x10^{-7}$-$5x10^{-7}$

Çizelge 25. Atmosferik tanklar için arıza frekansı (Anonymous, 2009a)

Arıza tipi	**Arıza frekansları (/tank yıl)**					
	Depolama tankları					**Proses kurulumları ve diğerleri**
	Tip 1 tank	**Tip 2 tank**	**Tip 3 tank**	**Tip 4 tank**	**Yeraltı veya gömülü**	
Küçük sızıntı $0.1<d\leq10$ mm d_{eq}=10mm	$2,4 \times 10^{-3}$				-	$2,4 \times 10^{-2}$
Orta sızıntı $10<d\leq50$ mm d_{eq}=25mm	$2,2 \times 10^{-4}$				-	$2,2 \times 10^{-3}$
Büyük sızıntı $50<d\leq D_{max}$ $d_{eq}=D_{L,max}$	$2,2 \times 10^{-4}$				-	$2,2 \times 10^{-3}$
10 dk'da tamamen boşalma	5×10^{-7}	5×10^{-7}	$1,2 \times 10^{-8}$	1×10^{-8}	1×10^{-8}	5×10^{-5}
Yırtık	5×10^{-7}	5×10^{-7}	$1,2 \times 10^{-8}$	1×10^{-8}	1×10^{-8}	5×10^{-5}

P1 sıvılar; Fazlasıyla ve oldukça alevlenebilir sıvılar, 21^oC altında ki parlama noktalı sıvılar

P2 sıvılar; Alevlenebilir sıvılar, parlama noktası $21^oC \leq T \leq 55^oC$

P3 sıvılar; Alevlenebilir sıvılar, parlama noktası $55^oC < T \leq 100^oC$

P4 sıvılar; Alevlenebilir sıvılar, parlama noktası $100^oC < T \leq 250^oC$ (Anonymous, 2009a)

Çizelge 26. Atmosferik tanklarda tank yangını için arıza frekansı (Anonymous, 2009a)

Senaryo	**Tank tipi**	**Arıza frekansları (/tank yıl)**		
		P1 sıvısı	**P2 sıvısı**	**P3 ve P4 sıvıları**
Tank yangını	Dış yüzer tavanlı tank	$2,5\ 10^{-4}$	$7,6\ 10^{-5}$	$2,3\ 10^{-5}$
	Nitrojen örtüsüz sabit tavanlı tank	$6,9\ 10^{-4}$	$2,1\ 10^{-4}$	$6,2\ 10^{-5}$
	Nitrojen örtülü sabit tavanlı tank	$2,5\ 10^{-4}$	$7,6\ 10^{-5}$	$2,3\ 10^{-5}$

Çizelge 27. Atmosferik depolama tankı sızıntı frekansları (Anonymous, 2010)

Tank tipi	Tahliye tipi	Sızıntı frekansı
Yüzer çatı	Çatıdan sıvı dökülmesi	$1,6 \times 10^{-3}$ /yıl
	Gömme çatı	$1,1 \times 10^{-3}$ /yıl
Sabit/ yüzer çatı	Tankın dışına sıvı dökülmesi	$2,8 \times 10^{-3}$ /yıl
	Tankın yırtılması	$3,0 \times 10^{-6}$ /yıl

Çizelge 28. Atmosferik depolama tankı yangın frekansları (Anonymous, 2010)

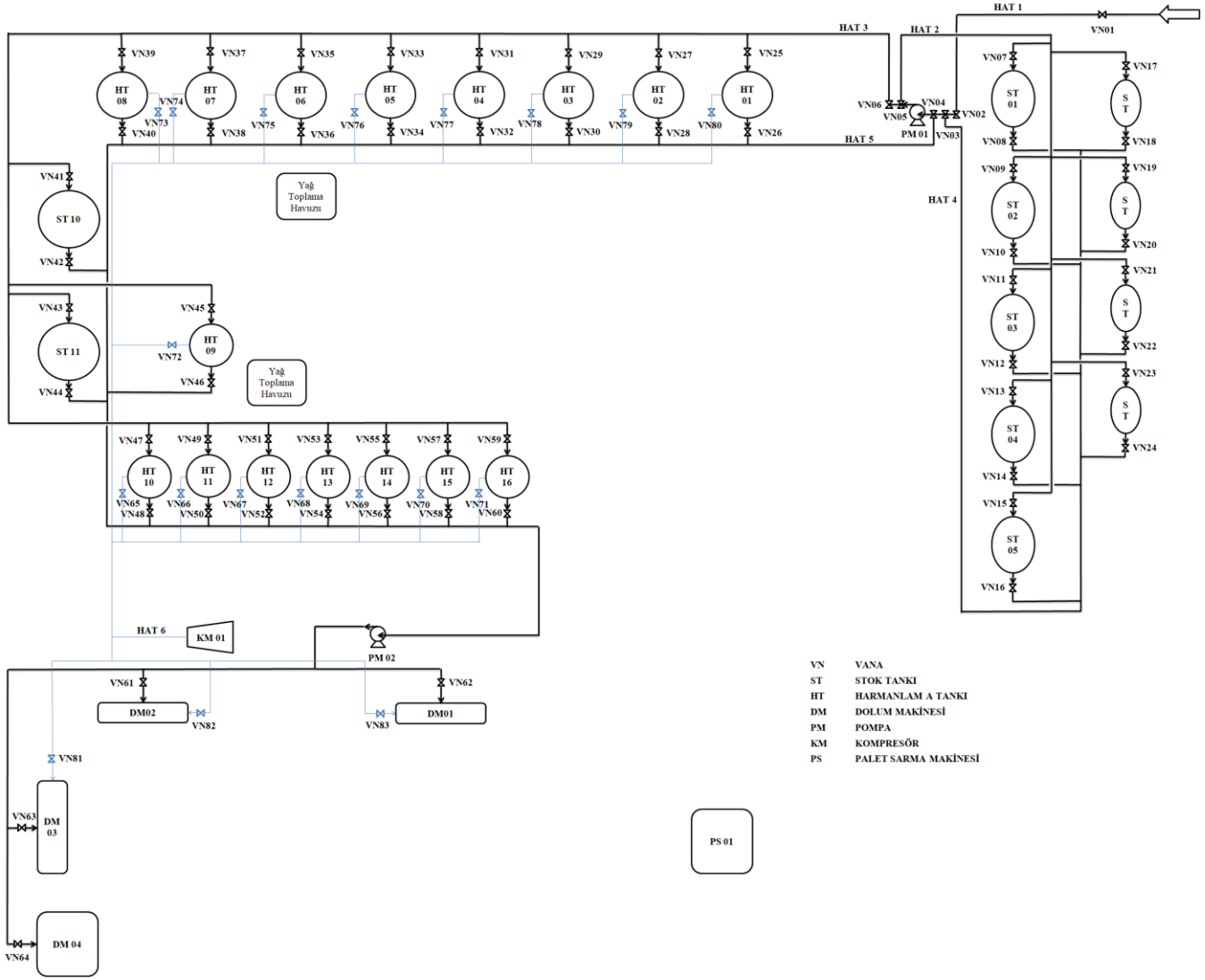
Yangın tipi	Yüzer çatılı tank	Sabit çatılı tank	Sabit artı dâhili yüzer çatılı tank
Çember conta yangını	$1,6 \times 10^{-3}$ /yıl		$1,6 \times 10^{-3}$ /yıl
Çatıda tüm yüzeyde yangın	$1,2 \times 10^{-4}$ /yıl		
İçten patlama ve tüm yüzey yangını		$9,0 \times 10^{-5}$ /yıl	$9,0 \times 10^{-5}$ /yıl
Yangınsız içten patlama		$2,5 \times 10^{-5}$ /yıl	$2,5 \times 10^{-5}$ /yıl
Havalandırma yangını		$9,0 \times 10^{-5}$ /yıl	
Küçük set yangını	$9,0 \times 10^{-5}$ /yıl	$9,0 \times 10^{-5}$ /yıl	$9,0 \times 10^{-5}$ /yıl
Büyük set yangını (tüm set alanı)	$6,0 \times 10^{-5}$ /yıl	$6,0 \times 10^{-5}$ /yıl	$6,0 \times 10^{-5}$ /yıl

vi. Paketleme ünitesinde meydana gelen kritik olaylar ile ilgili veri bankalarında bulunan değerler

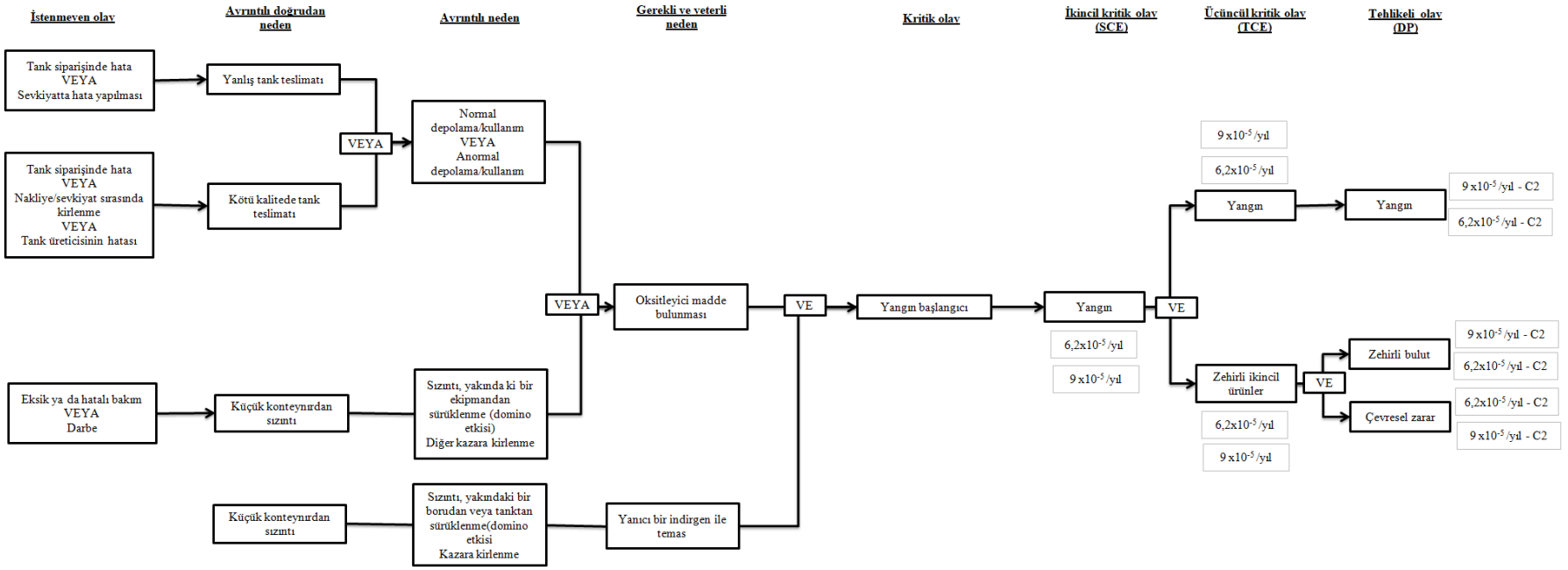
Çizelge 29. Paketleme ünitesi depolama ve ambalajlama için arıza değerleri (Anonymous, 2009a)

Arıza tipi	Arıza frekansı (/yıl)	
	Paketleme ünitesi depolama	Paketleme ünitesi ambalajlama
Bir paketleme ünitesi başarısızlığı	$2,5 \times 10^{-5}$ /yıl	$2,5 \times 10^{-5}$ /yıl
Bir üzerindeki tüm paketleme ünitesi başarısızlığı	-	$2,5 \times 10^{-6}$ /yıl

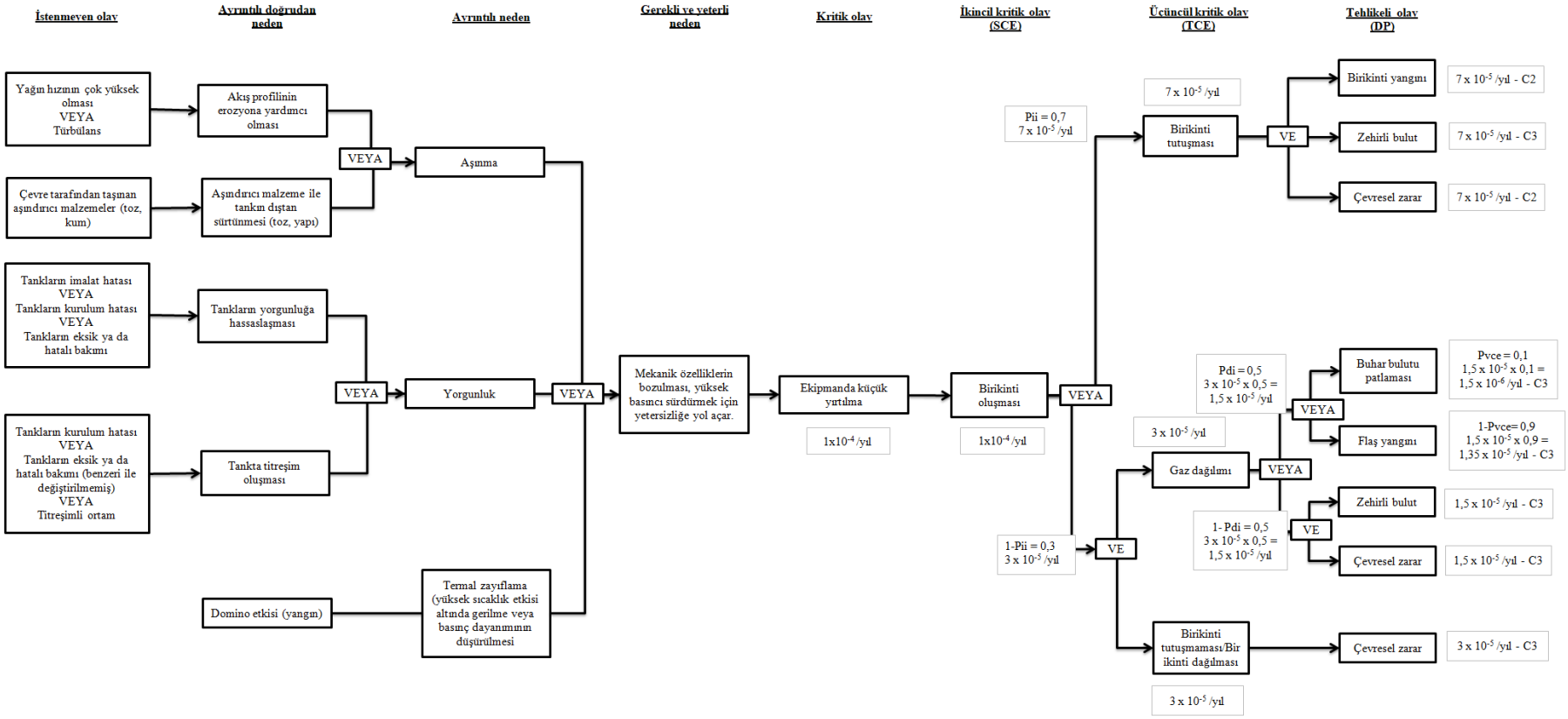
EK 2 Tesisin yerleşim planı



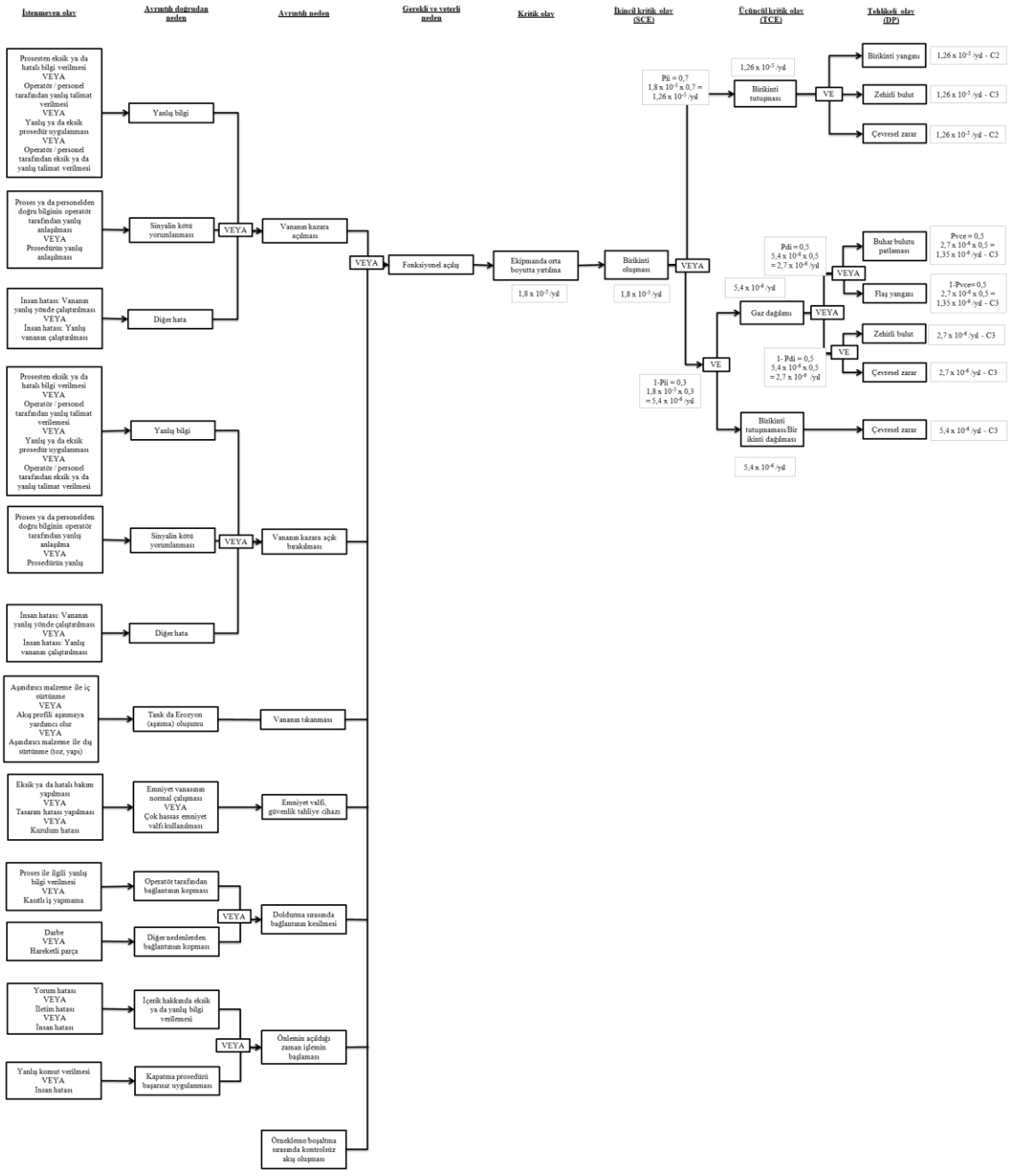
EK 3 Stok tankı EQ6 ekipmanı CE5 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması



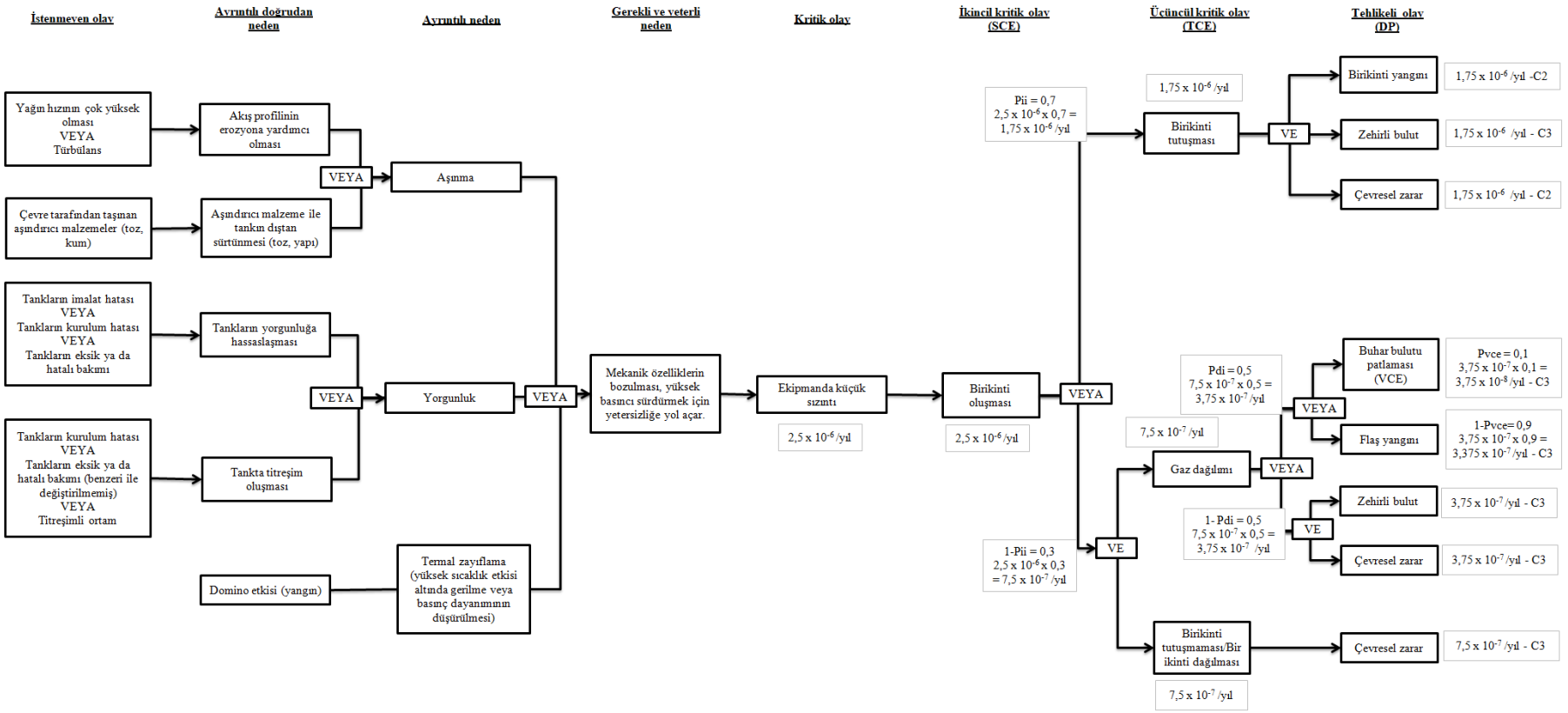
EK 4 Stok tankı EQ6 ekipmanı CE7 (küçük) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması



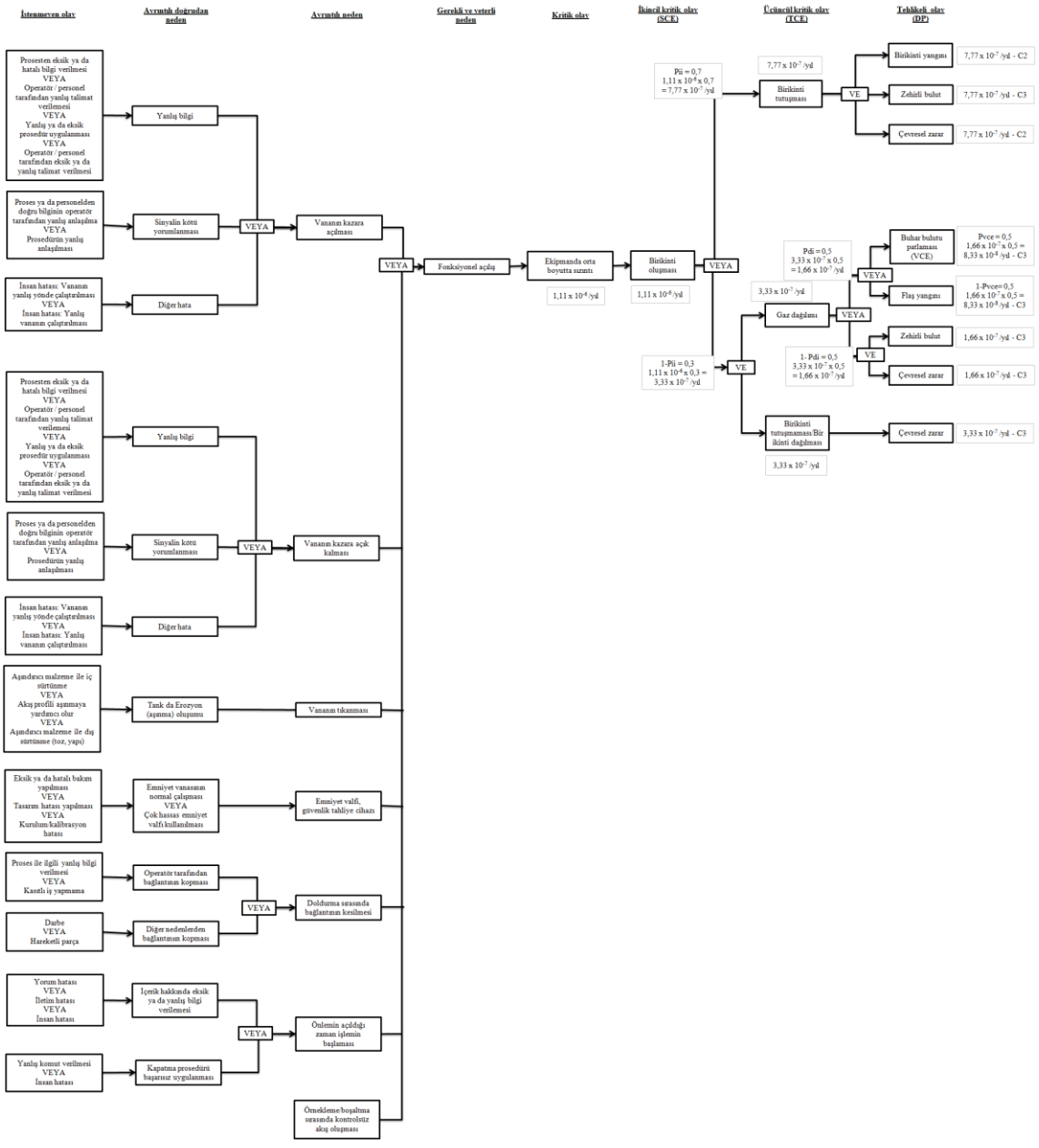
EK 5 Stok tankı EQ6 ekipmanı CE7 (orta) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması



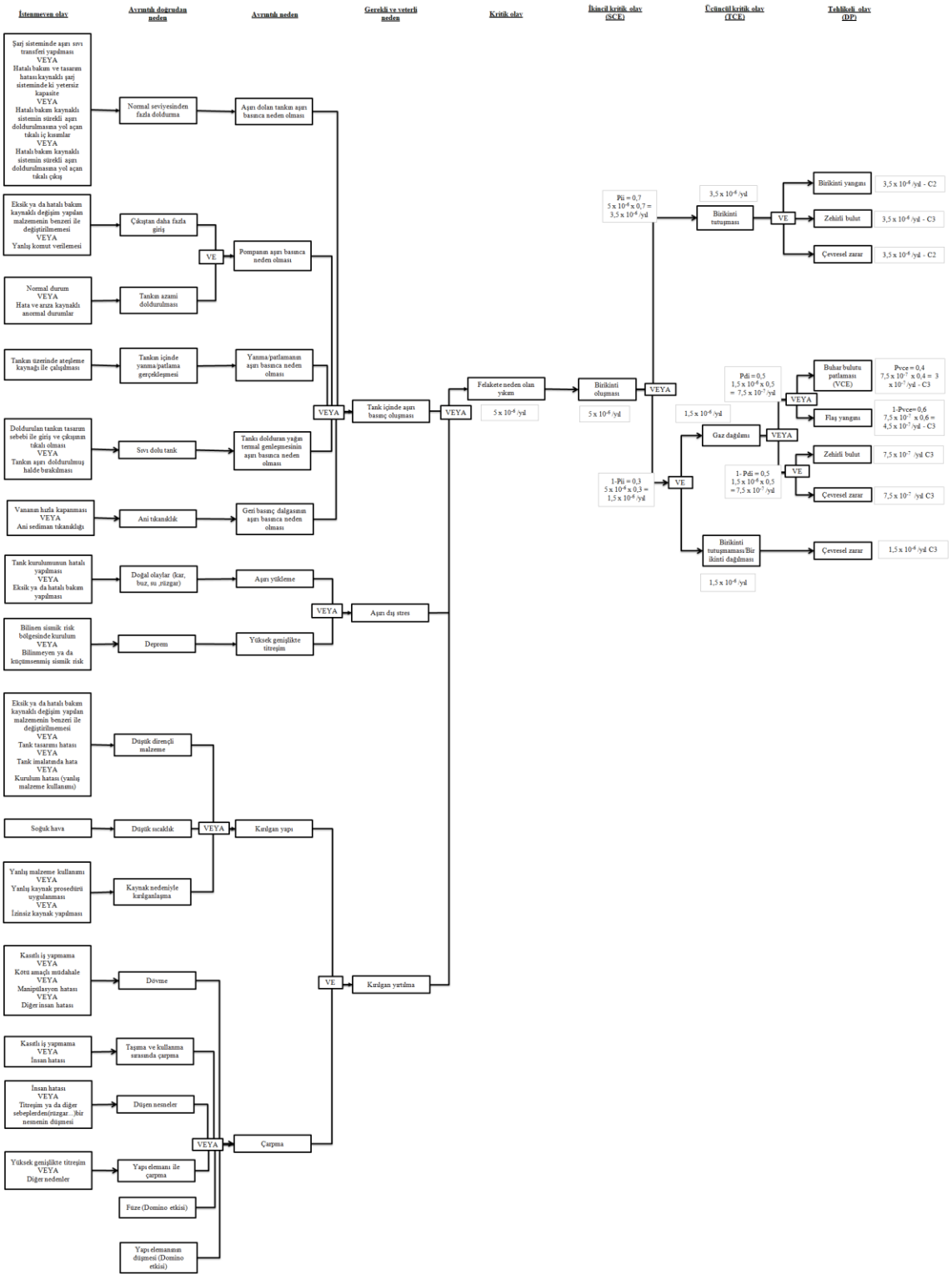
EK 6 Stok tankı EQ6 ekipmanı CE8 (küçük) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması



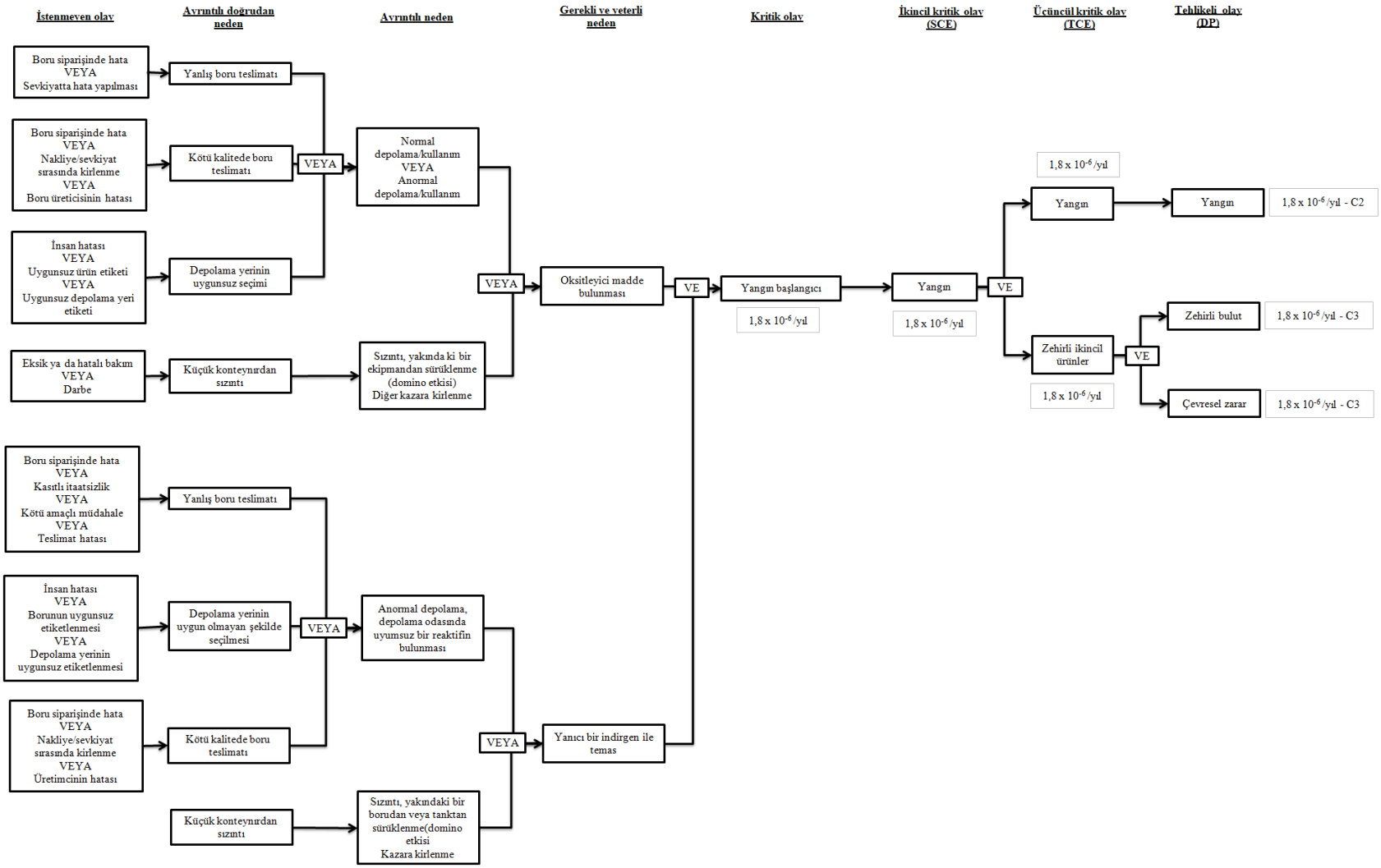
EK 7 Stok tankı EQ6 ekipmanı CE8 (orta) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması



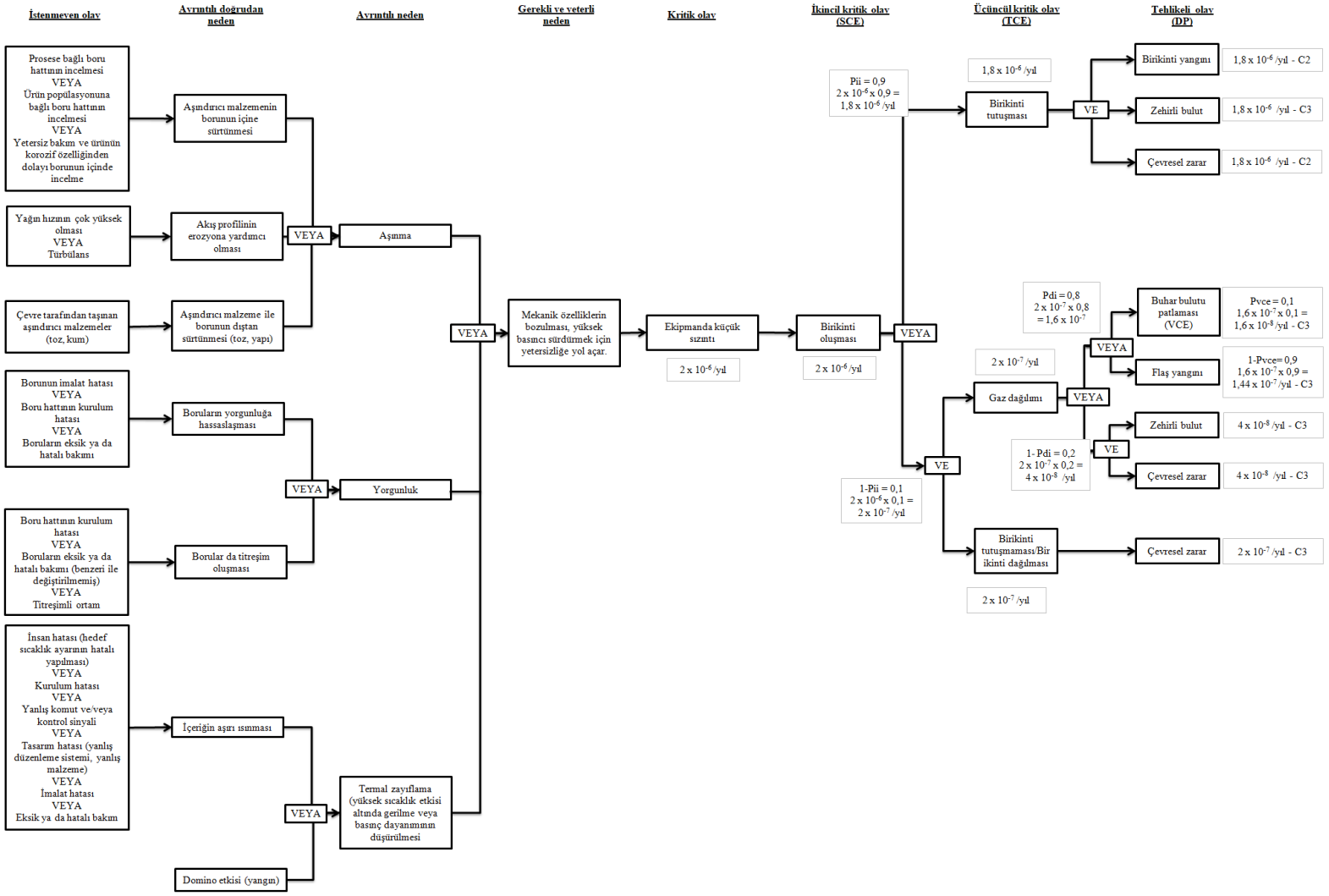
EK 8 Stok tankı EQ6 ekipmanı CE10 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması



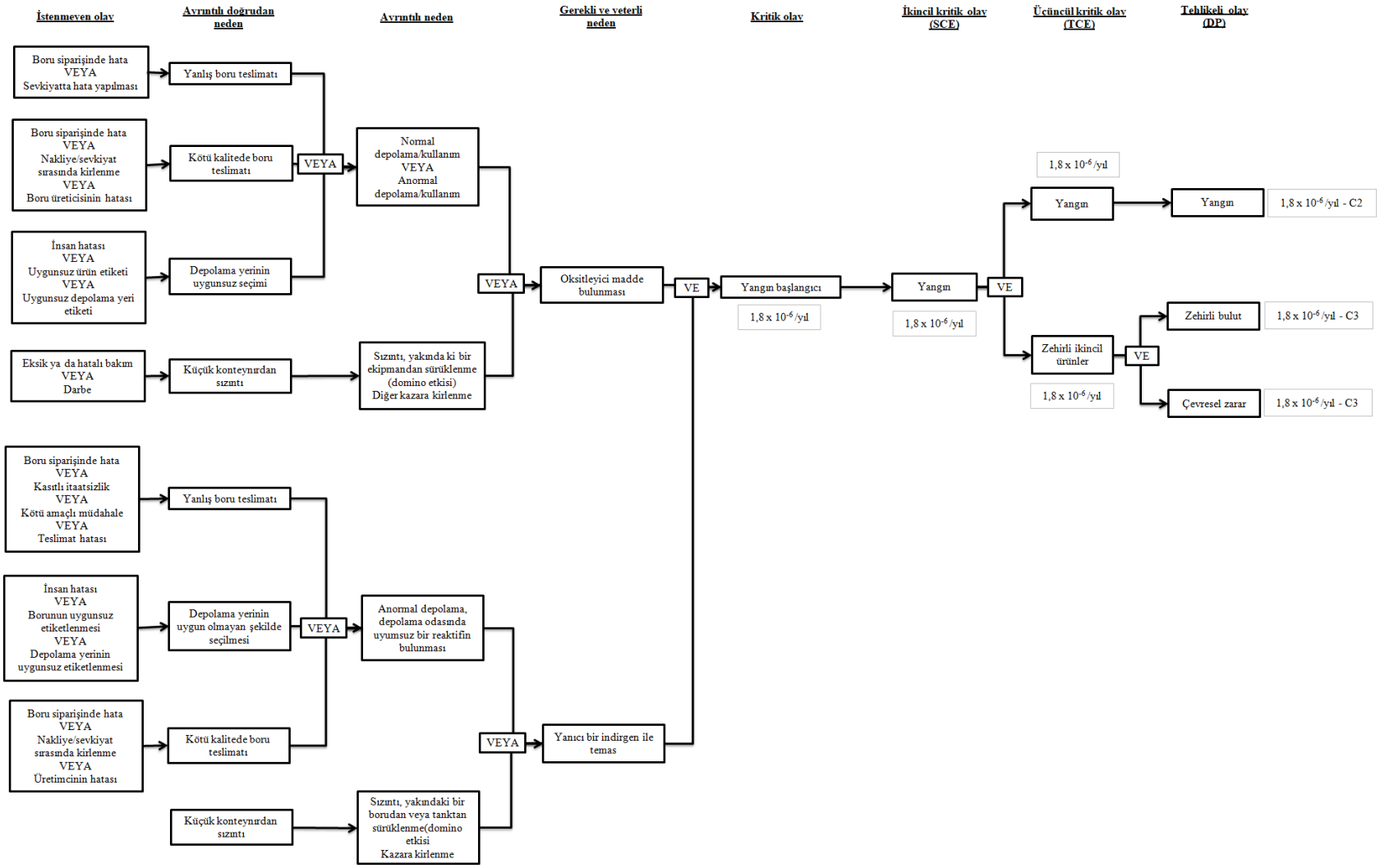
EK 9 Boru hattı EQ10 ekipmanı harmanlama tankı çıkışı CE5 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması



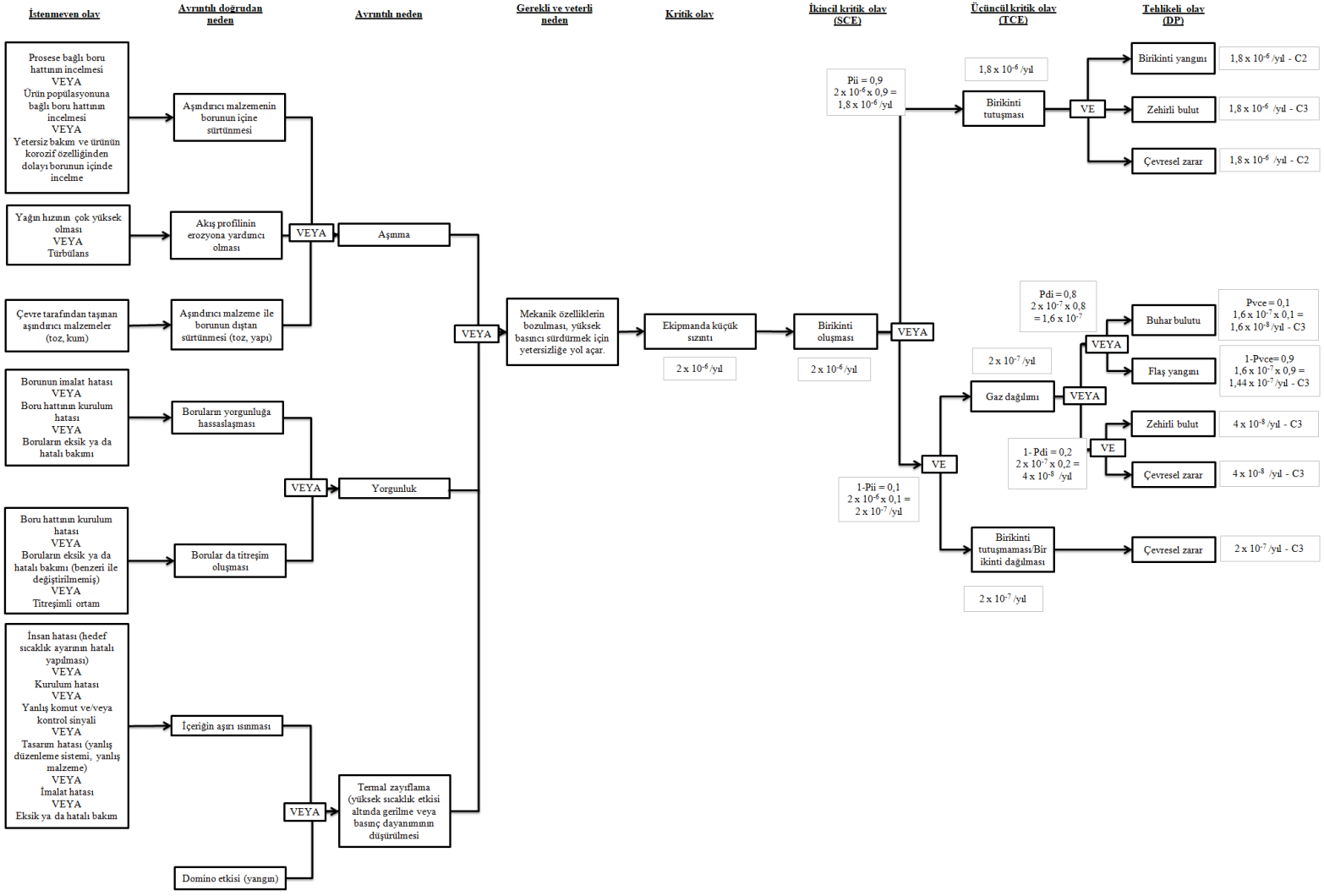
EK 10 Boru hattı EQ10 ekipmanı harmanlama tankı çıkışı CE8 (küçük) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması



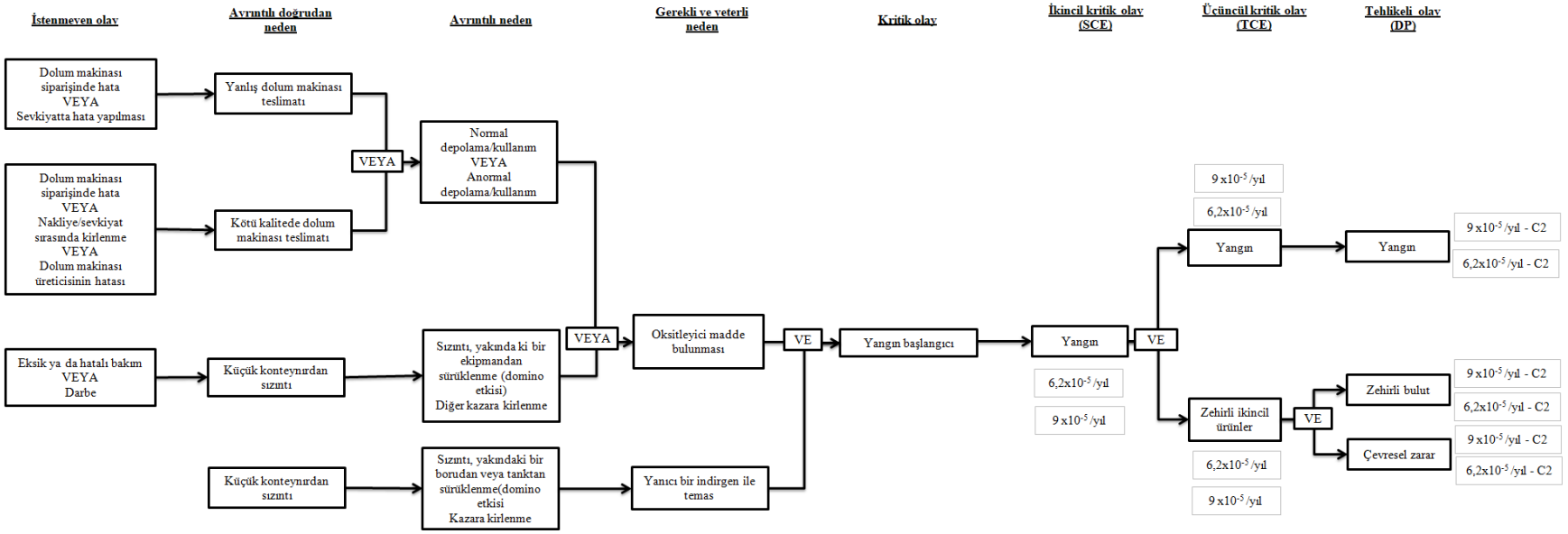
EK 11 Boru hattı EQ10 ekipmanı stok tankı çıkışı CE5 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması



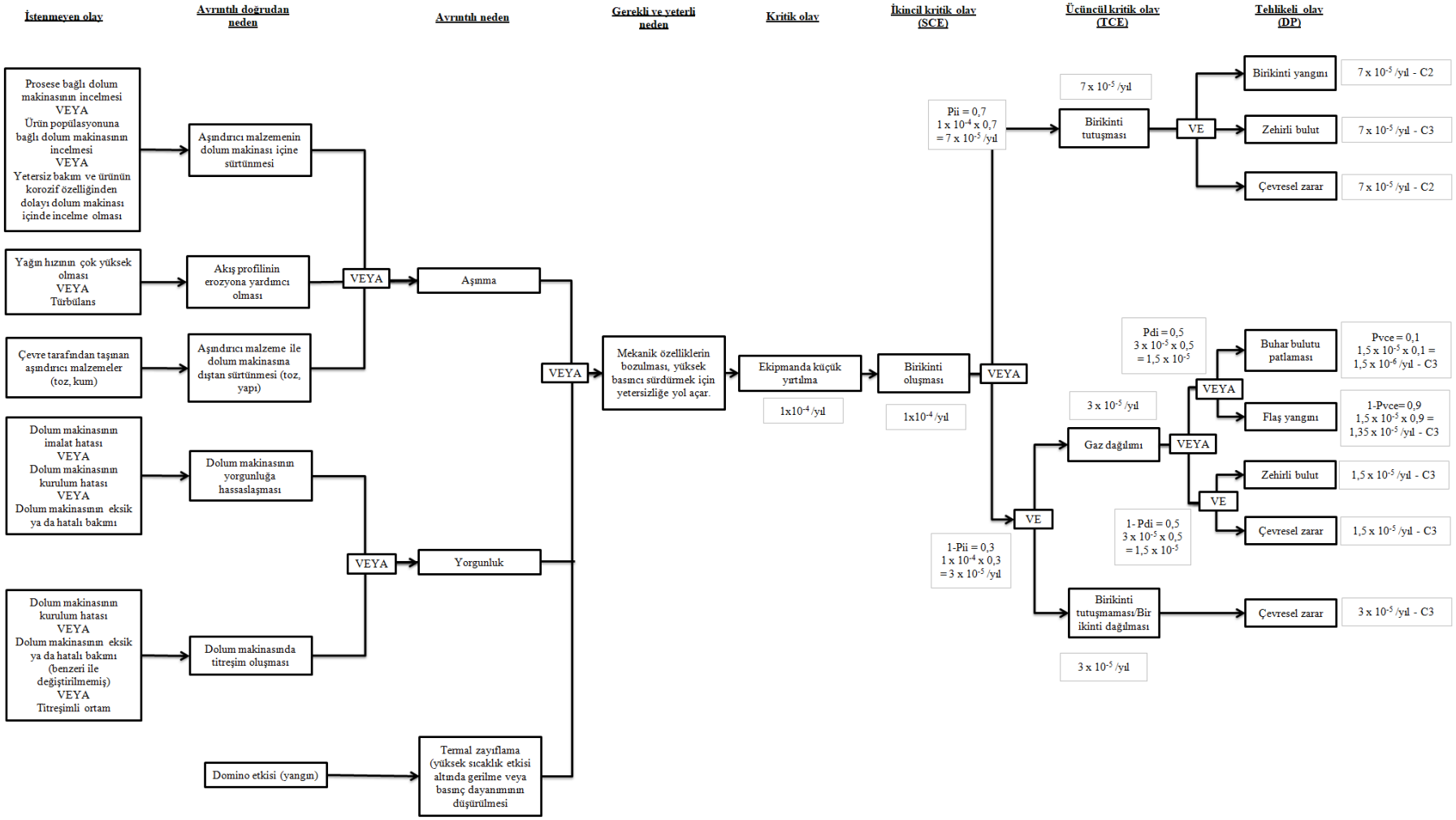
EK 12 Boru hattı EQ10 ekipmanı stok tankı çıkışı CE8 (küçük) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması



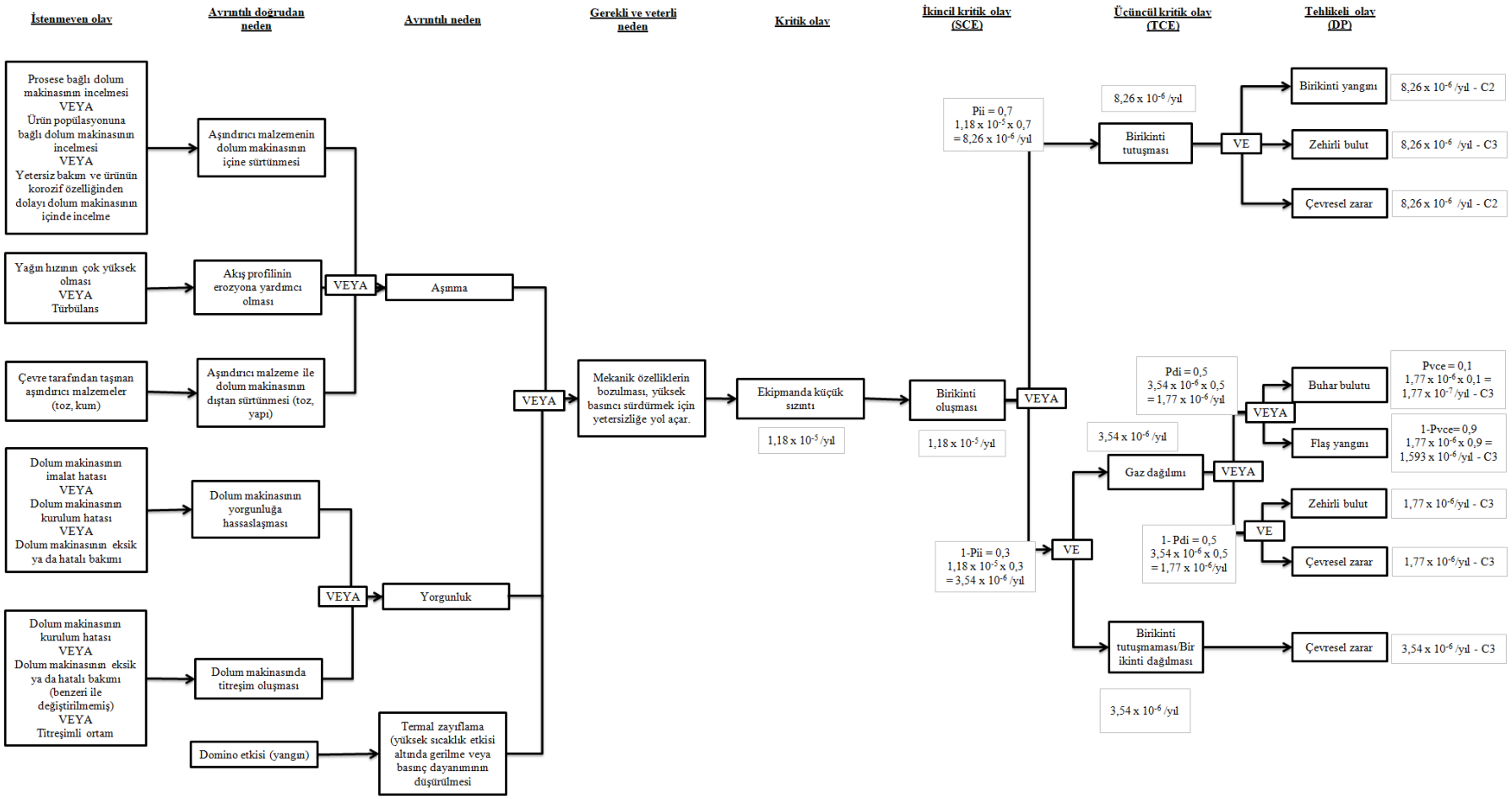
EK 13 Dolum makinesi EQ6 ekipmanı yağ tankı CE5 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması



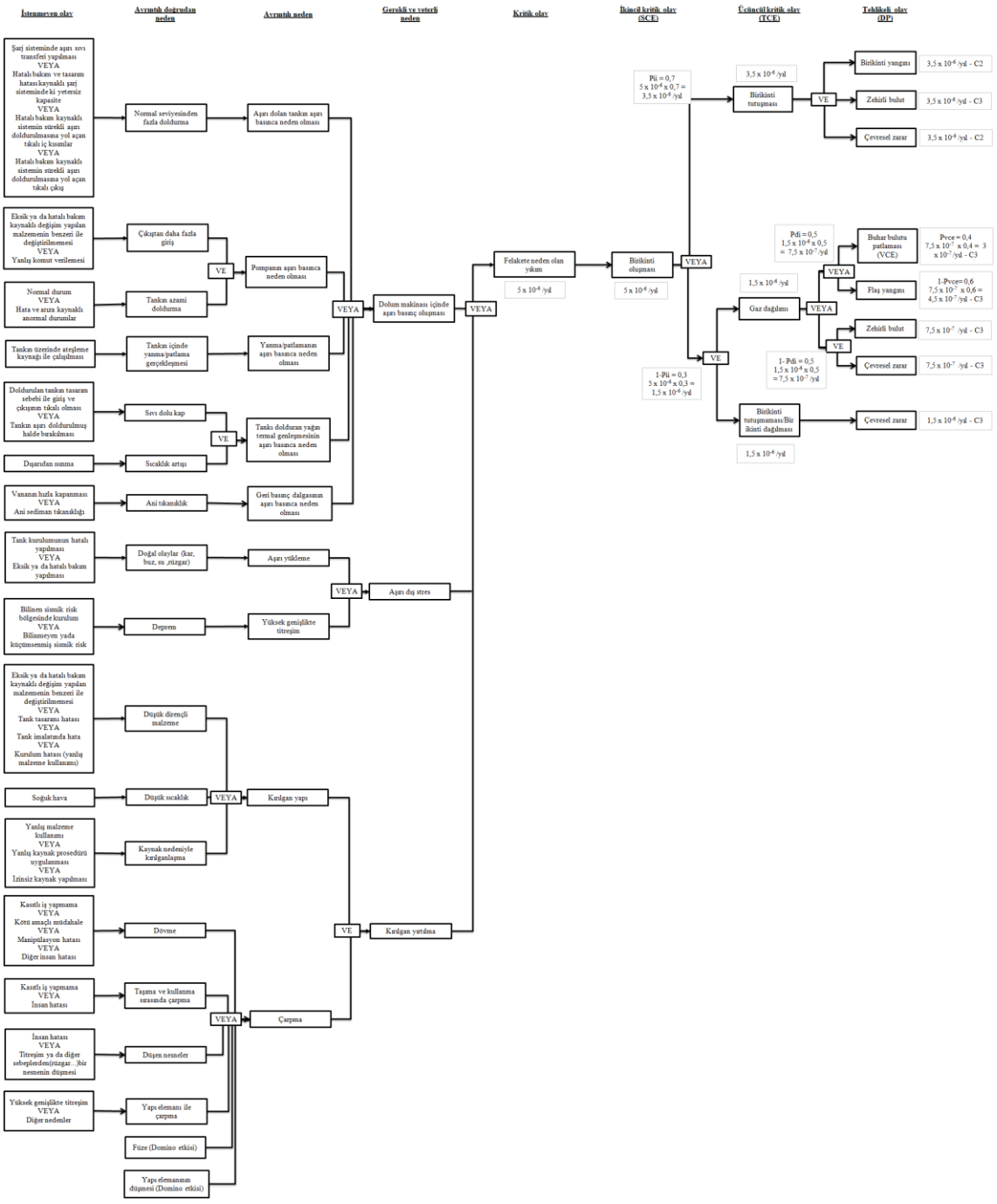
EK 14 Dolum makinesi EQ6 ekipmanı yağ tankı CE7 (küçük) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması



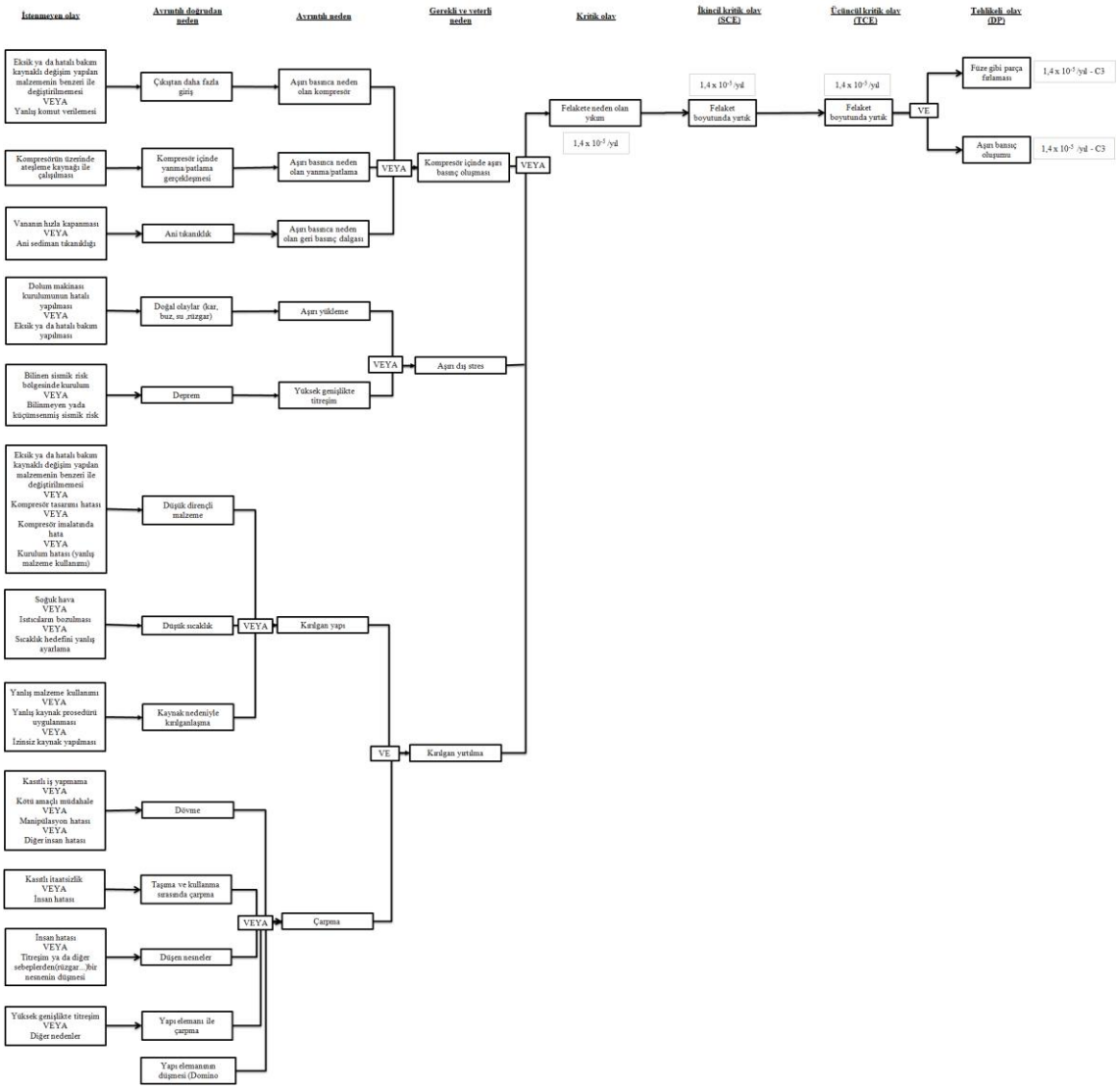
EK 15 Dolum makinesi EQ6 ekipmanı yağ tankı CE8 (küçük) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması



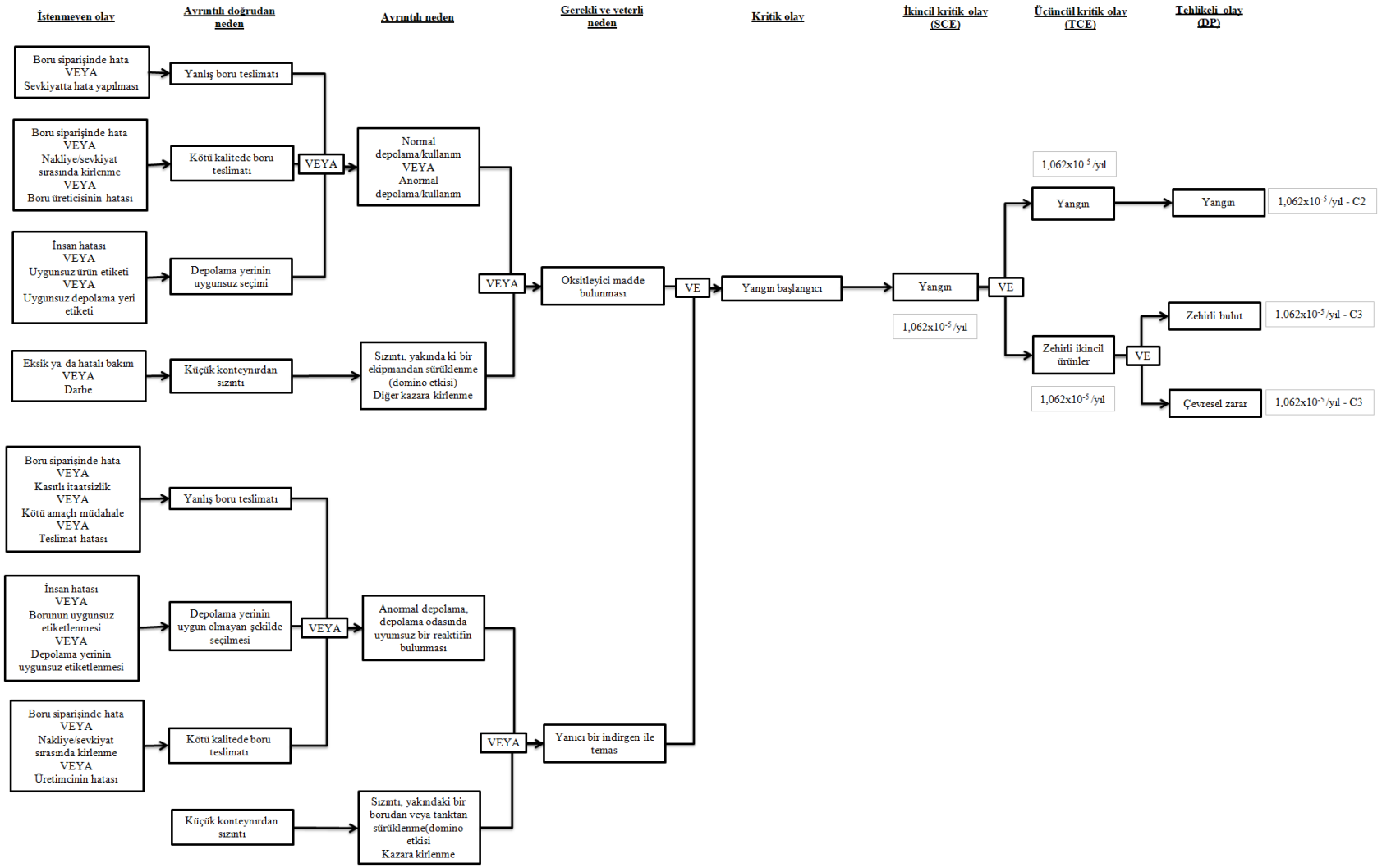
EK 16 Dolum makinesi EQ6 ekipmanı yağ tankı CE10 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması



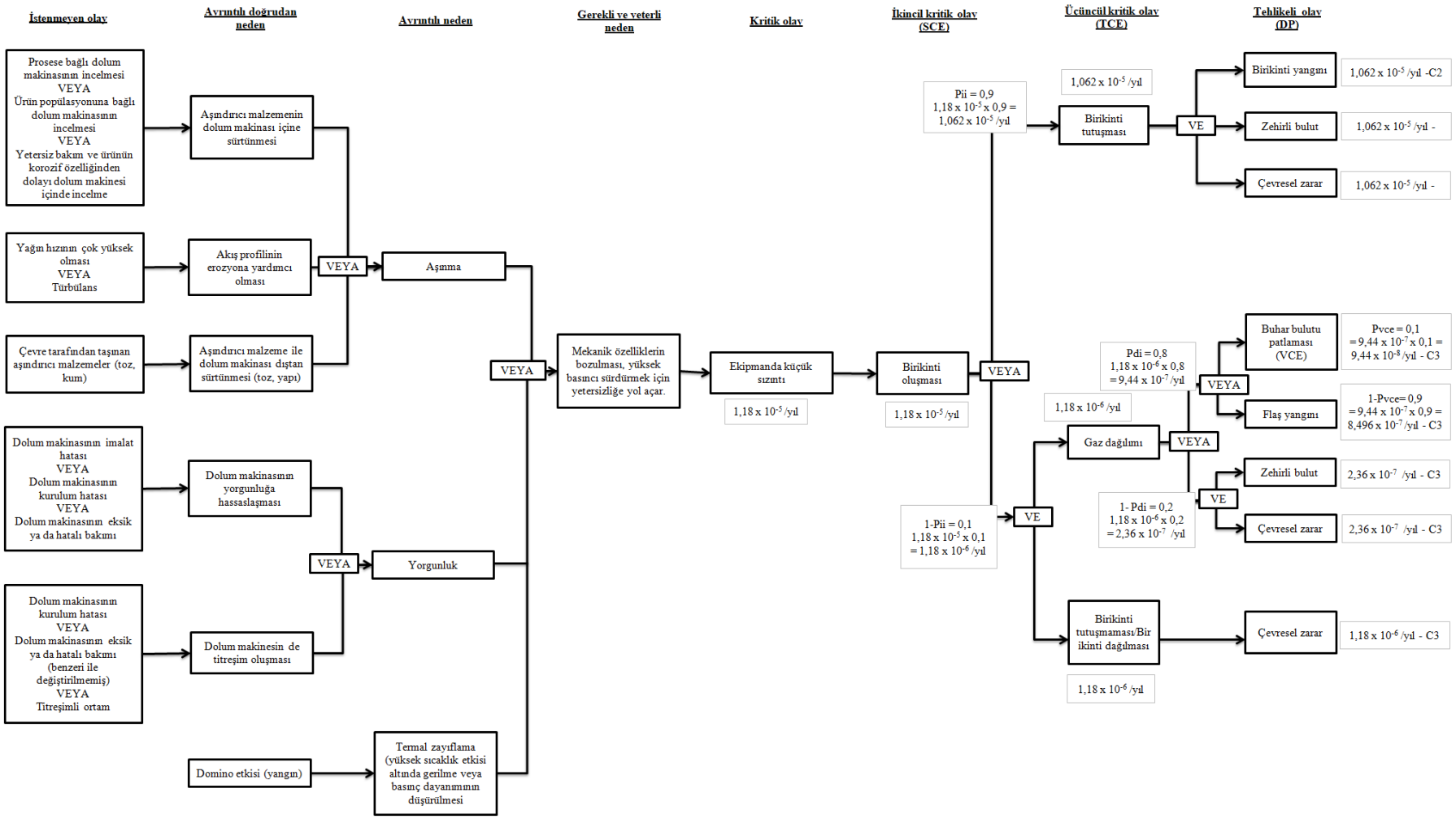
EK 17 Dolum makinesi EQ8 ekipmanı hava nozulu CE10 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması



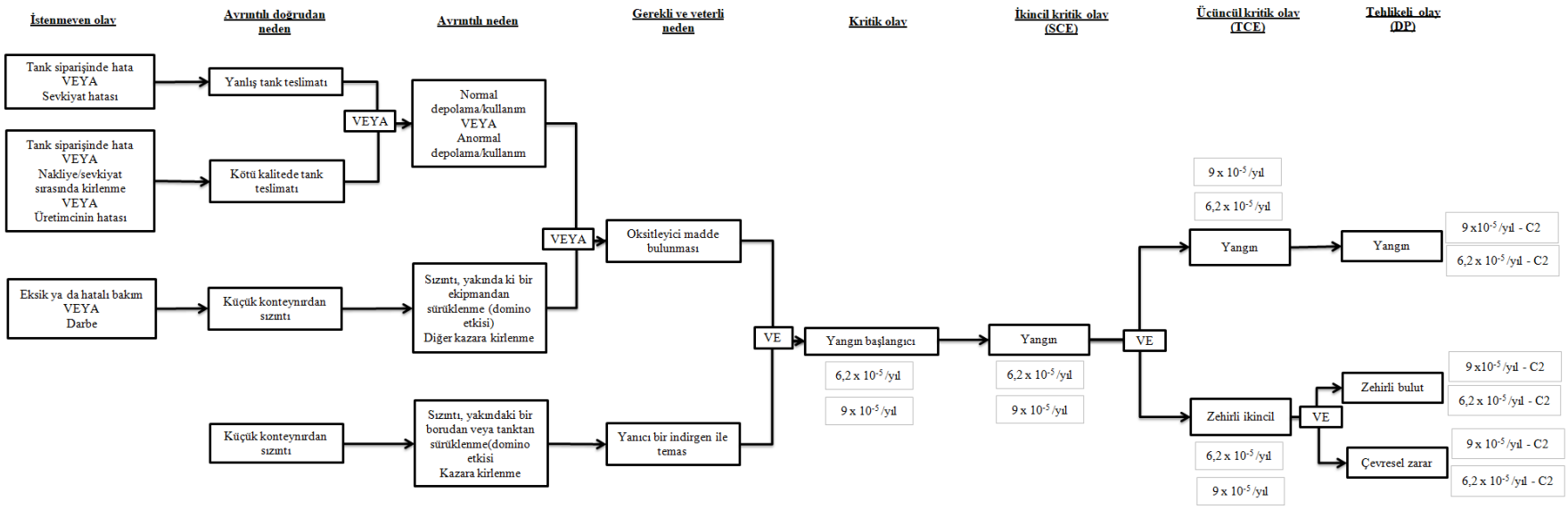
EK 18 Dolum makinesi EQ10 ekipmanı yağ dolum nozulu CE5 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması



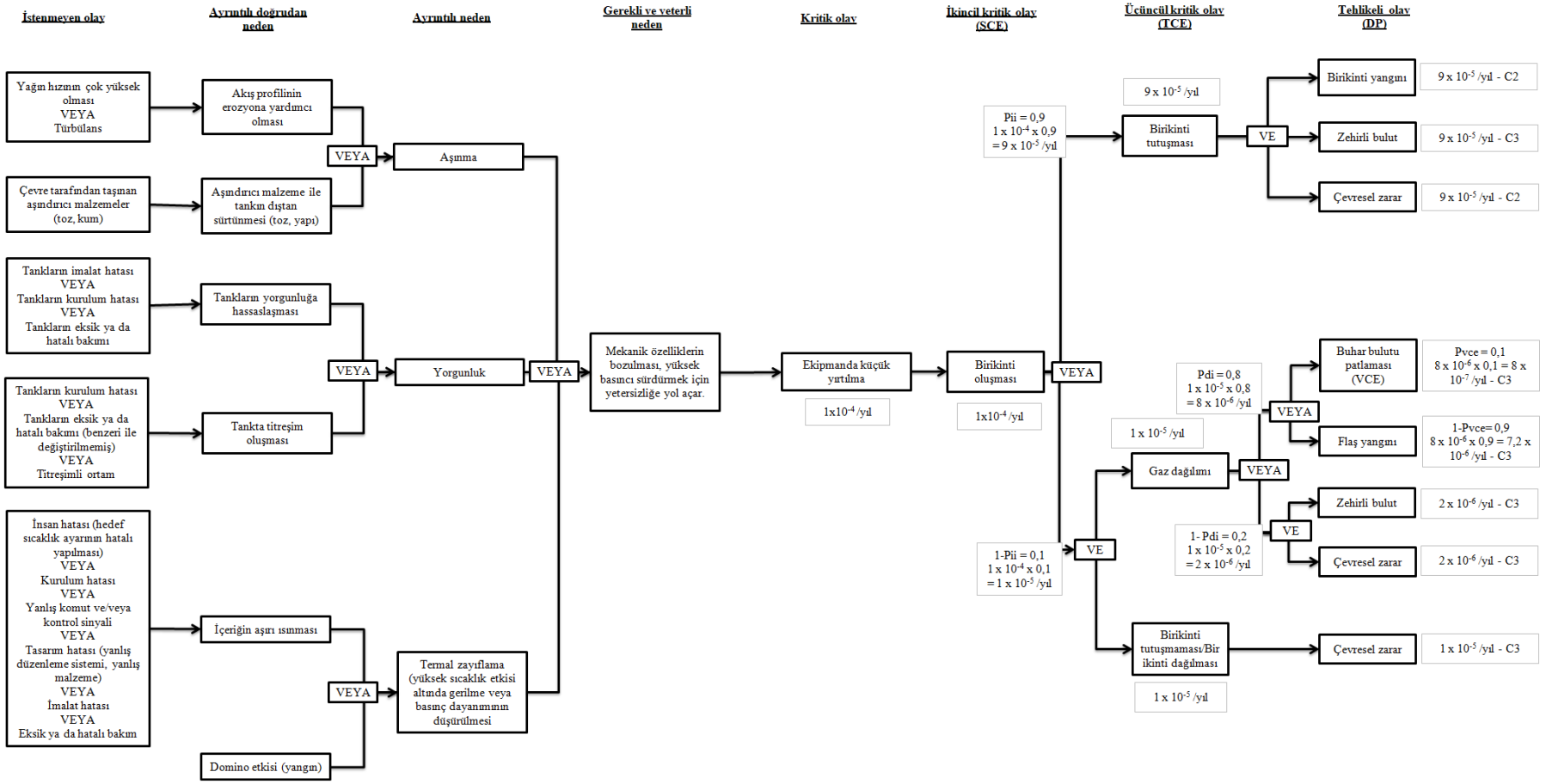
EK 19 Dolum makinesi EQ10 ekipmanı yağ dolum nozulu CE8 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması



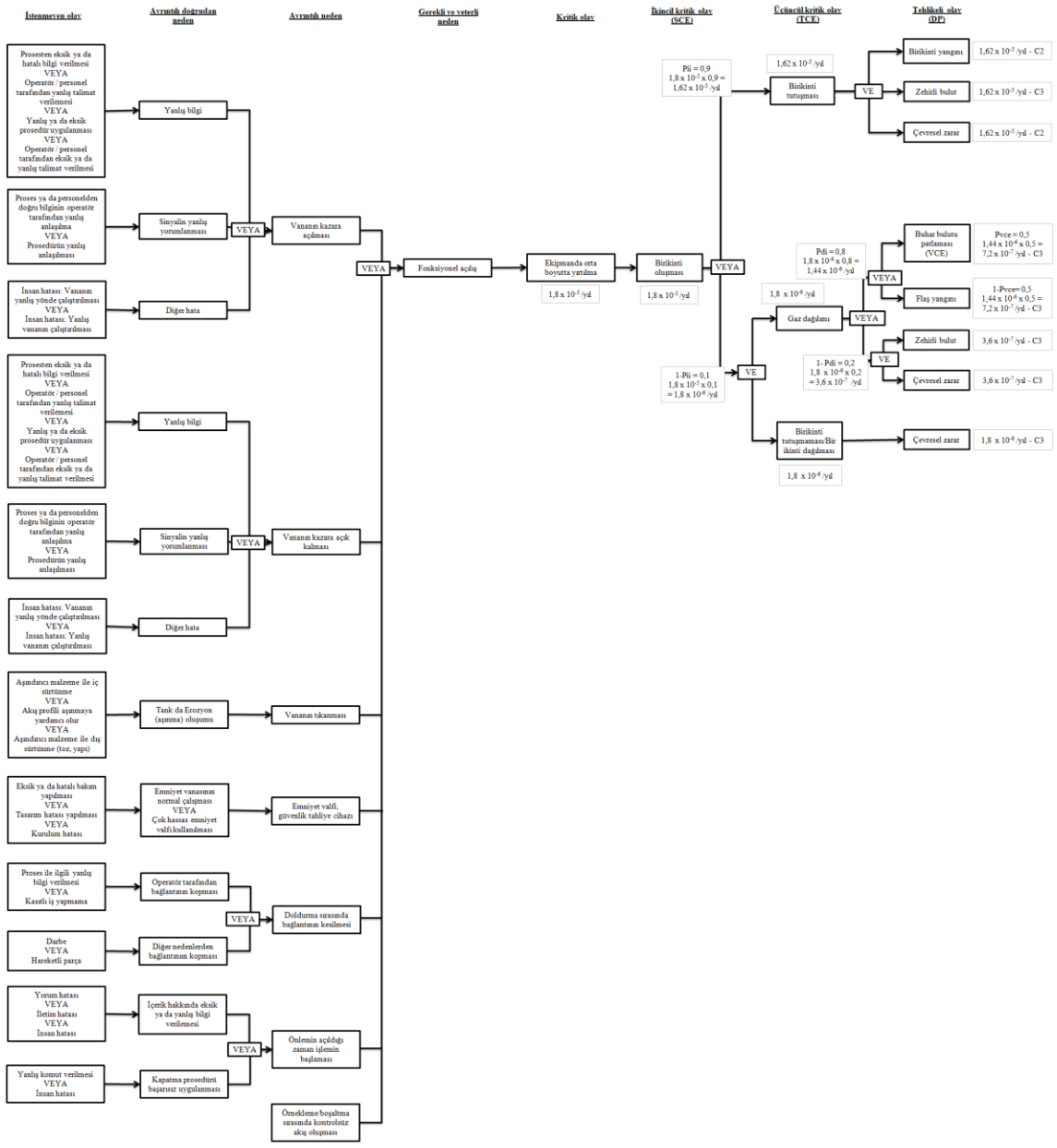
EK 20 Harmanlama tankı EQ6 ekipmanı CE5 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması



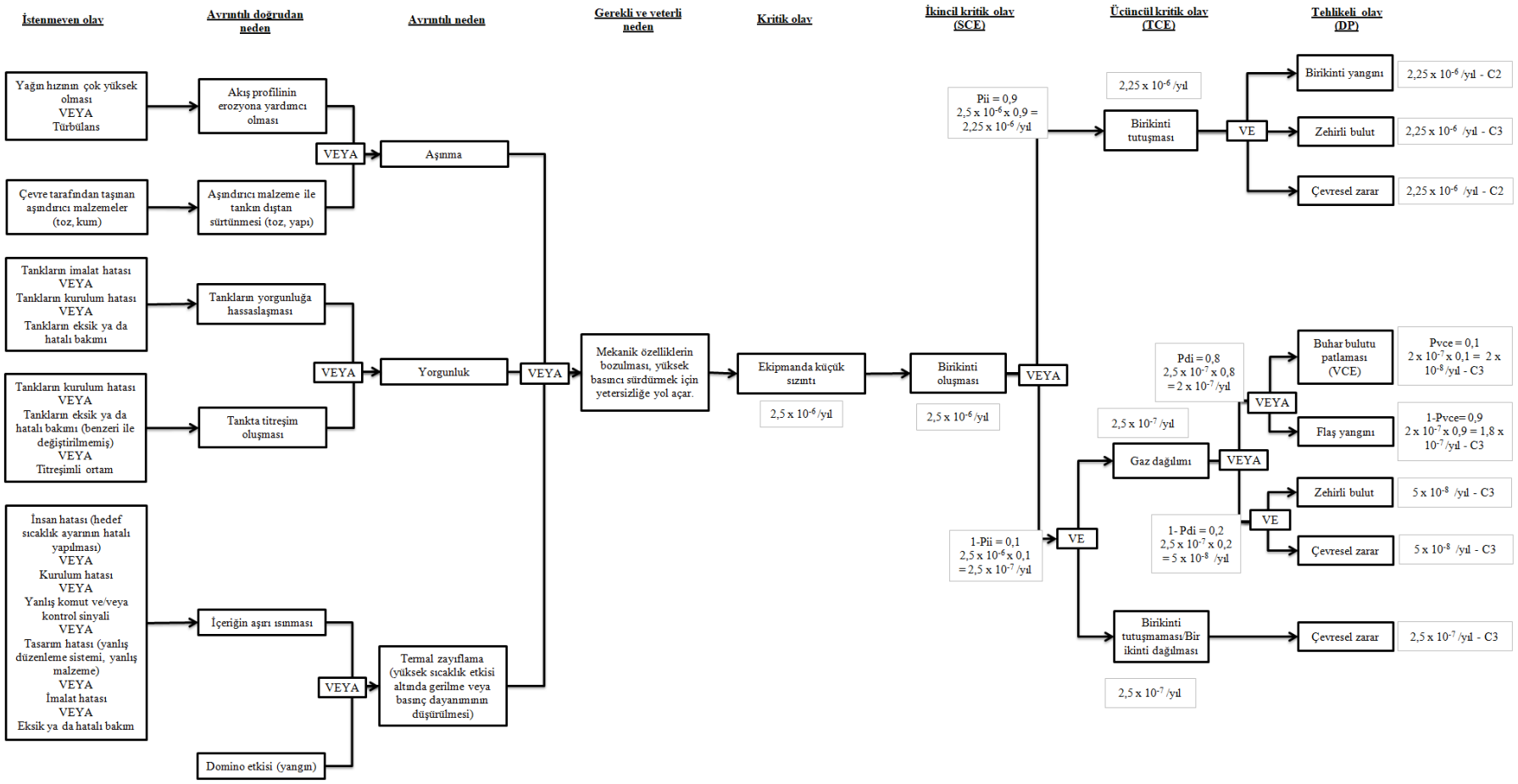
EK 21 Harmanlama tankı EQ6 ekipmanı CE7 (küçük) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması



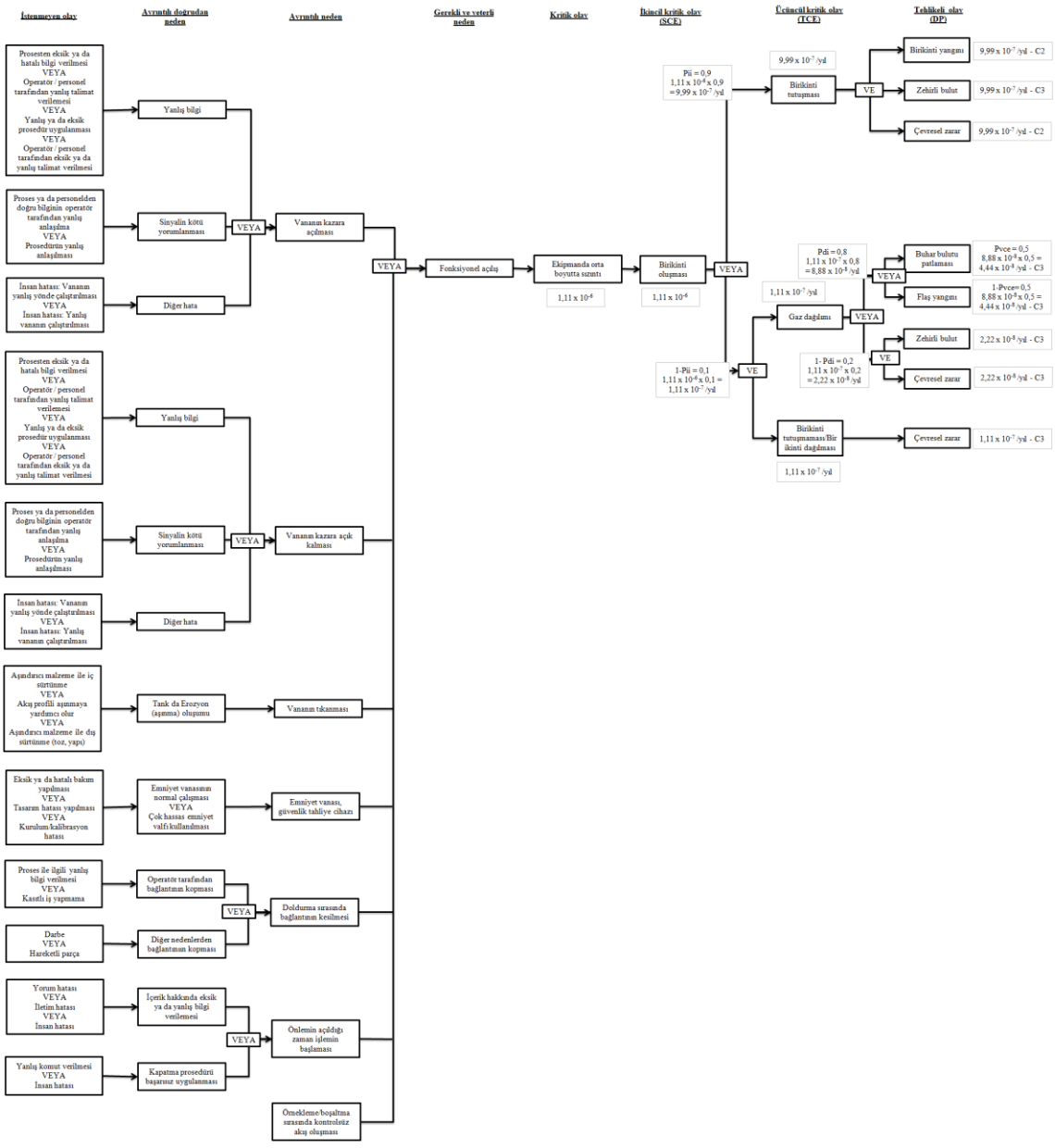
EK 22 Harmanlama tankı EQ6 ekipmanı CE7 (orta) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması



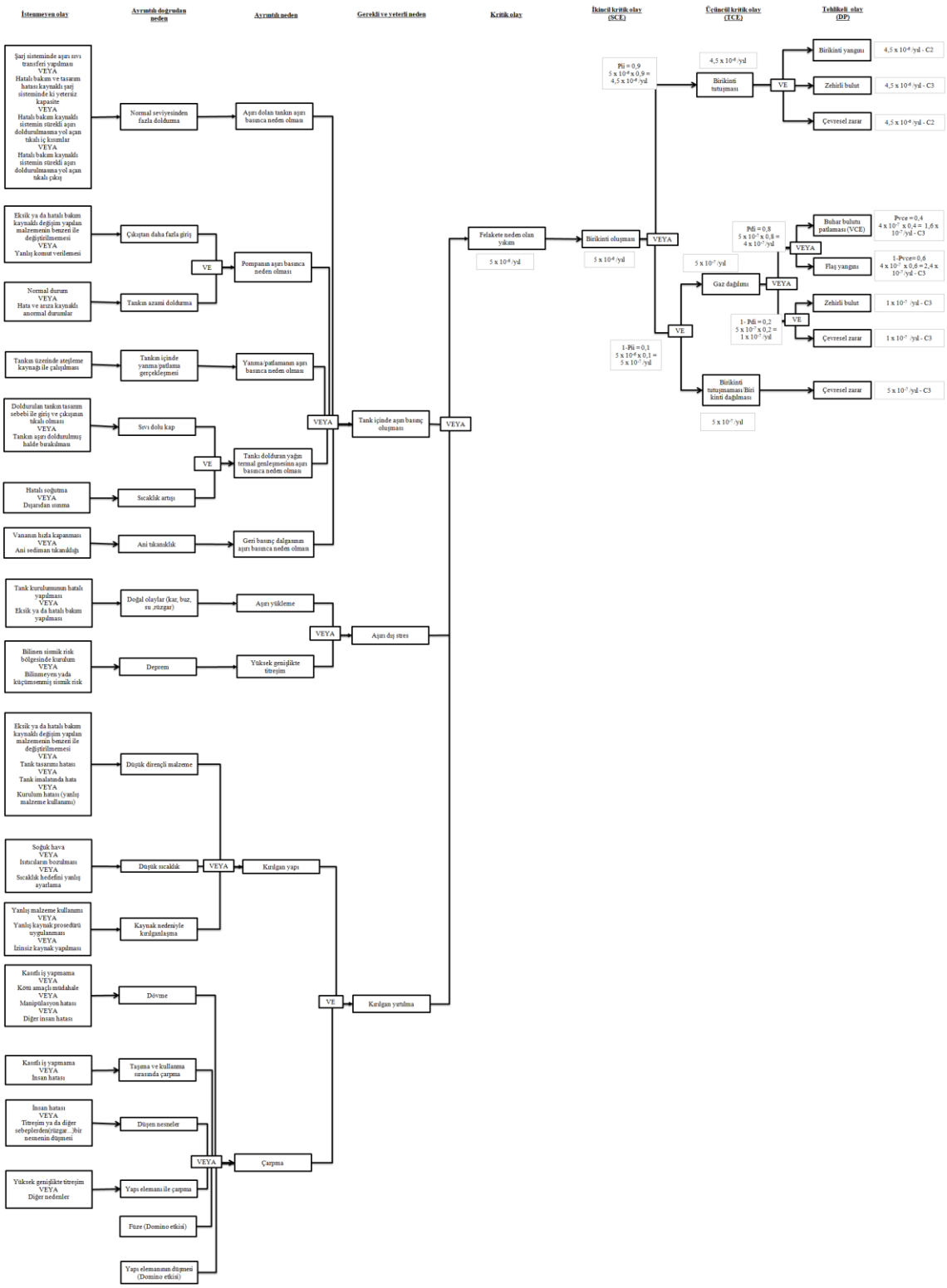
EK 23 Harmanlama tankı EQ6 ekipmanı CE8 (küçük) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması



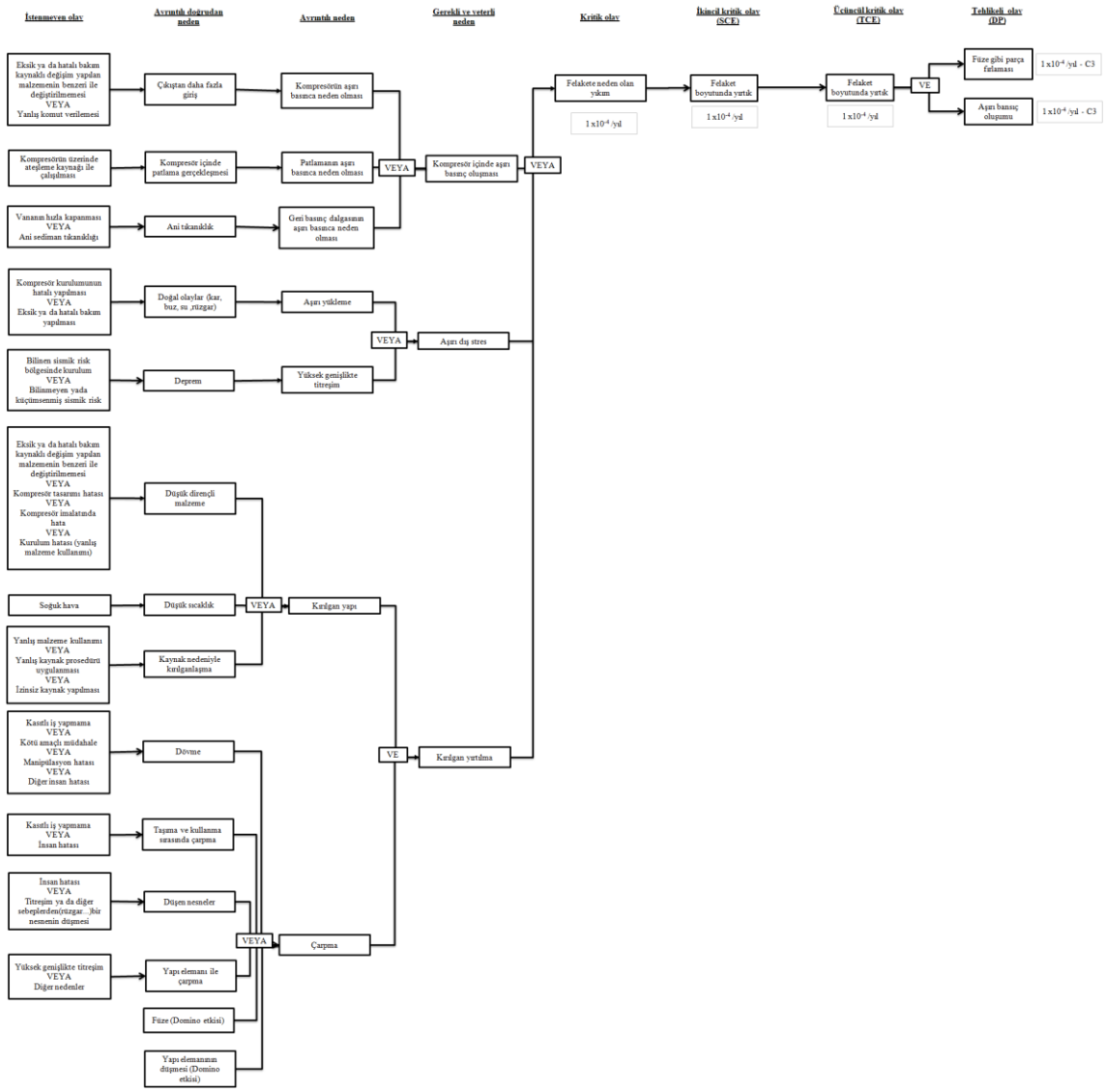
EK 24 Harmanlama tankı EQ6 ekipmanı CE8 (orta) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması



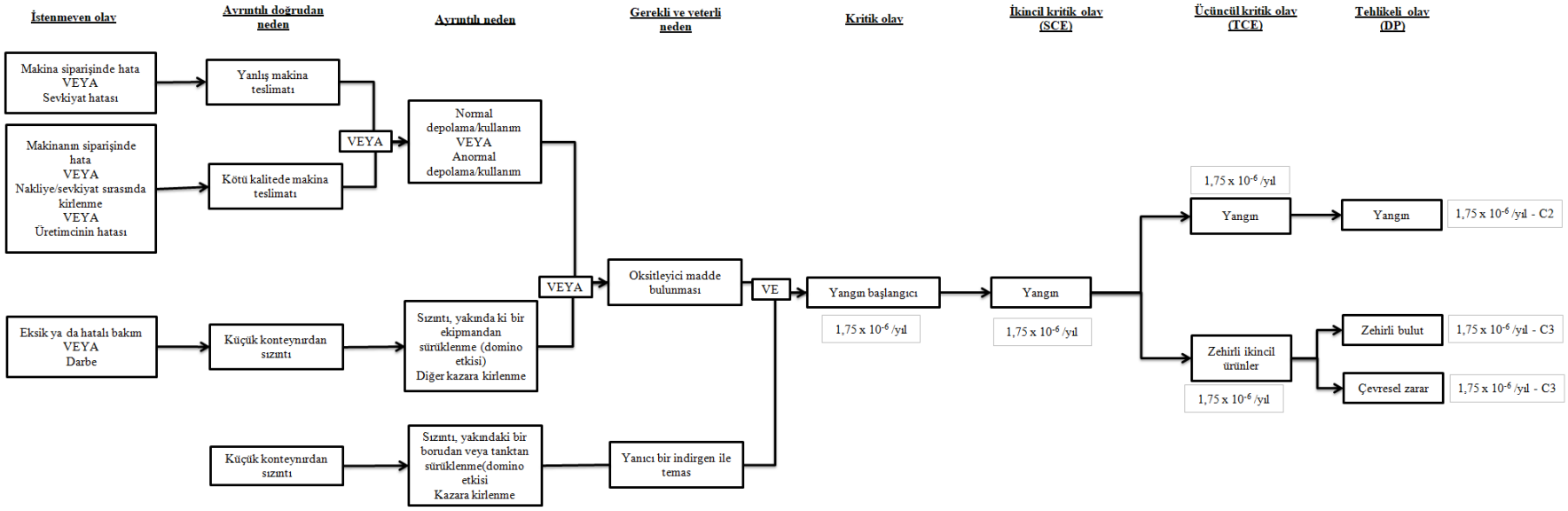
EK 25 Harmanlama tankı EQ6 ekipmanı CE10 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması



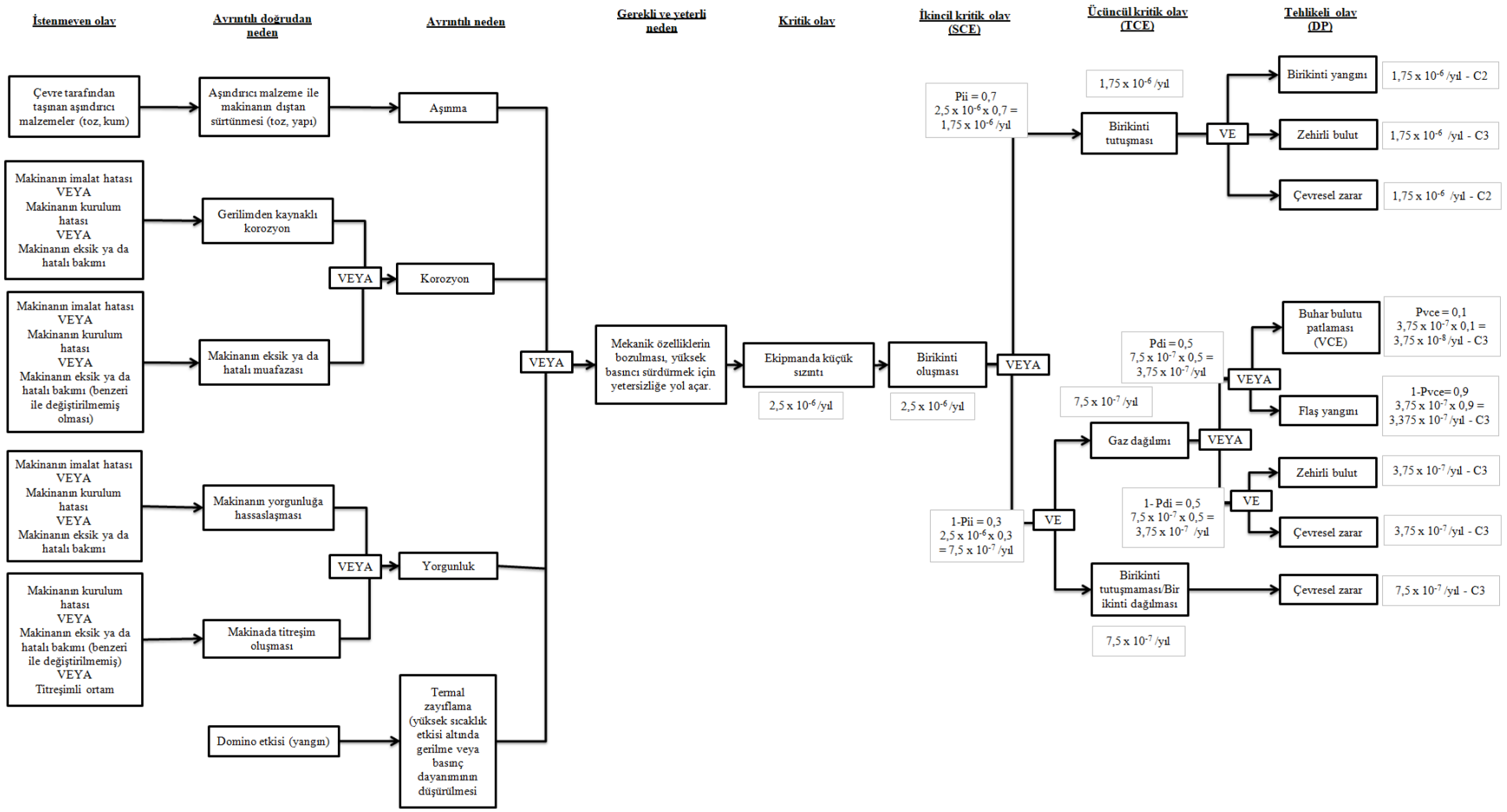
EK 26 Kompresör EQ4 ekipmanı CE10 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması



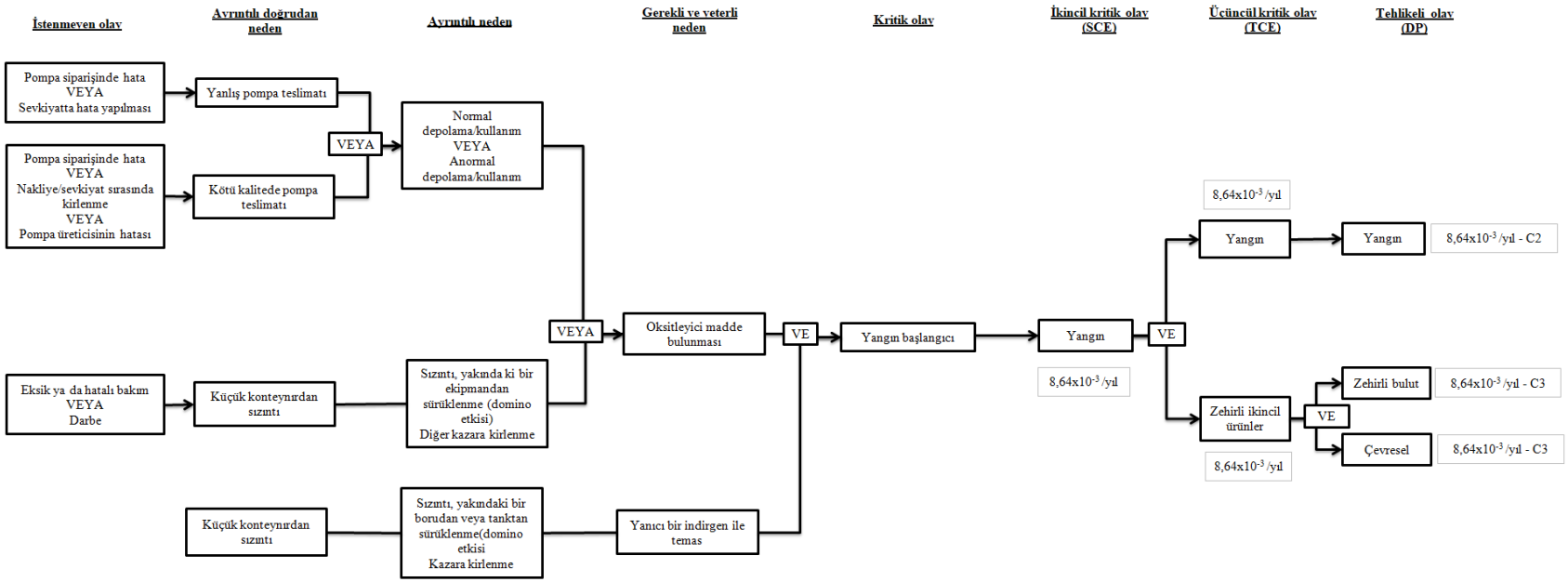
EK 27 Palet sarma makinesi EQ15 ekipmanı CE5 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması



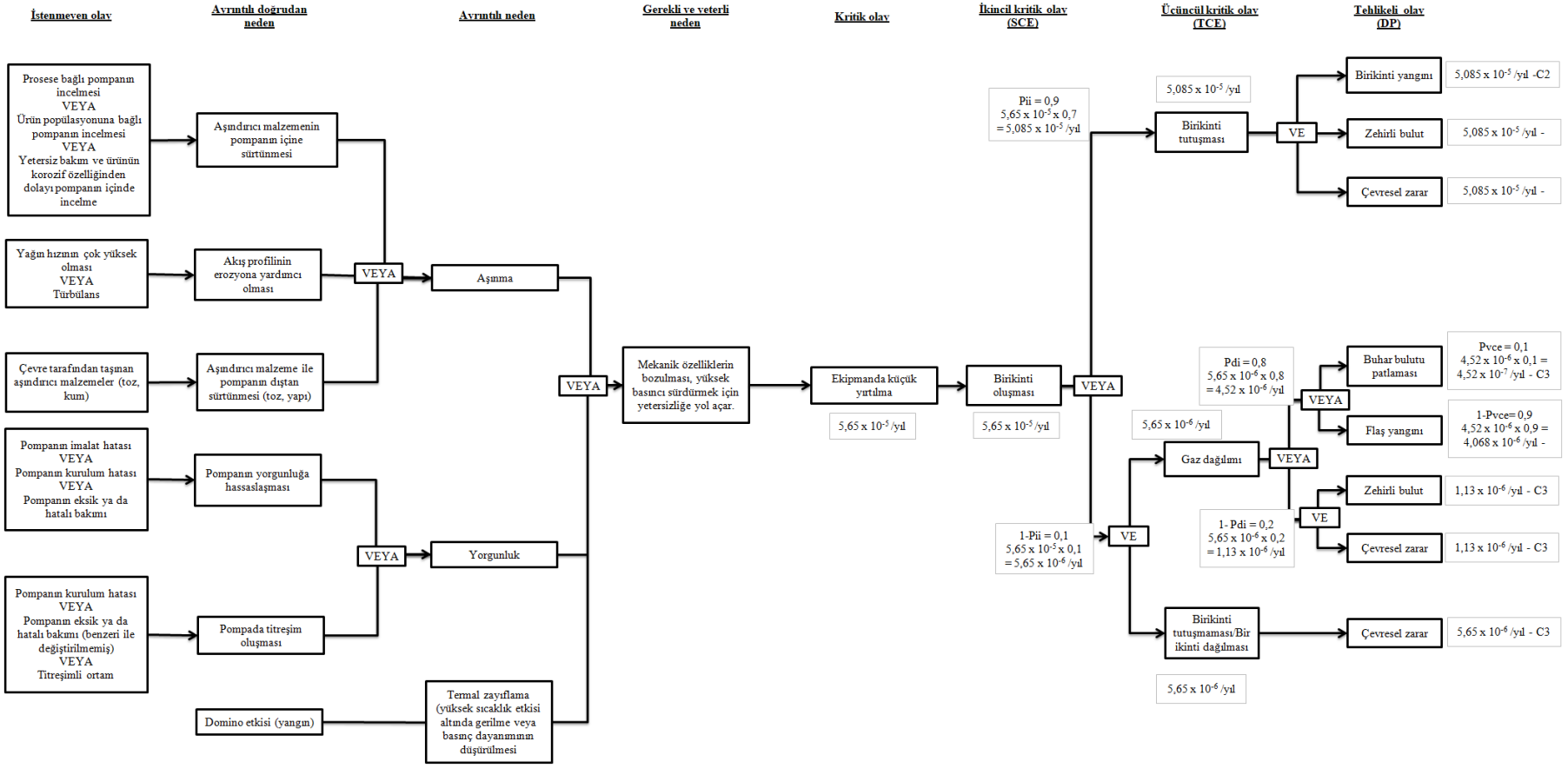
EK 28 Palet sarma makinesi EQ15 ekipmanı CE8 (küçük) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması



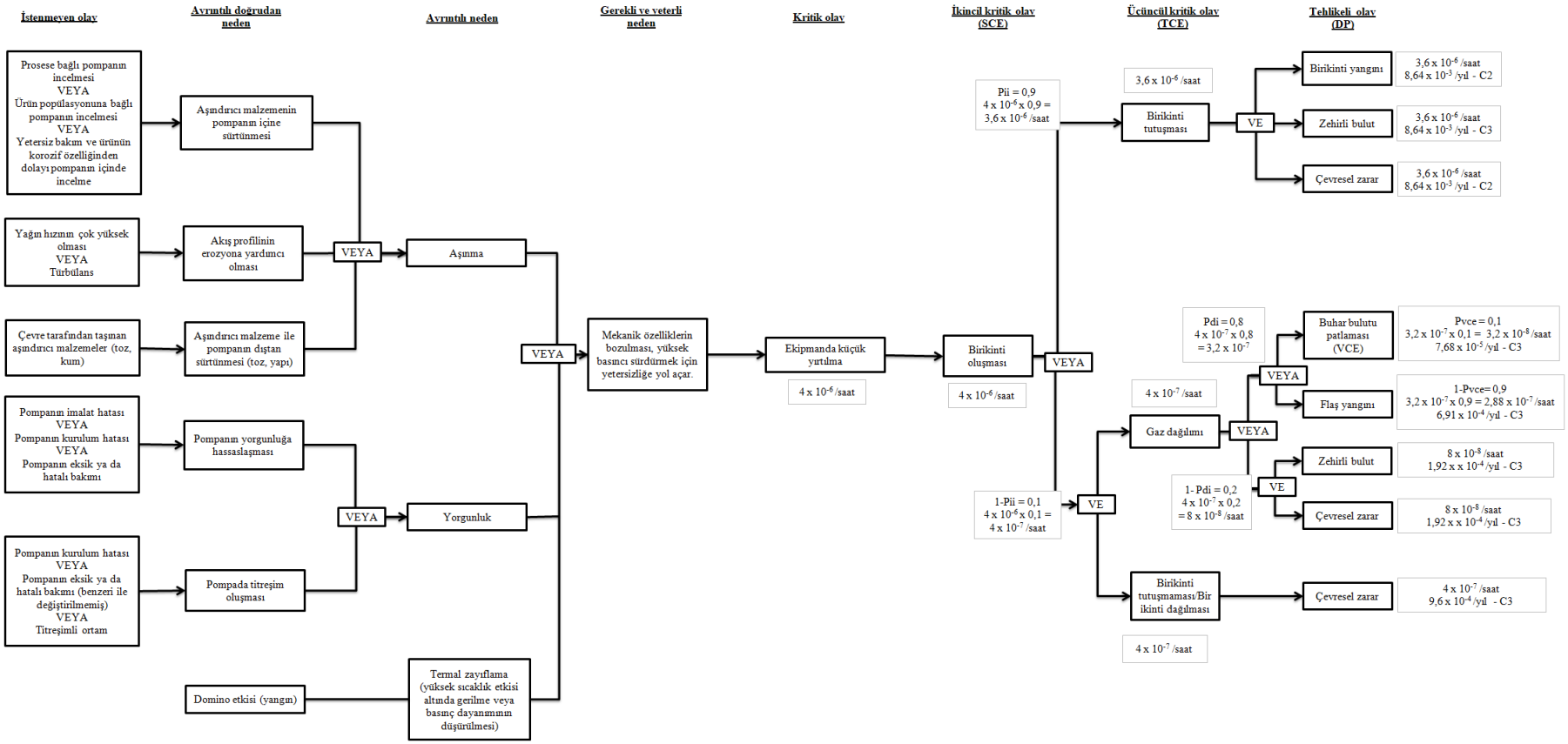
EK 29 Pompa EQ8 ekipmanı CE5 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması



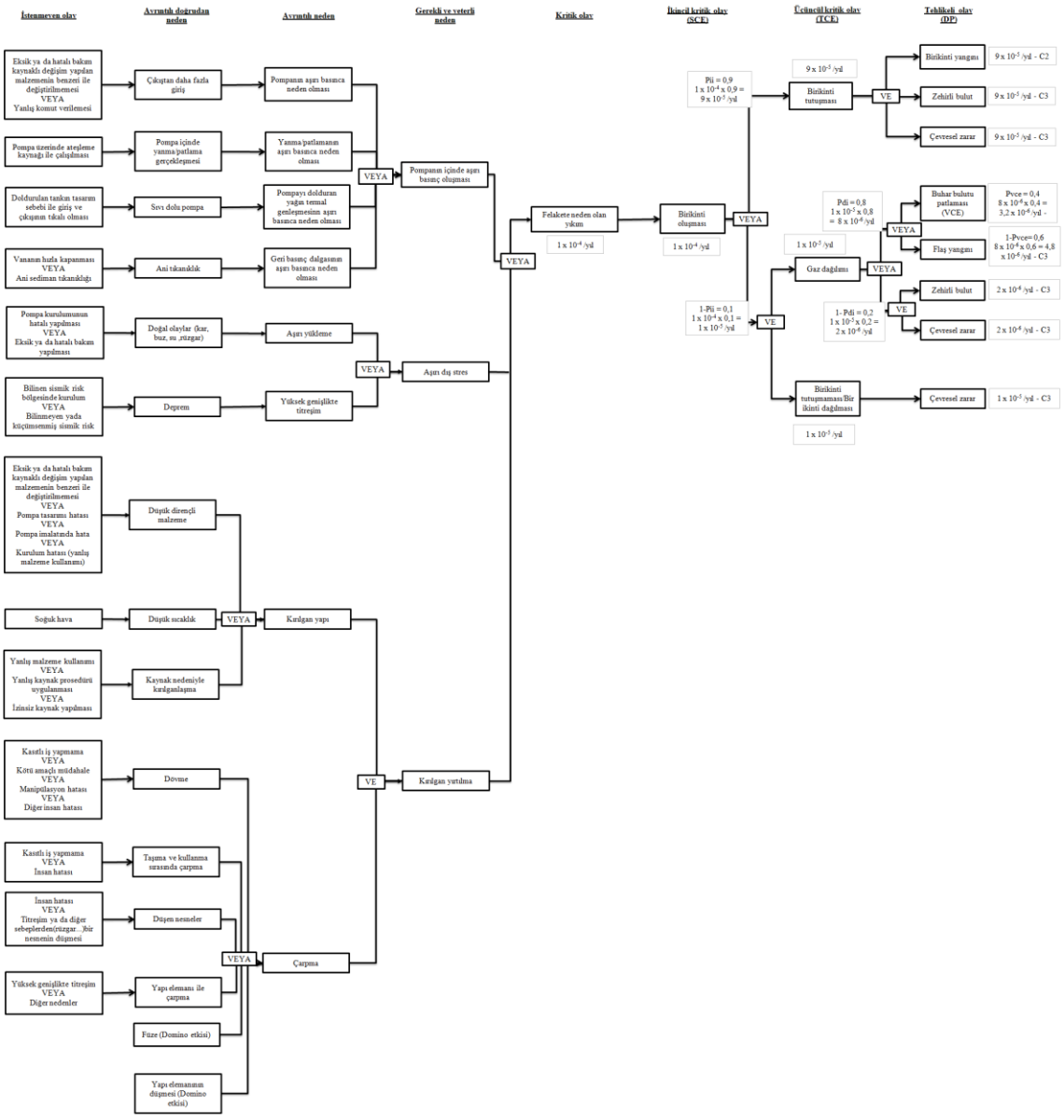
EK 30 Pompa EQ8 ekipmanı CE7 (küçük) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması



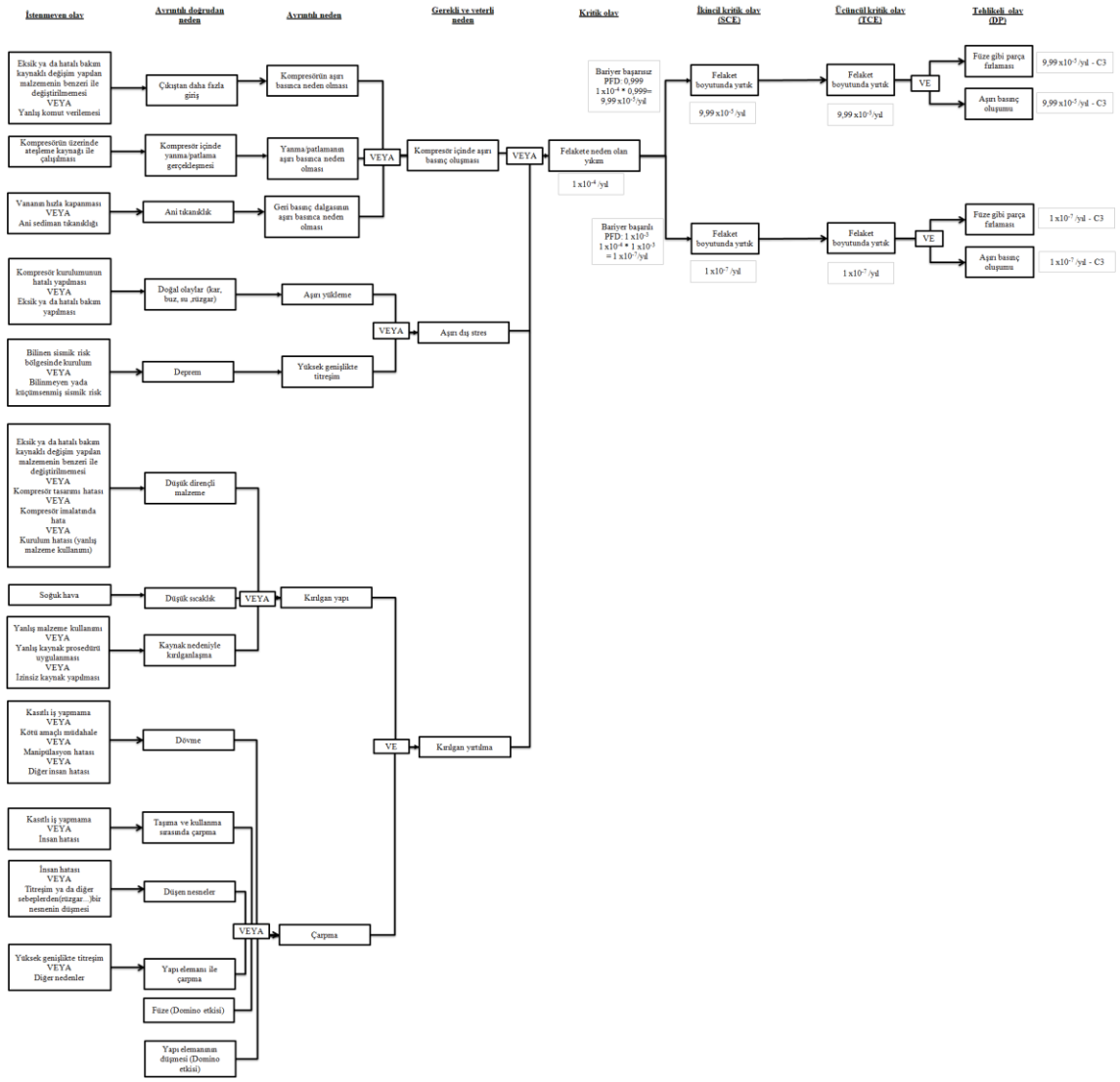
EK 31 Pompa EQ8 ekipmanı CE8 (küçük) kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması



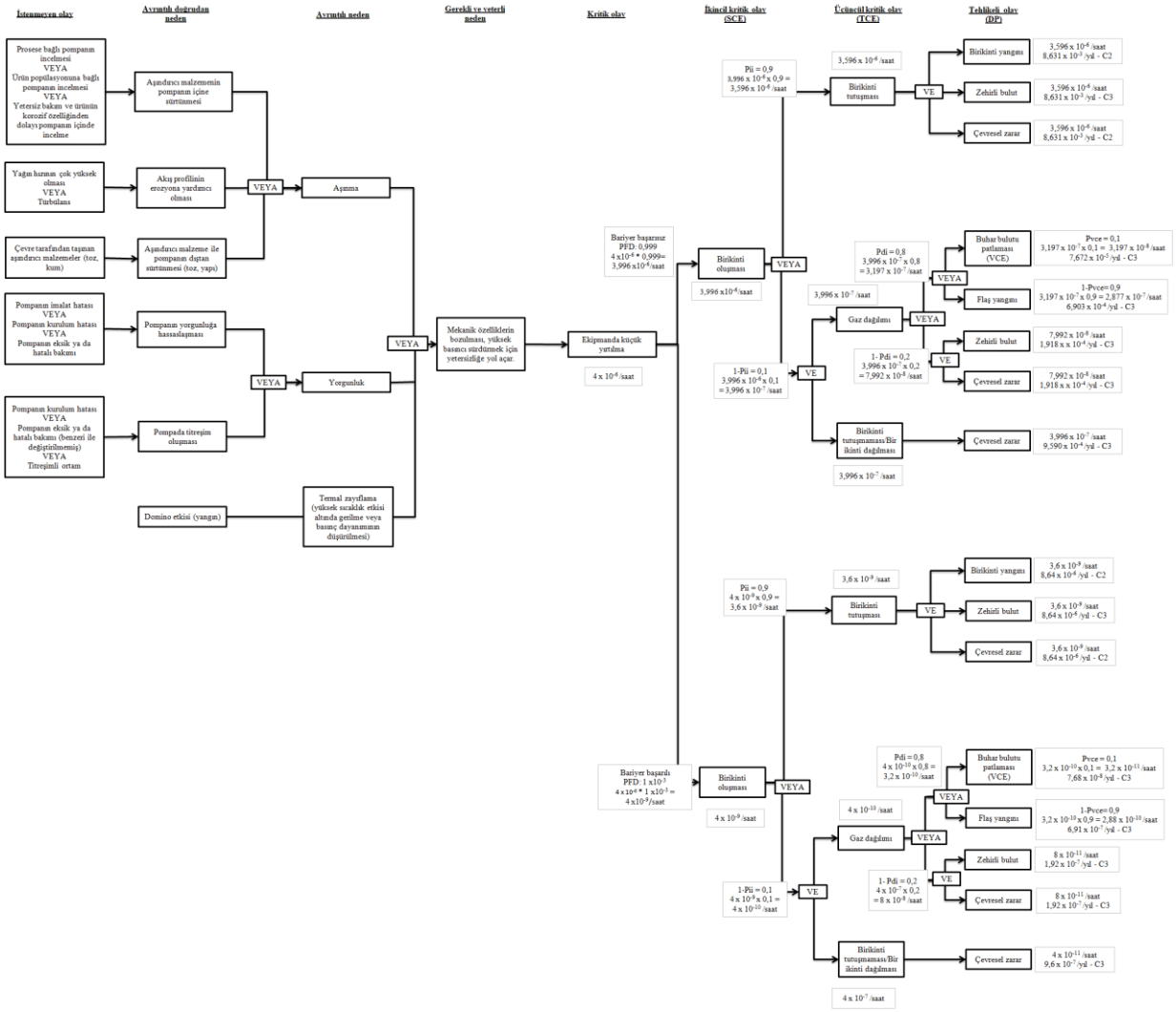
EK 32 Pompa EQ8 ekipmanı CE10 kritik olayı için papyon diyagramı ve frekans hesaplaması



EK 33 Kompresör EQ4 ekipmanı CE10 kritik olayı için bariyer uygulanmış papyon diyagramı ve frekans hesaplaması



EK 34 Pompa EQ8 ekipmanı CE8 (küçük) kritik olayı için bariyer uygulanmış papyon diyagramı ve frekans hesaplaması



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Berda ALTUN
Doğum Tarihi ve Yeri : 05.12.1986 KÜTAHYA
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu:

Lise : Ali Güral Lisesi (Anadolu Lisesi) (2001-2005)

Lisans : Anadolu Üniversitesi - Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü (2006-2011)

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi - Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı (2012-2019)

İş Deneyimi:

Sorumlu Müdür - SFS Petrokimya Ürünleri San. Ve Tic. Ltd. Şti. (2012-2017)

Proses Kontrol Takım Lideri/AR-GE Mühendisi - Kütahya Porselen San. A.Ş. (2017-Halen)